



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA SISTEM TAMBAT PADA *BARGE* PENGANGKUT
WELLHEAD PLATFORM PADA SAAT PROSES *LIFTING*
WELLHEAD PLATFORM.**

JORDAN MAHENDRA WIRASENA
NRP. 4313100023

Dosen Pembimbing

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Dirta Marina C, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA SISTEM TAMBAT PADA *BARGE* PENGANGKUT
WELLHEAD PLATFORM PADA SAAT PROSES *LIFTING*
WELLHEAD PLATFORM.**

JORDAN MAHENDRA WIRASENA

NRP. 4313100023

Dosen Pembimbing

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Dirta Marina C, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT - MO 141326

**MOORING SYSTEM ANALYSIS ON WELHEAD
PLATFORM TRANSPORTER BARGE DURING LIFTING
OPERATION**

**JORDAN MAHENDRA WIRASENA
NRP. 4313100023**

Supervisors

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Dirta Marina C, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

**ANALISA SISTEM TAMBAT PADA BARGE PENGANGKUT WELLHEAD
PLATFORM PADA SAAT PROSES LIFTING WELLHEAD PLATFORM**

TUGAS AKHIR

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


Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:


JORDAN MAHENDRA WIRASENA

NRP. 4313100023

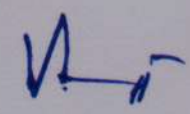
Disetujui oleh :

1. Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D.  (Pembimbing I)

2. Dirta Marina C, ST., MT.  (Pembimbing II)

3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  (Penguji 1)

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

5. Yoyok Setyo H., S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji 2)

Surabaya, Januari 2018

**ANALISA SISTEM TAMBAT PADA *BARGE* PENGANGKUT *WELLHEAD*
PLATFORM PADA SAAT PROSES *LIFTING WELLHEAD PLATFORM***

Nama : Jordan Mahendra Wirasena
NRP : 4313100023
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D
Dirta Marina C, ST., MT.

ABSTRAK

Barge atau tongkang merupakan struktur terapung yang banyak digunakan di banyak operasi kelautan seperti *load-out*, *transport*, *lifting* dan *launching*. Tugas akhir ini meninjau sistem tambat *barge* pengangkut dalam operasi *lifting wellhead platform*. Tongkang ditambatkan dengan 8 *mooring lines*. Tiga kondisi dianalisis dalam tugas akhir ini. Pertama, kondisi *full-load*, di mana semua berat platform sepenuhnya pada tongkang, kedua, kondisi *half-load*, di mana setengah beban dari platform diangkat dan ketiga, kondisi *empty-load*, di mana platform kepala sumur terangkat sepenuhnya. Gerakan tongkang dan tegangan tambat pada masing-masing kondisi dibandingkan. Selanjutnya, tegangan tali tambat maksimum setiap kondisi diperiksa untuk memenuhi API RP 2SK. Tegangan tali tambat ditampilkan dalam istilah Safety Factor (SF) yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan yang diijinkan. Temuan dari tugas akhir ini adalah bahwa *mooring line 2* mengalami faktor keamanan tertinggi, sedangkan *mooring line 7* memiliki faktor keamanan terendah. Besarannya masing-masing adalah 15,397 dan 1,935.

Keyword : *barge, loadout, transporting, lifting, launching, mooring system, Wellhead Platform, Full load, half load, empty load, API RP 2SK.*

**MOORING SYSTEM ANALYSIS ON WELHEAD PLATFORM
TRANSPORTER BARGE DURING LIFTING OPERATION**

Nama : **Jordan Mahendra Wirasena**
NRP : **4313100023**
Jurusan : **Teknik Kelautan FTK - ITS**
Dosen Pembimbing : **Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D**
Dirta Marina C, ST., MT.

ABSTRACT

Barges have been widely used in many marine operations such as load out, transporting, lifting and launching operations. In this final project, mooring system of an installation barge in a lifting operation of wellhead platform was investigated. The barge was moored by 8 mooring lines. Three conditions were analysed. First, the full load condition, in which all weight of wellhead platform was fully on the barge, the half load condition, in which half of the wellhead platform was lifted and the empty load condition, in which the wellhead platform was fully lifted. The barge motions and mooring tensions of each conditions were compared and contrasted. Subsequently, the maximum mooring line tensions of each conditions were checked to comply with API RP 2SK. The mooring tensions displayed in the term of Safety Factor (SF) which was the comparison of occurred tensions and allowable tensions. The finding of this final project was that mooring line 2 experienced the highest safety factor, while mooring line 7 had the least safety factor. The number were 15.397 and 1.935 in turn

Keyword : barge, loadout, transporting, lifting, launching, mooring system, Wellhead Platform, Full load, half load, empty load, API RP 2SK.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisa Sistem Tambat Pada Barge Pengangkut Wellhead Platform Pada Saat Proses Lifting Wellhead Platform” dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai bukti bahwa penulis telah menyelesaikan seluruh sarat untuk mengerjakan tugas akhir ini

Laporan Tugas Akhir ini secara khusus membahas tentang analisa system tambat pada saat proses lifting dari wellhead platform, dengan langkah awal pemodelan *barge* dilakukan pada *software* MOSES dan dengan 3 *loadcase*. Langkah selanjutnya memodelkan *mooring linenya* pada *software* ORCAFLEX untuk menemukan *safety factor* dari masing-masing *mooring line* berdasarkan API RP 2SK.

Dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, penulis sadar bahwa masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangatlah diharapkan untuk penulis agar kedepannya dapat menyusun laporan yang lebih baik lagi. Harapan penulis, semoga hasil pembelajaran dari Tugas Akhir ini dapat berguna baik bagi penulis sendiri maupun pihak-pihak lain.

Surabaya, Januari 2018

Jordan Mahendra Wirasena

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan penelitian dan penulisan laporan untuk Tugas Akhir ini ada berbagai pihak yang ikt membantu dan memberikan dukungan untuk penulis. Maka dari itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Ibunda tercinta Evi Kholifah, serta Kety Intana Janesonია, S.T. dan Samantha Githa Ratna Sonia sebagai kakak dan adik saya yang selalu mendoakan dan mensupport penyelesaian selama mengerjakan Tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc.,Ph.D, selaku Dosen Pembimbing 1 yang dengan sabar membimbing, mengarahkan, memberikan masukan serta ilmu yang berguna dalam penyelesaian masa studi dan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dirda Marina C, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah berkenan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan dengan sabar dalam pengerjaan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing dari awal masuk kuliah sampai saat ini.
6. Dhea Tanjung Puspitasari, S.Keb, telah menemani dan selalu memberikan support hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
7. Teuku Nuraksatra N., S.T., yang memberikan waktu untuk memberikan arahan dan masukan untuk pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Priyo Wicaksono yang memberikan waktunya untuk meminjamkan laptop untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Oktavian Army Sadewo yang selalu menemani saya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Teman - teman Kerja Praktek saya (Fajri Karim Abidin dan Brahma Aldaputra) yang selalu memberikan support dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Teman - teman pengurus Lab Numeric dan Komputasi dan teman - teman VALTAMERI yang selalu mendukung dan memberikan support untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman DUROHGANDRANG dan teman – teman Tugas Akhir bimbingan Bapak Haryo Dwito A, S.T., M.Eng.,Ph.D yang selalu menemani dan mendukung untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Seluruh Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan dan DAGRI 15/16, serta KABINET GENERAKSI yang selalu mendoakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

14. Teman – teman yang tidak disebutkan yang membantu mendoakan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGSAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 DASAR TEORI	9
2.2.1 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut.....	9
2.2.2 Response Amplitude Operators (RAO).....	11
2.2.3 Teori Gelombang	12
2.2.4 Beban Gelombang.....	14
2.2.5 Spektrum Gelombang	15
2.2.6 Analisis Mooring.....	17
2.2.7 Perhitungan Tegangan <i>Mooring Line</i>	17

BAB III.....	19
METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Skema Diagram Alir	19
3.2 Prosedur Penelitian	21
3.2. Data Penelitian	22
3.2.1. Data Struktur	22
3.3.2 Data Mooring Line dan Design Criteria.....	23
3.3.3 Data <i>Barge</i>.....	24
3.3.4 Data <i>Metaocean</i> Lokasi Operasi.....	24
BAB IV.....	26
ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Pemodelan Lambung Barge	27
4.1.1 Pemodelan Lambung <i>Barge</i> pada kondisi <i>Full Load</i>.....	27
4.1.2 Pemodelan Lambung <i>Barge</i> pada kondisi <i>Half Load</i>.....	27
4.1.3 Pemodelan Lambung <i>Barge</i> pada kondisi <i>Empty Load</i>.....	28
4.2 Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidrodinamis Barge.....	30
4.2.1. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis	
<i>Barge</i> pada kondisi <i>Full Load</i>.....	30
4.2.2. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis	
<i>Barge</i> pada kondisi <i>Half Load</i>.	37
4.2.3. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis	
<i>Barge</i> pada kondisi <i>Empty Load</i>.	43
4.3. Analisa Tegangan Mooring Line pada Sistem Tambat	46
4.3.1. Pemodelan Sistem tambat pada Software Orcaflex	47
4.3.2. Perhitungan Tension Mooring Line.....	48
4.4. Spesifikasi Mooring Line Untuk Sistem Tambat	49
BAB V	51
KESIMPULAN DAN SARAN	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53

LAMPIRAN.....49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem Tambat pada <i>Barge</i>	2
Gambar 2.1 Diagram gaya yang bekerja pada struktur dan sistem <i>mooring</i> (Huang, 2010).....	8
Gambar 2.2 <i>Six Degrees of Freedom</i> (Allen, 2006)	10
Gambar 2.3 Grafik <i>Region of Validity of Wave Theories</i> (Mouselli, 1981)	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 <i>Weight Control Report WP9 Zawtika Project</i>	22
Gambar 3.3 Peta Lokasi Operasi di Selat Madura	25
Gambar 4.1 Tampak Depan Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	27
Gambar 4.2 Tampak Samping Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	27
Gambar 4.3 Tampak Depan Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Half load</i>	28
Gambar 4.4 Tampak Samping Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Half load</i>	28
Gambar 4.5 Tampak Depan Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Empty load</i>	28
Gambar 4.6 Tampak Samping Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Empty load</i>	29
Gambar 4.7 RAO <i>Surge Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	31
Gambar 4.8 RAO <i>Sway Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	32
Gambar 4.9 RAO <i>Heave Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	33
Gambar 4.10 RAO <i>Roll Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	34
Gambar 4.11 RAO <i>Pitch Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	35
Gambar 4.12 RAO <i>Yaw Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	36
Gambar 4.13 RAO <i>Surge Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	37
Gambar 4.14 RAO <i>Sway Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	38
Gambar 4.15 RAO <i>Heave Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	39
Gambar 4.16 RAO <i>Roll Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	40
Gambar 4.17 RAO <i>Pitch Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	41
Gambar 4.18 RAO <i>Yaw Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	42
Gambar 4.19 RAO <i>Surge Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	43

Gambar 4.20 RAO <i>Sway Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	44
Gambar 4.21 RAO <i>Heave Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	44
Gambar 4.22 RAO <i>Roll Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	45
Gambar 4.23 RAO <i>Pitch Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	45
Gambar 4.24 RAO <i>Yaw Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	46
Gambar 4.25 Konfigurasi <i>Mooring Line</i> yang akan dianalisa (tampak atas)	47
Gambar 4.26 Konfigurasi <i>Mooring Line</i> yang akan dianalisa (tampak samping).....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Topside	23
Tabel 3.2 Data <i>properties mooring line</i>	23
Tabel 3.3 Data <i>barge</i>	24
Tabel 3.4 Data <i>Metaocean</i> angin dan gelombang.....	25
Tabel 3.5 Data <i>Metaocean</i> arus laut	25
Tabel 4.1 ABS <i>Computational Modelling Acceptable Tolerance</i>	29
Tabel 4.2 Validasi Pemodelan <i>Barge</i> pada kondisi <i>Full Load</i>	30
Tabel 4.3 Validasi Pemodelan <i>Barge</i> pada kondisi <i>Half Load</i>	30
Tabel 4.4 Validasi Pemodelan <i>Barge</i> pada kondisi <i>Empty Load</i>	30
Tabel 4.5 Hasil <i>mooring line tension</i> yang terjadi pada End-A (yang terletak pada <i>barge</i>) ...	48
Tabel 4.6 Hasil <i>mooring line tension</i> yang terjadi pada End-B (yang terletak di <i>seabed</i>)	49
Tabel 4.7 Hasil perhitungan <i>safety factor</i> yang harus sesuai dengan API RP 2SK.....	50

**ANALISA SISTEM TAMBAT PADA *BARGE* PENGANGKUT *WELLHEAD*
PLATFORM PADA SAAT PROSES *LIFTING WELLHEAD PLATFORM***

Nama : Jordan Mahendra Wirasena
NRP : 4313100023
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D
Dirta Marina C, ST., MT.

ABSTRAK

Barge atau tongkang merupakan struktur terapung yang banyak digunakan di banyak operasi kelautan seperti *load-out*, *transport*, *lifting* dan *launching*. Tugas akhir ini meninjau sistem tambat *barge* pengangkut dalam operasi *lifting wellhead platform*. Tongkang ditambatkan dengan 8 *mooring lines*. Tiga kondisi dianalisis dalam tugas akhir ini. Pertama, kondisi *full-load*, di mana semua berat platform sepenuhnya pada tongkang, kedua, kondisi *half-load*, di mana setengah beban dari platform diangkat dan ketiga, kondisi *empty-load*, di mana platform kepala sumur terangkat sepenuhnya. Gerakan tongkang dan tegangan tambat pada masing-masing kondisi dibandingkan. Selanjutnya, tegangan tali tambat maksimum setiap kondisi diperiksa untuk memenuhi API RP 2SK. Tegangan tali tambat ditampilkan dalam istilah Safety Factor (SF) yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan yang diijinkan. Temuan dari tugas akhir ini adalah bahwa *mooring line 2* mengalami faktor keamanan tertinggi, sedangkan *mooring line 7* memiliki faktor keamanan terendah. Besarannya masing-masing adalah 15,397 dan 1,935.

Keyword : *barge, loadout, transporting, lifting, launching, mooring system, Wellhead Platform, Full load, half load, empty load, API RP 2SK.*

**MOORING SYSTEM ANALYSIS ON WELHEAD PLATFORM
TRANSPORTER BARGE DURING LIFTING OPERATION**

Nama : **Jordan Mahendra Wirasena**
NRP : **4313100023**
Jurusan : **Teknik Kelautan FTK - ITS**
Dosen Pembimbing : **Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc., Ph.D**
Dirta Marina C, ST., MT.

ABSTRACT

Barges have been widely used in many marine operations such as load out, transporting, lifting and launching operations. In this final project, mooring system of an installation barge in a lifting operation of wellhead platform was investigated. The barge was moored by 8 mooring lines. Three conditions were analysed. First, the full load condition, in which all weight of wellhead platform was fully on the barge, the half load condition, in which half of the wellhead platform was lifted and the empty load condition, in which the wellhead platform was fully lifted. The barge motions and mooring tensions of each conditions were compared and contrasted. Subsequently, the maximum mooring line tensions of each conditions were checked to comply with API RP 2SK. The mooring tensions displayed in the term of Safety Factor (SF) which was the comparison of occurred tensions and allowable tensions. The finding of this final project was that mooring line 2 experienced the highest safety factor, while mooring line 7 had the least safety factor. The number were 15.397 and 1.935 in turn

Keyword : barge, loadout, transporting, lifting, launching, mooring system, Wellhead Platform, Full load, half load, empty load, API RP 2SK.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisa Sistem Tambat Pada Barge Pengangkut Wellhead Platform Pada Saat Proses Lifting Wellhead Platform” dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai bukti bahwa penulis telah menyelesaikan seluruh syarat untuk mengerjakan tugas akhir ini

Laporan Tugas Akhir ini secara khusus membahas tentang analisa system tambat pada saat proses lifting dari wellhead platform, dengan langkah awal pemodelan *barge* dilakukan pada *software* MOSES dan dengan 3 *loadcase*. Langkah selanjutnya memodelkan *mooring linenya* pada *software* ORCAFLEX untuk menemukan *safety factor* dari masing-masing *mooring line* berdasarkan API RP 2SK.

Dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, penulis sadar bahwa masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangatlah diharapkan untuk penulis agar kedepannya dapat menyusun laporan yang lebih baik lagi. Harapan penulis, semoga hasil pembelajaran dari Tugas Akhir ini dapat berguna baik bagi penulis sendiri maupun pihak-pihak lain.

Surabaya, Januari 2018

Jordan Mahendra Wirasena

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan penelitian dan penulisan laporan untuk Tugas Akhir ini ada berbagai pihak yang ikut membantu dan memberikan dukungan untuk penulis. Maka dari itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Ibunda tercinta Evi Kholifah, serta Kety Intana Janesonnia, S.T. dan Samantha Githa Ratna Sonia sebagai kakak dan adik saya yang selalu mendoakan dan mensupport penyelesaian selama mengerjakan Tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc.,Ph.D, selaku Dosen Pembimbing 1 yang dengan sabar membimbing, mengarahkan, memberikan masukan serta ilmu yang berguna dalam penyelesaian masa studi dan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dirda Marina C, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah berkenan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan dengan sabar dalam pengerjaan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing dari awal masuk kuliah sampai saat ini.
6. Dhea Tanjung Puspitasari, S.Keb, telah menemani dan selalu memberikan support hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
7. Teuku Nuraksatra N., S.T., yang memberikan waktu untuk memberikan arahan dan masukan untuk pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Priyo Wicaksono yang memberikan waktunya untuk meminjamkan laptop untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Oktavian Army Sadewo yang selalu menemani saya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Teman - teman Kerja Praktek saya (Fajri Karim Abidin dan Brahma Aldaputra) yang selalu memberikan support dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Teman - teman pengurus Lab Numeric dan Komputasi dan teman - teman VALTAMERI yang selalu mendukung dan memberikan support untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman DUROHGANDRANG dan teman – teman Tugas Akhir bimbingan Bapak Haryo Dwito A, S.T., M.Eng.,Ph.D yang selalu menemani dan mendukung untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Seluruh Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan dan DAGRI 15/16, serta KABINET GENERAKSI yang selalu mendoakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

14. Teman – teman yang tidak disebutkan yang membantu mendoakan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGSAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 DASAR TEORI	9
2.2.1 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut.....	9
2.2.2 Response Amplitude Operators (RAO).....	11
2.2.3 Teori Gelombang	12
2.2.4 Beban Gelombang.....	14
2.2.5 Spektrum Gelombang	15
2.2.6 Analisis Mooring.....	17
2.2.7 Perhitungan Tegangan <i>Mooring Line</i>	17

BAB III.....	19
METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Skema Diagram Alir	19
3.2 Prosedur Penelitian	21
3.2. Data Penelitian	22
3.2.1. Data Struktur	22
3.3.2 Data Mooring Line dan Design Criteria.....	23
3.3.3 Data <i>Barge</i>.....	24
3.3.4 Data <i>Metaocean</i> Lokasi Operasi.....	24
BAB IV.....	26
ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Pemodelan Lambung Barge	27
4.1.1 Pemodelan Lambung <i>Barge</i> pada kondisi <i>Full Load</i>.....	27
4.1.2 Pemodelan Lambung <i>Barge</i> pada kondisi <i>Half Load</i>.....	27
4.1.3 Pemodelan Lambung <i>Barge</i> pada kondisi <i>Empty Load</i>.....	28
4.2 Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidrodinamis Barge.....	30
4.2.1. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis	
<i>Barge</i> pada kondisi <i>Full Load</i>.....	30
4.2.2. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis	
<i>Barge</i> pada kondisi <i>Half Load</i>.	37
4.2.3. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis	
<i>Barge</i> pada kondisi <i>Empty Load</i>.	43
4.3. Analisa Tegangan Mooring Line pada Sistem Tambat	46
4.3.1. Pemodelan Sistem tambat pada Software Orcaflex	47
4.3.2. Perhitungan Tension Mooring Line.....	48
4.4. Spesifikasi Mooring Line Untuk Sistem Tambat	49
BAB V	51
KESIMPULAN DAN SARAN	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53

LAMPIRAN.....49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem Tambat pada <i>Barge</i>	2
Gambar 2.1 Diagram gaya yang bekerja pada struktur dan sistem <i>mooring</i> (Huang, 2010).....	8
Gambar 2.2 <i>Six Degrees of Freedom</i> (Allen, 2006)	10
Gambar 2.3 Grafik <i>Region of Validity of Wave Theories</i> (Mouselli, 1981)	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 <i>Weight Control Report WP9 Zawtika Project</i>	22
Gambar 3.3 Peta Lokasi Operasi di Selat Madura	25
Gambar 4.1 Tampak Depan Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	27
Gambar 4.2 Tampak Samping Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	27
Gambar 4.3 Tampak Depan Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Half load</i>	28
Gambar 4.4 Tampak Samping Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Half load</i>	28
Gambar 4.5 Tampak Depan Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Empty load</i>	28
Gambar 4.6 Tampak Samping Hasil Pemodelan <i>Barge</i> pada keadaan <i>Empty load</i>	29
Gambar 4.7 RAO <i>Surge Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	31
Gambar 4.8 RAO <i>Sway Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	32
Gambar 4.9 RAO <i>Heave Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	33
Gambar 4.10 RAO <i>Roll Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	34
Gambar 4.11 RAO <i>Pitch Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	35
Gambar 4.12 RAO <i>Yaw Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>full load</i>	36
Gambar 4.13 RAO <i>Surge Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	37
Gambar 4.14 RAO <i>Sway Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	38
Gambar 4.15 RAO <i>Heave Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	39
Gambar 4.16 RAO <i>Roll Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	40
Gambar 4.17 RAO <i>Pitch Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	41
Gambar 4.18 RAO <i>Yaw Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>half load</i>	42
Gambar 4.19 RAO <i>Surge Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	43

Gambar 4.20 RAO <i>Sway Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	44
Gambar 4.21 RAO <i>Heave Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	44
Gambar 4.22 RAO <i>Roll Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	45
Gambar 4.23 RAO <i>Pitch Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	45
Gambar 4.24 RAO <i>Yaw Free Floating Barge</i> pada keadaan <i>empty load</i>	46
Gambar 4.25 Konfigurasi <i>Mooring Line</i> yang akan dianalisa (tampak atas)	47
Gambar 4.26 Konfigurasi <i>Mooring Line</i> yang akan dianalisa (tampak samping).....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Topside	23
Tabel 3.2 Data <i>properties mooring line</i>	23
Tabel 3.3 Data <i>barge</i>	24
Tabel 3.4 Data <i>Metaocean</i> angin dan gelombang.....	25
Tabel 3.5 Data <i>Metaocean</i> arus laut	25
Tabel 4.1 ABS <i>Computational Modelling Acceptable Tolerance</i>	29
Tabel 4.2 Validasi Pemodelan <i>Barge</i> pada kondisi <i>Full Load</i>	30
Tabel 4.3 Validasi Pemodelan <i>Barge</i> pada kondisi <i>Half Load</i>	30
Tabel 4.4 Validasi Pemodelan <i>Barge</i> pada kondisi <i>Empty Load</i>	30
Tabel 4.5 Hasil <i>mooring line tension</i> yang terjadi pada End-A (yang terletak pada <i>barge</i>) ...	48
Tabel 4.6 Hasil <i>mooring line tension</i> yang terjadi pada End-B (yang terletak di <i>seabed</i>)	49
Tabel 4.7 Hasil perhitungan <i>safety factor</i> yang harus sesuai dengan API RP 2SK.....	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dunia akan pemenuhan energi saat ini masih bergantung kepada ketersediaan sumberdaya mineral. Minyak dan gas alam merupakan contoh sumberdaya mineral yang dibutuhkan oleh kita. Walaupun pada akhir-akhir ini, topik mengenai harga minyak sering sekali jatuh. Harga minyak dunia yang meluncur tajam secara otomatis berimplikasi pada sulitnya pengembangan sumber daya energi baru terbarukan karena dianggap menelan biaya yang mahal (Aprilian, 2012).

Eksplorasi dan eksploitasi di ladang-ladang minyak atau gas baru yang dianggap potensial tetap dilakukan walaupun tidak sebanyak ketika minyak dunia belum dihargai serendah sekarang. Disamping itu, peningkatan jumlah penduduk jauh diiringi kebutuhan sumberdaya lebih besar ketimbang persediaan sumber daya yang ada. Oleh karena itu dibutuhkan perhitungan yang matang untuk mengefisiensikan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi.

Sebagian besar sumber daya minyak dan gas bumi banyak berada di daerah lepas pantai. Oleh sebab itu, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi di lepas pantai dibutuhkan infrastruktur untuk mendukungnya. Dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya minyak dan gas yang dilakukan di lepas pantai, terdapat tiga jenis bangunan yang yaitu, struktur terpancang (*fixed structure*) atau disebut juga sebagai *pile-supported platform*, struktur terapung (*floating structure*) dan struktur lentur (*compliant structure*) (Soedjono, 1998). Peran ketiganya amatlah penting, mengingat ketiga jenis bangunan tersebut berfungsi sesuai dengan lingkungan daerah sasaran. Struktur terpancang merupakan salah satu bangunan lepas pantai dimana struktur tersebut langsung terpancang hingga ke dasar laut. *Fixed structure* biasanya terdiri dari 2 bagian utama yaitu *jacket* dan juga *topside*. Untuk sebuah *fixed structure* agar tiba di daerah lokasi, struktur tersebut harus diangkut menggunakan *barge* sebagai alat transportasi struktur tersebut menuju daerah operasi. Berbeda dengan *floating structure*, struktur terapung setelah selesai diproduksi akan dilakukan *launching* dan selanjutnya akan ditarik langsung menuju daerah operasi. Oleh karena itu untuk transportasi struktur terpancang, *barge* memiliki peran penting sebagai sarana transportasi tersebut.

Barge atau dikenal pula dengan istilah *pontoon*, atau dalam bahasa Indonesia disebut tongkang, merupakan salah satu struktur sarana yang digunakan dalam *marine operation*

seperti *load out*, *transporting*, dan *launching*. *Barge* sendiri memiliki ciri khusus dimana lambung pada *barge* berbentuk rata berbeda dengan kapal pada umumnya yang berbetuk runcing. *Barge* juga biasanya tidak memiliki *propeller* mengakibatkan untuk perpindahan *barge* sendiri harus menggunakan *towboats*. *Barge* memiliki fungsi utama dalam hal akomodasi. Untuk di Indonesia sendiri *barge* biasanya digunakan untuk mengangkut batu bara ataupun mineral lainnya. Sedangkan untuk *Installation barge* memiliki prinsip yang sama hanya saja dalam segi penggunaan memiliki fungsi khusus.

Selama persiapan proses *lifting*, *barge* harus memiliki sistem tambat yang mampu menahan beban lingkungan dan dapat memertahankan posisi kapal. Terdapat berbagai tipe *mooring* untuk struktur terapung, antara lain *spread mooring*, *single point mooring* (SPM), dan *dynamic positioning system* (DPS). Namun, untuk *barge* dengan masa persiapan proses *lifting* hanya sebentar, *mooring* dengan tipe SPM adalah yang paling memungkinkan karena kapal dapat melepaskan tambatan dari sistem *mooring* dengan mudah apabila terdapat cuaca buruk.



Gambar 1.1 Sistem tambat pada *barge*

Menurut API (2010) Dalam penggunaan sistem *mooring* untuk bangunan terapung, perlu dilakukan analisa *mooring* untuk menentukan respon ekstrim dari tegangan rantai, beban *anchor*, dan *offset* struktur akibat beban lingkungan serta beban eksternal lain seperti beban saat *offloading* atau beban *riser*. Lalu respon tersebut diperiksa apakah memenuhi standar yang digunakan untuk memastikan sistem *mooring* tidak mengalami beban berlebih (*overloading*) serta kapal tidak mengalami pergeseran posisi yang dapat mengganggu operasi.

Pada tugas akhir ini dilakukan studi komparasi respon gerak *barge* untuk sistem *mooring* pada *barge* dengan memvariasikan besar beban *wellhead platform* pada *barge* yang menggunakan 8 *mooring line* dengan menganalisa tegangan maksimum *mooring line* terhadap pengaruh gaya lingkungan pada saat proses *lifting*. Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui besarnya tegangan yang terjadi pada tiap *mooring line* dengan memvariasikan beban *wellhead platform*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana respon gerak *barge* pada kondisi tidak tertambat?
2. Berapa tegangan maksimum yang terjadi pada tiap *mooring line* terhadap gaya lingkungan pada tiap-tiap *load case*?
3. Berapa *safety factor* dari *mooring line* untuk sistem tambat pada *barge* dengan ketentuan mengacu pada API RP 2SK?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan respon gerak *barge* pada kondisi tidak tertambat tertambat.
2. Menghitung tegangan maksimum yang terjadi pada tiap *mooring line* terhadap gaya lingkungan pada tiap-tiap *load case*.
3. Mendapatkan *safety factor* dari *mooring line* untuk sistem tambat dengan ketentuan mengacu pada API RP 2SK.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui respon gerak *barge* dari 3 *load case* yaitu *full load*, *half load* dan *empty load*. Serta mengetahui berapa tegangan yang terjadi di tiap *mooring linen*-nya dari tiap *load case* dan untuk mengetahui apakah sistem tambat yang digunakan dapat digunakan untuk proses *lifting wellhead platform* dengan mengacu pada API RP 2SK.

1.5 Batasan Masalah

1. *Barge* yang digunakan adalah *barge class 280*.
2. *Ballasting* dilakukan untuk menentukan letak COG pada saat kondisi *full load* dan *half load*.
3. *Ballasting* dilakukan dengan penambahan beban topside agar sesuai dengan *displacement total* yang terdapat pada *stability booklet*.

4. *Ballasting empty load* dilakukan untuk menentukan sarat air kapal setinggi 2 m.
5. Kriteria *safety factor* ditentukan berdasarkan API-RP-2SK.
6. Arah gelombang yang ditinjau pada sudut kedatangan gelombang 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° .
7. Analisa dinamis menggunakan metode *time domain*.
8. Analisa dinamis pada diasumsikan beban telah berada atau ditambahkan diatas *barge* dengan menginput data gaya hidrodinamis dari tiap *load case* yang telah dikeluarkan oleh MOSES.
9. Dasar laut diasumsikan datar.
10. *Anchor* diasumsikan *fixed*, sehingga tidak dilakukan perhitungan *holding capacity*.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang yang mendasari pengerjaan tugas akhir, rumusan masalah dari tugas akhir, tujuan dari pengerjaan tugas akhir, manfaat yang diperoleh dari hasil tugas akhir, serta batasan masalah yang ditentukan penulis untuk penyerdehanaan pengerjaan tugas akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini berisi tentang tinjauan dari referensi yang digunakan oleh penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini, antara lain buku, diktat kuliah, jurnal, makalah, artikel, dan lain sebagainya.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang metode dan alur pengerja tugas akhir, penjelasan singkat *software* yang digunakan, serta penjelasan data-data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang pengerjaan permodelan *barge* dan sistem tambat, analisa

respon gerak *barge* saat tidak tertambat, analisa tegangan *mooring line* dan spesifikasi sistem tambat mengacu pada API RP 2SK.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil pengerjaan tugas akhir, serta saran dari penulis bagi pembaca yang ingin melanjutkan penelitian dengan topik yang serupa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

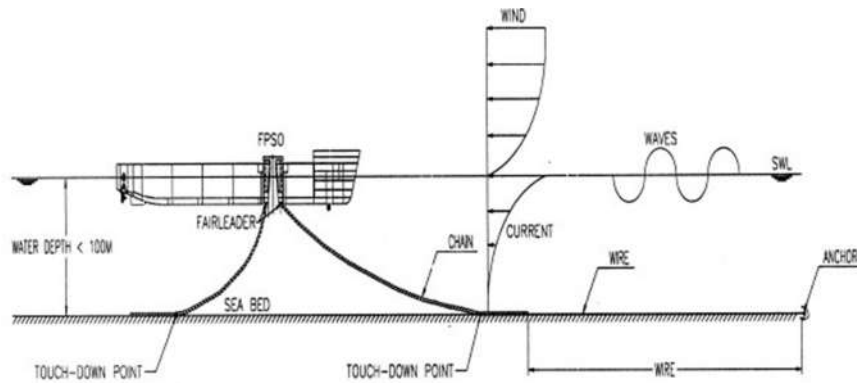
2.1 Tinjauan Pustaka

Kebutuhan dunia akan pemenuhan energi saat ini masih bergantung kepada ketersediaan sumberdaya mineral. Minyak dan gas alam merupakan contoh sumberdaya mineral yang dibutuhkan oleh kita. Walaupun pada akhir-akhir ini, topik mengenai harga minyak sering sekali jatuh. Harga minyak dunia yang meluncur tajam secara otomatis berimplikasi pada sulitnya pengembangan sumber daya energi baru terbarukan karena dianggap menelan biaya yang mahal.

Eksplorasi dan eksploitasi di ladang-ladang minyak atau gas baru yang dianggap potensial tetap dilakukan walaupun tidak sebanyak ketika minyak dunia belum dihargai serendah sekarang. Disamping itu, peningkatan jumlah penduduk jauh diiringi kebutuhan sumberdaya lebih besar ketimbang persediaan sumber daya yang ada. Oleh karena itu dibutuhkan perhitungan yang matang untuk mengefisiensikan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi.

Sebagian besar sumber daya minyak dan gas bumi banyak berada di daerah lepas pantai. Oleh sebab itu, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi di lepas pantai dibutuhkan infrastruktur untuk mendukungnya. Dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya minyak dan gas yang dilakukan di lepas pantai, terdapat tiga jenis bangunan yang yaitu, struktur terpancang (*fixed structure*) atau disebut juga sebagai *pile-supported platform*, struktur terapung (*floating structure*) dan struktur lentur (*compliant structure*). Peran ketiganya amatlah penting, mengingat ketiga jenis bangunan tersebut berfungsi sesuai dengan lingkungan daerah sasaran. Struktur terpancang merupakan salah satu bangunan lepas pantai dimana struktur tersebut langsung terpancang hingga ke dasar laut. *Fixed structure* biasanya terdiri dari 2 bagian utama yaitu *jacket* dan juga *topside*. Untuk sebuah *fixed structure* agar tiba di daerah lokasi, struktur tersebut harus diangkat menggunakan *barge* sebagai alat transportasi struktur tersebut menuju daerah operasi. Berbeda dengan *floating structure*, struktur terapung setelah selesai diproduksi akan dilakukan *launching* dan selanjutnya akan ditarik langsung menuju daerah operasi. Oleh karena itu untuk transportasi struktur terpancang, *barge* memiliki peran penting sebagai sarana transportasi tersebut.

Barge harus ditambatkan terlebih dahulu sebelum dilakukannya *launching* atau biasa disebut dengan sistem *mooring barge*.



Gambar 2.1 Diagram gaya yang bekerja pada struktur dan sistem *mooring* (Huang, 2010)

Menurut Chakrabarti (1987), sistem *mooring* terdiri dari satu atau lebih tali *mooring* (*mooring lines*) yang menggantung bebas dan menghubungkan struktur dengan jangkar, atau tiang pancang, dan diposisikan pada dasar laut dengan jarak tertentu. *mooring line* pada umumnya terbuat dari rantai baja atau tali kabel (*wire rope*). tiap tali *mooring* akan menimbulkan tegangan ketika kapal mengalami gerakan untuk menghasilkan gaya pengembali.

Desain sistem *mooring* sangat menentukan kemampuan sistem *mooring* tersebut memertahankan posisi dari struktur terapung. Desain sistem *mooring* antara lain adalah penentuan konfigurasi sistem *mooring* dan *properties* dari *mooring lines*. Lalu, perlu dilakukan analisis kapasitas kekuatan untuk memastikan sistem *mooring* tidak mengalami kegagalan pada masa operasi. Penentuan konfigurasi sistem *mooring* mempertimbangkan beberapa parameter antara lain kondisi lingkungan, kedalaman laut, ukuran kapal, kerumitan proses instalasi, biaya produksi dan operasi (CAPEX & OPEX), serta keselamatan dan keandalan dari sistem *mooring*.

Pada penentuan kapasitas kekuatan dari sistem *mooring*, terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan, antara lain gaya dinamis dari *mooring line*, respon gerak struktur terutama pada frekuensi rendah, efek *non-collinear* dari angin, arus, dan gelombang, serta *offset* dari struktur yang mampu mengganggu operasi. (Huang, 2010).

Meskipun pada umumnya kondisi lingkungan maksimum digunakan pada analisis ultimit, namun respon ekstrem dari struktur juga dapat diakibatkan oleh gelombang dengan periode tertentu yang beresonansi dengan struktur. Karena itu, Analisis jangka panjang (*Long-term Mooring Analysis*) menggunakan *time domain* perlu dilakukan, sehingga selama rentang waktu tertentu, struktur tidak hanya dianalisis pada saat tinggi gelombang atau kecepatan arus maksimum, namun dengan nilai statistik tertentu dari kondisi lingkungan yang memperhitungkan gelombang frekuensi rendah hingga tinggi yang dapat mengakibatkan efek dinamis pada struktur.

2.2 DASAR TEORI

Disini akan dijelaskan teori-teori yang menjadi acuan atau referensi dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

2.2.1 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut dengan ilustrasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

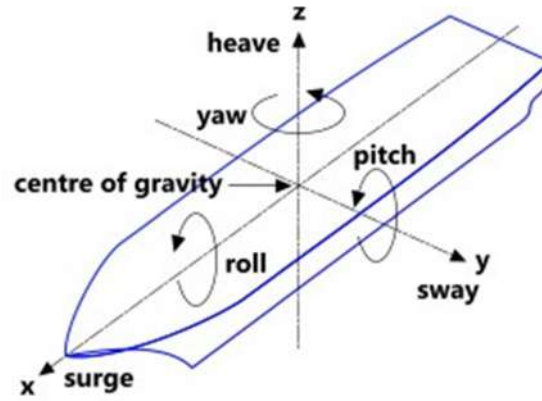
1. Mode gerak translasional

- Surge, gerakan transversal arah sumbu x
- Sway, gerakan transversal arah sumbu y
- Heave, gerakan transversal arah sumbu z

2. Mode gerak rotasional

- Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
- Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y
- Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan Gambar. 3.3. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x,y dan z, adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar 2.2 Six Degrees of Freedom

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\zeta_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + C_{jk}\ddot{\zeta}_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \quad (2.1)$$

Dengan,

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

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

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

C_{jk} = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik,

F_j = matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (M_4, M_5, M_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh e),

F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*,

F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*,

F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*,

M_4 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*,

M_5 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*,

M_6 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*,

ζ_k = elevasi gerakan pada moda ke k ,

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

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

Langkah berikutnya dalam menyelesaikan persamaan gerak adalah menentukan harga koefisien-koefisien massa tambah, redaman dan hidrostatis. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan kapal. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_j dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi encounter ω_e dari sumber eksitasi.

2.2.2 Response Amplitude Operators (RAO)

Setelah menjelaskan dengan seksama tentang teori gerakan bangunan laut, pada akhirnya hasil yang diperlukan oleh perancang, serta pada tahap tertentu oleh operator, adalah informasi tentang karakteristik gerakan itu sendiri. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah berupa parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada metode tertentu, ζ_{ko} , dengan amplitudo gelombang, ζ_o , yang dikenal sebagai *Response Amplitude Operator* (RAO). Frekuensi yang dipakai sebagai absis dapat berupa frekuensi gelombang insiden, ω , frekuensi gelombang papasan, ω_e atau frekuensi non-dimensi, disesuaikan dengan keperluan analisisnya. Pemakaian frekuensi non-dimensi akan memberikan fleksibilitas bila data respons gerakan akan diskala untuk menganalisis perilaku bangunan laut yang lebih besar, ataupun lebih kecil, namun mempunyai konfigurasi yang tetap; yang umumnya dijumpai pada pemodelan fisik di laboratorium hidrodinamika. Frekuensi non-dimensi, baik yang terkait dengan gelombang insiden maupun gelombang papasan, adalah parameter yang diperoleh dari frekuensi gelombang dengan memperhitungkan ukuran panjang bangunan, L , dan percepatan gravitasi, g .

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{ko}(\omega)}{\zeta_o(\omega)} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\zeta_{ko}(\omega)$ = amplitudo struktur

$\zeta_o(\omega)$ = amplitudo gelombang orde-1

2.2.3 Teori Gelombang

Besarnya kecepatan gelombang efektif dihitung dengan persamaan kecepatan gelombang sesuai teori gelombang yang berlaku. Penentuan teori gelombang menggunakan diagram *Region of Validity* dengan parameter sebagai berikut (Mouselli, 1981) :

$$\left(\frac{H}{gT^2}\right) \text{ dan } \left(\frac{d}{gT^2}\right) \quad (2.3)$$

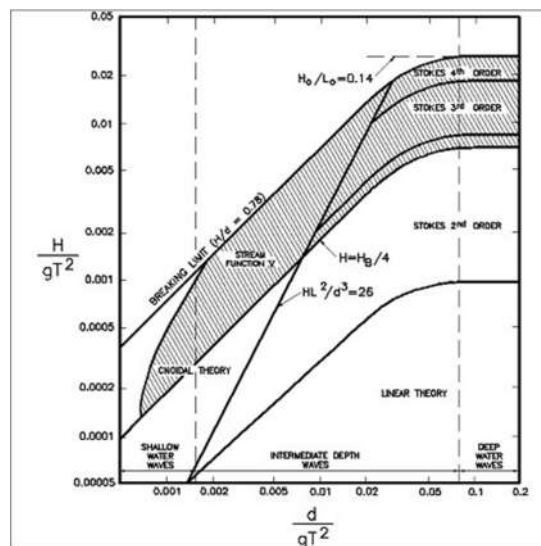
H: Tinggi gelombang (m)

g: Gravitasi (m/s²)

d: kedalaman perairan (m)

T: Periode gelombang (s)

Nilai yang didapat dari perhitungan persamaan berguna untuk menentukan teori gelombang dengan memakai grafik *Regions of Validity of Wave Theories*. Grafik *Regions of Validity of Wave Theories* dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar 2.3 Grafik *Region of Validity of Wave Theories*

Dari grafik tersebut, didapatkan teori gelombang yang berlaku untuk analisa. Setiap teori gelombang memiliki turunan persamaan tersendiri dalam menghitung nilai kecepatan gelombang efektif.

Kebanyakan perhitungan teori gelombang pada perairan tertutup menggunakan teori gelombang *stoke*. Teori gelombang *stoke* merupakan solusi untuk perairan yang membutuhkan tingkat akurasi lebih tinggi dari teori gelombang linier. *Stoke* memasukkan ekspresi deret kecepatan potensial dalam persamaan *Laplace* dan syarat batas dasar laut. Persamaan kecepatan horizontal partikel air yang digunakan pada teori *stoke* orde dua dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$U = \frac{\pi H \cosh ks}{T \sinh kd} \cdot \cos\theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H \cosh 2ks}{T \sinh^4 kd} \cdot \cos 2\theta \quad (2.4)$$

Dengan :

U = kecepatan horizontal partikel air, (m/s)

k = angka gelombang = $2\pi/L$

L = panjang gelombang, (m)

s = jarak vertikal titik yang ditinjau dari dasar laut, (m)

θ = sudut fase = $kx - \omega t$

x = jarak horizontal titik yang ditinjau, (m)

ω = frekuensi gelombang, (rad/s) = $2\pi/T$

t = waktu yang ditempuh untuk mencapai jarak horizontal titik yang ditinjau, (s)

Persamaan kecepatan horizontal partikel air jika diturunkan akan menjadi percepatan horizontal partikel air dimana persamaannya dapat dilihat pada rumus berikut ini :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H \cosh ks}{T \sinh kd} \cdot \sin\theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cdot \sin 2\theta \quad (2.5)$$

Kecepatan partikel efektif dari partikel air pada kedalaman tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan seperti berikut :

$$U_{eff}^2 = 0,778 \cdot U_o^2 \cdot \left(\frac{D}{y_o} \right)^{0.286} \quad (2.6)$$

Dengan:

U_{eff} = kecepatan efektif partikel air pada ketinggian y_0 , (m/s)

U_0 = kecepatan horizontal partikel air yang diketahui pada y_0 , (m/s)

y_0 = ketinggian orbit partikel dari dasar laut, (m)

Setelah mendapatkan nilai dari kecepatan partikel gelombang efektif dan kecepatan partikel arus efektif, maka untuk menghitung kecepatan efektif total (U_e) adalah dengan me-resultan kedua kecepatan tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_e = U_w + U_c \quad (2.7)$$

2.2.4 Beban Gelombang

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) 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 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 (λ).

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 akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang di sekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

2.2.5 Spektrum Gelombang

Teori gelombang reguler dapat diaplikasikan pada saat desain metode *single wave* di gunakan. Ini tergantung dari metode yang digunakan pada saat proses pendesainan. Pada gelombang acak, ini di deskripsikan dengan densitas spektrum energi. Spektrum energi gelombang mendeskripsikan energi yang terkandung dari gelombang dan itu didistribusikan keseluruhan jangkauan frekuensi pada gelombang acak. Oleh karena itu. Metode gelombang acak mungkin berguna khususnya pada tahap perencanaan bangunan terapung. (Chakrabarti. 1987) Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi *real* laut yang ditinjau.

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada (Djarmiko,2012). JONSWAP merupakan proyek yang dilakukan pada perairan North Sea. Spektrum JONSWAP mendeskripsikan angin yang membangkitkan gelombang dengan kondisi *sea state* yang ekstrim.

Kriteria yang ada di DNV RP-C205, bahwa spektrum JONSWAP dapat diaplikasikan untuk perairan dengan :

$$3.6 < T_p / (H_s)^{1/2} < 5 \quad (2.8)$$

Hal ini didukung dengan pernyataan yang ada pada buku Chakrabarti (1987) bahwa pada kondisi survival di perairan Teluk Meksiko, yang tepat adalah penggunaan spektrum JONSWAP.

Formulasi spektra JONSWAP banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal yang mendasari pemakaian spektra JONSWAP dikarenakan karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas

pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter γ berkisar dari 2.0 hingga 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djatkiko,2012).

Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left\{-0.5\left[\exp\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right]\right\}} \quad (2.9)$$

Dengan :

S_{PM} = Spektrum *Pierson-Moskowitz*

$$= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^{-4} \omega^{-5} \cdot \exp\left\{\frac{-5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right\} \quad (2.10)$$

H_s = tinggi gelombang signifikan

ω_p = $2\pi/T_p$ (*Angular Spectral Peak Frequency*)

γ = non-dimensional parameter bentukpuncak

= 2.0-2.5 untuk perairan Indonesia

σ = *Spectra Width Parameter*

$\sigma = 0.07$ untuk $\omega \leq \omega_p$

$\sigma = 0.09$ untuk $\omega > \omega_p$

$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$ adalah *Normalizing Factor*

2.2.6 Analisis Mooring

Berdasarkan API (2010), analisis *mooring* perlu dilakukan untuk mendapatkan respon ekstrim dari tegangan *mooring line*, beban yang mengenai *anchor*, dan *offset* dari struktur terhadap beban lingkungan dan beban eksternal seperti beban akibat *riser*, *tandem offloading*, dan lainnya. Lalu nilai respon ekstrim tersebut di cek berdasarkan nilai yang diijinkan oleh *codes* yang digunakan untuk memastikan bahwa sistem *mooring* memiliki kapasitas kekuatan yang cukup dalam pengoperasiannya.

2.2.6.1 Metode Analisis Mooring

Berdasarkan API (2010), metode analisis respon *mooring line* dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Analisis *Quasi-static*, dimana beban dinamis gelombang yang mengenai struktur ditentukan berdasarkan gerakan kapal akibat beban lingkungan statis, tanpa memerhatikan beban dinamis akibat massa, redaman, atau percepatan dari fluida. Metode ini pada umumnya digunakan pada analisis awal untuk menentukan panjang *mooring line* atau diameter *mooring chain* yang dibutuhkan.
2. Analisis dinamis, dimana efek dinamis akibat fluida di perhitungkan, sehingga didapatkan respon yang lebih akurat. Analisis dinamis sendiri dibedakan menjadi dua metode :
 - a. metode *domain* frekuensi, dimana nilai respon *mooring* dihitung untuk tiap frekuensi gelombang pada rentang tertentu, dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk spektrum.
 - b. metode *domain* waktu, dimana nilai respon sistem *mooring* dihitung untuk tiap satuan waktu selama rentang tertentu, sehingga hasilnya ditampilkan pada bentuk histori nilai statistik respon atau grafik harmonik.

2.2.7 Perhitungan Tegangan Mooring Line

Secara umum persamaan tegangan maksimum adalah sebagai berikut :

$$T_{max} = T_H + wh \quad (2.11)$$

API-RP-2SK (2005) juga menjelaskan bahwa untuk analisis dinamis, tegangan maksimum adalah penjumlahan dari tegangan rata-rata yang berkaitan dengan *offset* rata-rata dari struktur, tegangan akibat gerak struktur frekuensi rendah, serta tegangan akibat gerak struktur akibat gelombang, yang secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$$T_{max} = T_{max} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \quad (2.12)$$

$$T_{max} = T_{max} + T_{lfsig} + T_{wfmmax} \quad (2.13)$$

Dimana :

T_{max} = Tegangan maksimum

T_{lfmax} = Tegangan maksimum akibat respon gerak struktur frekuensi rendah

T_{wfsig} = Tegangan signifikan akibat respon gerak struktur frekuensi rendah

T_{lfsig} = Tegangan maksimum akibat gelombang

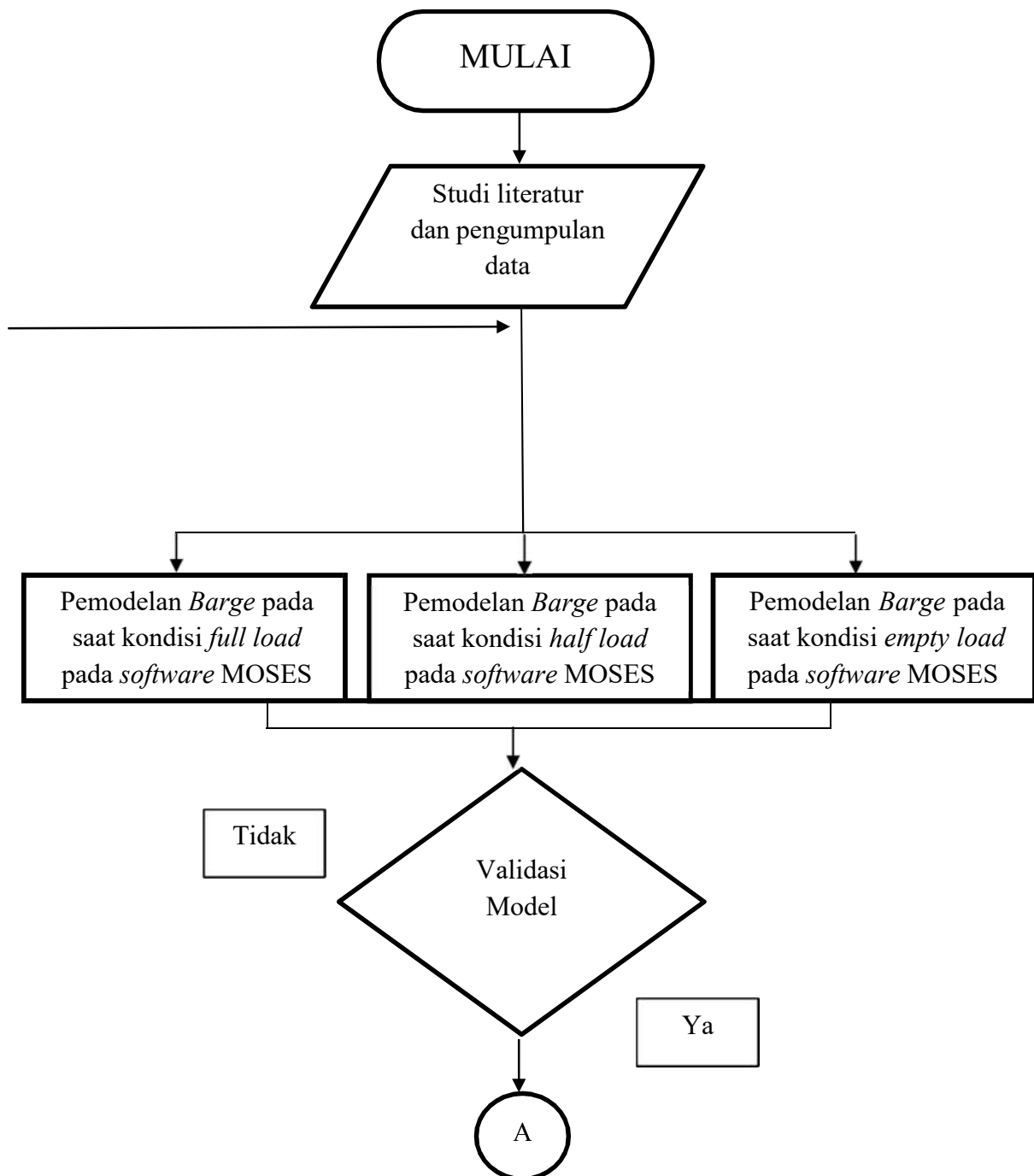
T_{wfsig} = Tegangan signifikan akibat gelombang

Tegangan maksimum adalah nilai terbesar dari hasil dua persamaan diatas.

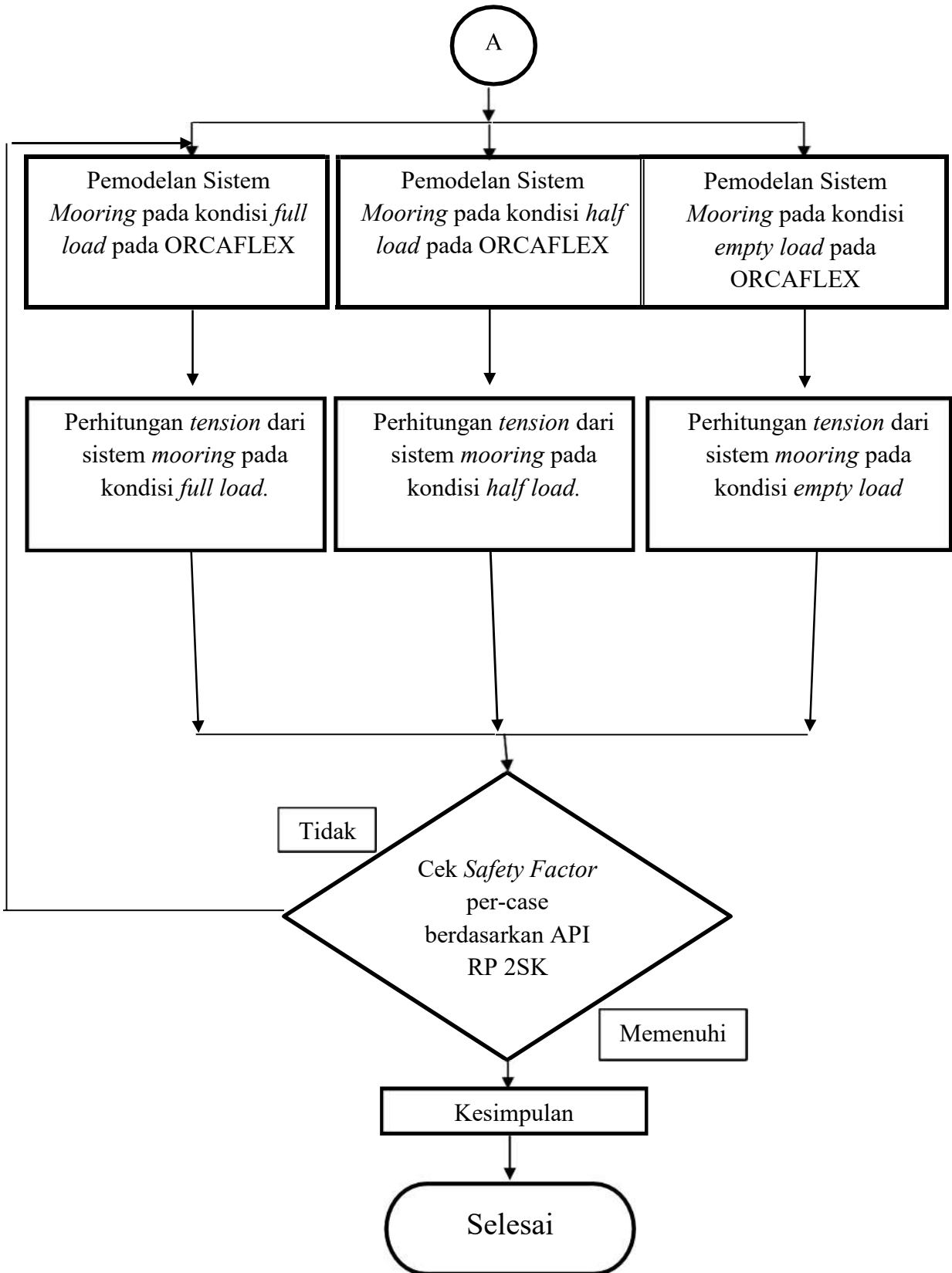
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir

Metode penelitian dalam Tugas Akhir ini digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur dan pengumpulan data

Pada awal pengerjaan ini, dilakukan studi pada berbagai referensi yang digunakan, antara lain buku ilmiah, jurnal, makalah, artikel dan berbagai bentuk literatur lainnya. Selain itu, dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk penelitian, antara lain data struktur, data *mooring line* dan *design criteria*, data *barge* dan data lingkungan.

2. Pemodelan Lambung *Barge full load, half load* dan *empty load* pada software MOSES

Pemodelan Lambung *Barge* pada MOSES dilakukan berdasarkan koordinat atau *marker* yang didapat dari Maxsurf. pemodelan pada MOSES dilakukan untuk mendapatkan respon gerak yang ditampilkan pada grafik RAO (*Response Amplitude Operator*), serta gaya-gaya hidrodinamis yang dibutuhkan untuk analisis *mooring* pada ORCAFLEX.

3. Pemodelan sistem *mooring* dengan 8 *mooring line* untuk setiap *load case* dengan *properties* yang telah ditentukan.

4. Perhitungan *tension* dari tiap *load case*.

Perhitungan *tension* dari sistem *mooring* dilakukan dengan analisis dinamis selama 3 jam (10800 detik) pada model Orcaflex, sehingga didapatkan *tension* maksimum dari tiap *mooring line*. Langkah ini dilakukan untuk tiap *load case*.

5. Pengecekan *Safety Factor* dari tiap *mooring line* di 3 *Load case*.

Pengecekan *Safety factor* dengan ketentuan mengacu API-RP-2SK

6. Kesimpulan dan Saran

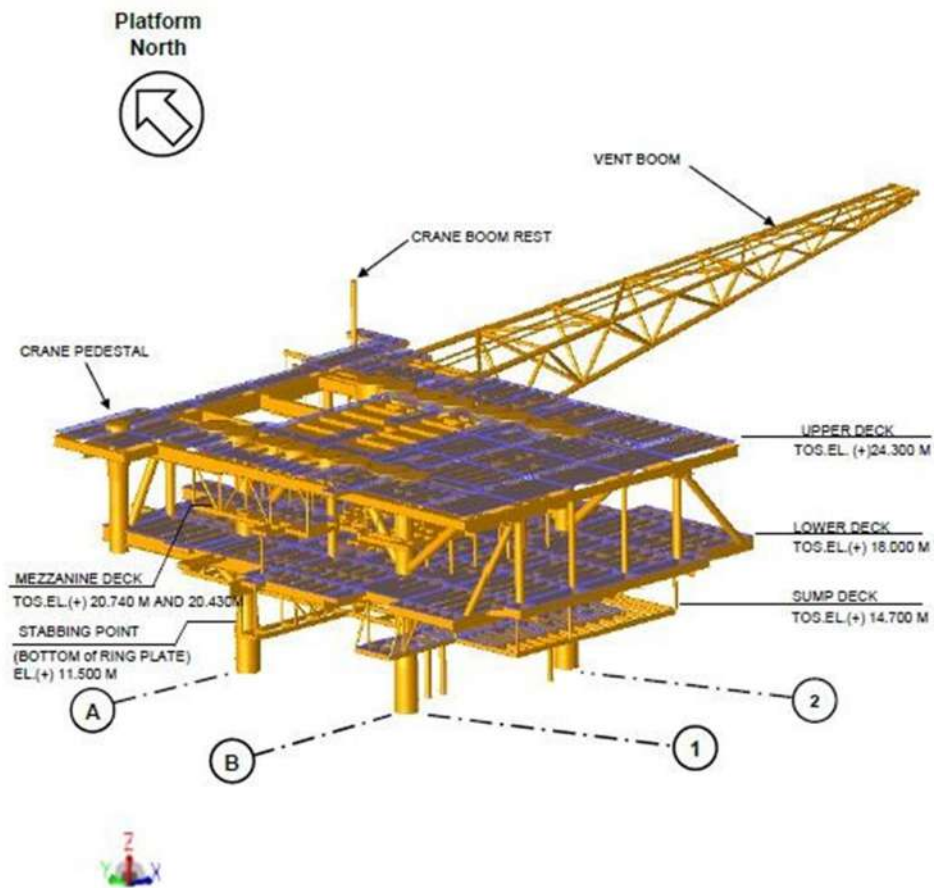
Memberikan kesimpulan dan saran atau rekomendasi dari hasil Tugas Akhir ini.

3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan untuk tugas laporan kerja praktek ini mencakup data *structure parameter of topside*, data *properties mooring line* dan *design criteria*, data *barge particular* dan *jetty*, data *loadout environment*.

3.2.1. Data Struktur

Untuk melaksanakan proses *load out* sebuah *topside* dari fabrikasi ke barge digunakan *skidding* dan *mooring system*. *Mooring system* yang digunakan untuk mempertahankan *pitch stability* pada *barge*. Untuk mengetahui *mooring system* yang diperlukan perlu diketahui dimensi dan bobot dari struktur dan *barge* itu sendiri. Berikut adalah *Weight Control Report WP 9 Zawtika Project* pada data **MM-ZTK-1C-WP9-STR-WCR-1001**.



Gambar 3.2 *Weight Control Report WP 9 Zawtika Project*

Tabel 3.1 Data Topside

Category	Factored weight	COG(m)		
	Wt. (MT)	X from midship to FP	Y from midship to side-port	Z from keel
Dry	1,552	1.76	0.31	20.35
Operating	2,471	1.35	0.05	20.90
Loadout	1,565	1.58	0.15	19.81
Transportation	1,634	1.51	0.14	25.08
Lifting	1,456	1.69	0.16	25.99

3.3.2 Data Mooring Line dan Design Criteria

Berikut adalah data *mooring system* yang digunakan untuk perhitungan *loadout mooring check* dan juga *design criteria* untuk menentukan *safety factor* dari tegangan yang terjadi.

Tabel 3.2 Data properties mooring line

Equipment	Units	Value
Mooring Chain		
Type	~	Studless
Diameter	Mm	92
Length of mooring line	M	425
MBL	KN	6916 (Grade 3)
Weight	Kg/m	185

3.3.3 Data Barge

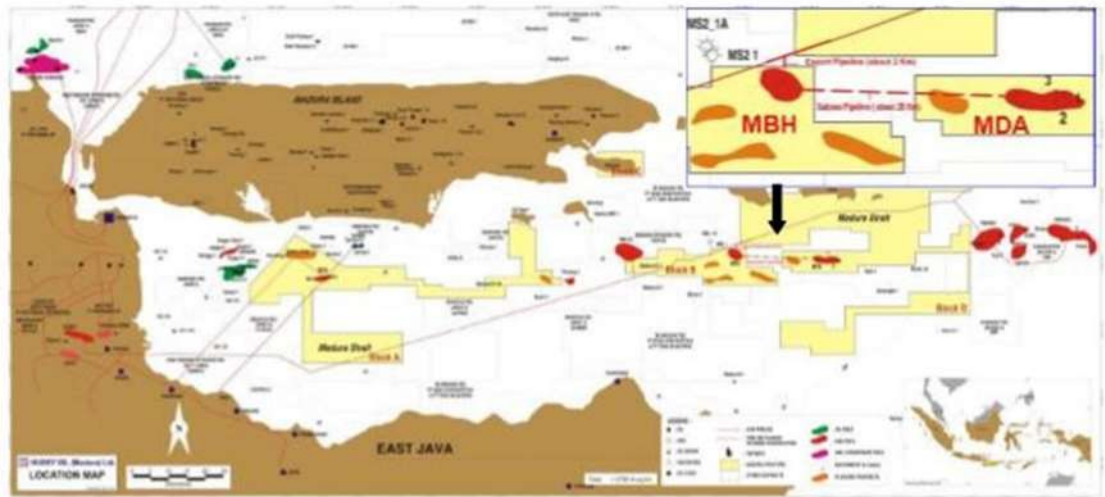
Data *barge* yang digunakan untuk *loadout* adalah data *barge* kelas 280. Dan berikut adalah datanya.

Tabel 3.3 Data Barge

Parameter	Unit	Empty Load	Half Load	Full Load
LOA	m	85.95	85.95	85.95
LWL	m	72.91	85.116	86.331
Breadth	m	27.43	27.43	27.43
Depth	m	5.49	5.49	5.49
Draft	m	2	4.11	4.32
KG	m	2.647	4.53	6.121
Displacement	ton	4192	8860	9588
Vertical Center of Bouyancy	m	1	2.1	2.13
Longitudinal Centre of Bouyancy	m	42.921	42.933	42.938
Radius of Gyration in x-axis	m	8.251	8.823	9.539
Radius of Gyration in y-axis	m	21.047	24.571	24.922
Radius of Gyration in z-axis	m	21.047	24.571	24.922

3.3.4 Data *Metaocean* Lokasi Operasi

Pada tugas akhir ini digunakan lokasi operasi di Selat Madura, Jawa Timur, Indonesia. Data *metaocean* yang dibutuhkan antara lain kecepatan angin dengan kala ulang 1 tahunan, tinggi dan periode gelombang 1 tahunan dan kecepatan arus 1 tahunan. Kedalaman dari perairan Selat Madura adalah 109 m (HAT-Seabed).



Gambar 3.3 Peta Lokasi Operasi di Selat Madura

Tabel 3.4 Data *Metaocean* angin dan gelombang

Wave Data			Wind
1-year			1-year
Hs (m)	Tu (m)	Tp (m)	V (m/s)
2.68	5.46	7.03	25.86

Tabel 3.5 Data *Metaocean* Arus Laut

Current Data	
% of depth (m)	1-year
	Velocity (m/s)
0	1.0839
10	1.0437
20	1.0058
30	0.9598
40	0.9089
50	0.8472
60	0.785
70	0.7176
80	0.6604
90	0.6792
100	0.593

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Lambung Barge

Pemodelan lambung *barge* digunakan untuk mendapatkan gaya hidronamis *barge* dengan menginput data (koordinat/*maker*) *barge* yang telah didapat kedalam *software MOSES*.

4.1.1 Pemodelan Lambung *Barge* pada kondisi *Full Load*

Pengertian *barge* pada kondisi *full load* pada tugas akhir ini adalah kondisi ketika *barge* telah mengalami penambahan beban topside sebelum proses *lifting* dan telah dilakukan *ballasting*. Berikut adalah gambar pemodelan lambung *barge* pada kondisi *full load*:



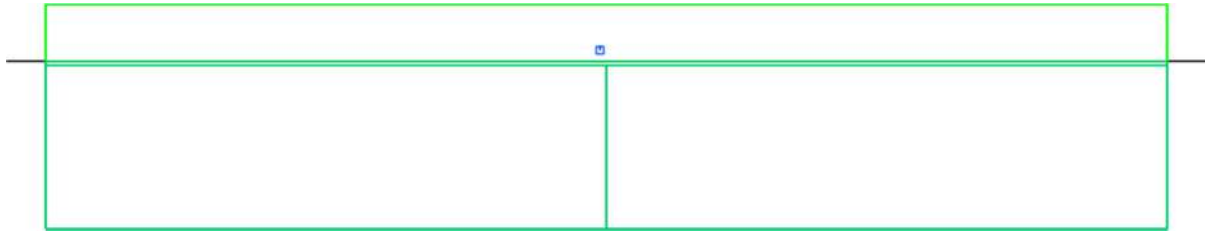
Gambar 4.1 Tampak Depan Hasil Pemodelan *Barge* pada keadaan *full load*



Gambar 4.2 Tampak Samping Hasil Pemodelan *Barge* pada keadaan *full load*

4.1.2 Pemodelan Lambung *Barge* pada kondisi *Half Load*

Pengertian *barge* pada kondisi *half load* pada tugas akhir ini adalah kondisi ketika *barge* telah mengalami pengurangan beban sebesar setengah beban topside karena telah terdistribusi ke tali crane pada saat proses *lifting* dan telah dilakukan *ballasting*. Berikut adalah gambar pemodelan lambung *barge* pada kondisi *half load*:



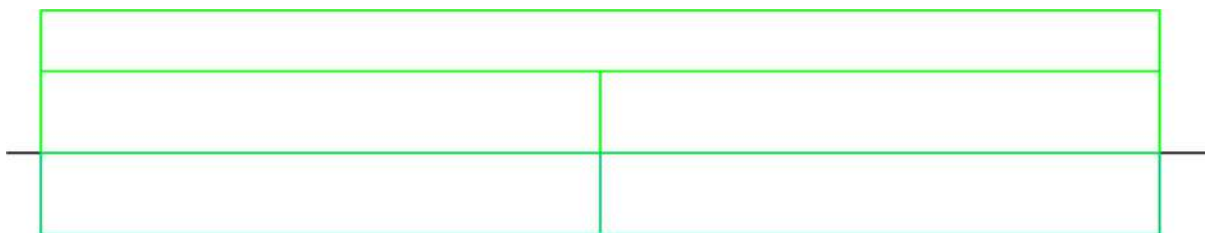
Gambar 4.3 Tampak Depan Hasil Pemodelan *Barge* pada keadaan *half load*



Gambar 4.4 Tampak Samping Hasil Pemodelan *Barge* pada keadaan *half load*

4.1.3 Pemodelan Lambung *Barge* pada kondisi *Empty Load*

Pengertian *barge* pada kondisi *empty load* pada tugas akhir ini adalah kondisi ketika *barge* pada kondisi kosong atau di tugas akhir ini topside telah terangkat seluruhnya atau telah mengalami proses *lifting* dan telah dilakukan *ballasting*. Berikut adalah gambar pemodelan lambung *barge* pada kondisi *empty load*:



Gambar 4.5 Tampak Depan Hasil Pemodelan *Barge* pada keadaan *empty load*.



Gambar 4.6 Tampak Samping Hasil Pemodelan *Barge* pada keadaan *empty load*

Agar hasil pemodelan lambung *barge* mendekati kapal asli, maka perlu dilakukan validasi model *MOSES* dengan data *barge* yang sebenarnya. Pada tugas akhir ini, validasi model *barge* berdasarkan *ABS computational modelling acceptable tolerances*.

Tabel 4.1 *ABS Computational Modelling Acceptable Tolerance*

<i>Hull Form Dependent</i>	<i>Acceptable Tolerance ⁽¹⁾</i>
Displacement	2%
Longitudinal center of buoyancy (LCB)	1%/50 cm max
Vertical center of buoyancy (VCB)	1%/5 cm max
Transverse center of buoyancy (TCB)	0.5% of <i>B</i> /5 cm max
Longitudinal center of flotation (LCF)	1%/50 cm max
Transverse metacentric height (KMt)	1%/5 cm max
Longitudinal metacentric height (KMI)	1%/50cm max
<i>Compartment Dependent</i>	
Volume or deadweight	2%
Longitudinal center of gravity (LCG)	1%/50 cm max
Vertical center of gravity (VCG)	1%/5 cm max
Transverse center of gravity (TCG)	0.5% of <i>B</i> /5 cm max
Free surface moment (FSM)	2%
Level of contents	2%
<i>Trim and Stability</i>	
Drafts (forward, aft, mean)	1%/5 cm max
GMt and GMI	1%/5 cm max
GZ values	5%/5 cm max
Free surface correction (FSC)	2%
Downflooding angle	2°
Equilibrium angles	1°
Distance to unprotected openings or margin line from WL, if applicable	±5%/5 cm max
Areas under righting arm curve	5%

Tabel 4.2 Validasi Pemodelan *barge* pada kondisi *full load*

Parameter (Full Load)	Data	Moses	Koreksi (%)
Displacement (ton)	9588	9587.0316	-0.010
VCB (m)	2.21	2.23	0.905
LCB (m) (Dari FP)	42.938	42.98	0.098
KMT (m)	18.05	18.04	-0.055
KML (m)	157.55	157.45	-0.063

Tabel 4.3 Validasi Pemodelan *barge* pada kondisi *half load*

Parameter (Half Load)	Data	Moses	Koreksi (%)
Displacement (ton)	8860	8977.50	1.326
VCB (m)	2.1	2.12	0.952
LCB (m) (Dari FP)	42.933	42.98	0.109
KMT (m)	18.93	18.82	-0.581
KML (m)	166.5	166.01	-0.294

Tabel 4.4 Validasi hasil pemodelan *barge* kondisi *empty load*

Parameter (Empty Load)	Data	Moses	Koreksi (%)
Displacement (ton)	4192	4191.94	-0.001
VCB (m)	1.01	1.02	0.990
LCB (m) (Dari FP)	42.921	42.98	0.137
KMT (m)	33.938	33.97	0.094
KML (m)	269.7	269.9	0.074

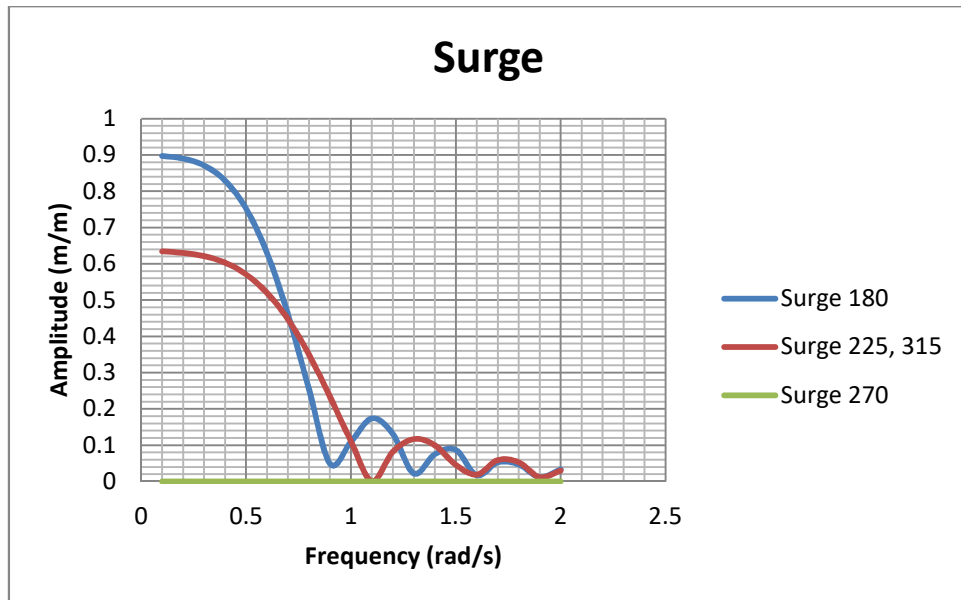
Berdasarkan hasil validasi diatas, untuk tiap parameter yang koreksinya memenuhi syarat yang ditentukan ABS, maka hasil dari pemodelan *barge* telah mendekati desain asli *barge*.

4.2 Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidrodinamis Barge

4.2.1. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis *Barge* pada kondisi Full Load

Analisa respon gerak terapung bebas dan gaya hidrodinamis dari *barge* dilakukan menggunakan *software MOSES*. Pada pengerjaan tugas akhir ini arah gaya lingkungan yang didapat hanya diambil dari salah satu sisi *barge* dikarenakan simetri, analisis dilakukan pada sudut 180°, 225°, 270°, dan 315°. Analisa respon gerak dan gaya hidrodinamis dilakukan untuk rentang frekuensi 0.1-2 rad/s dengan interval tiap 0.1 rad/s. Berikut adalah respon gerak *barge* pada

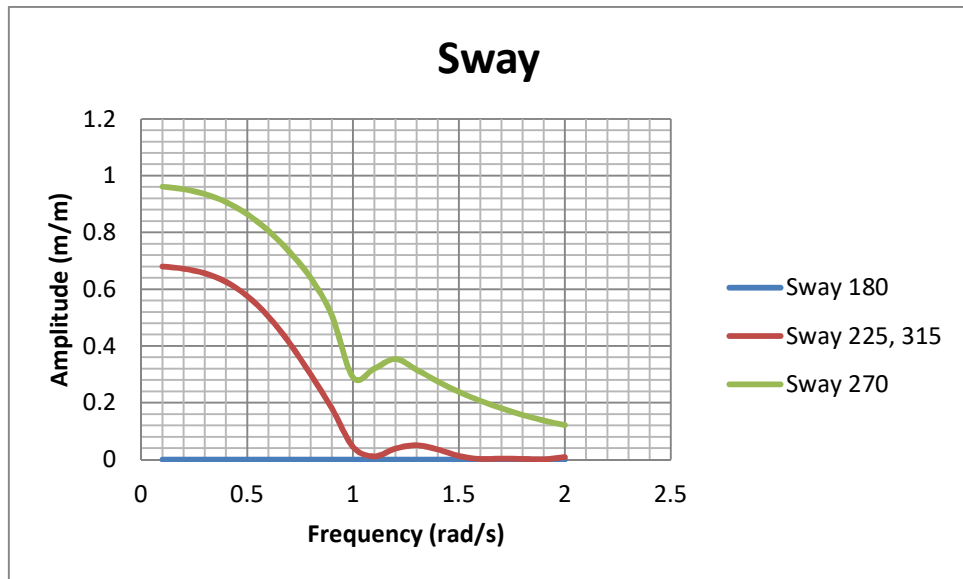
kondisi *Full load* terhadap pengaruh gaya lingkungan dan hantakan yang terjadi ketika proses *lifting* Topside yang ditampilkan dalam grafik *Response Amplitude Operator* (RAO) untuk enam derajat kebebasan.



Gambar 4.7 RAO *Surge Free Floating Barge* pada keadaan *ful load*.

Berdasarkan grafik RAO *surge* diatas gerakan *surge* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 180° pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.897 m/m untuk kondisi *full load*. Sedangkan pada sudut 270° nilai amplitudo dan gerakan menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *surge*.

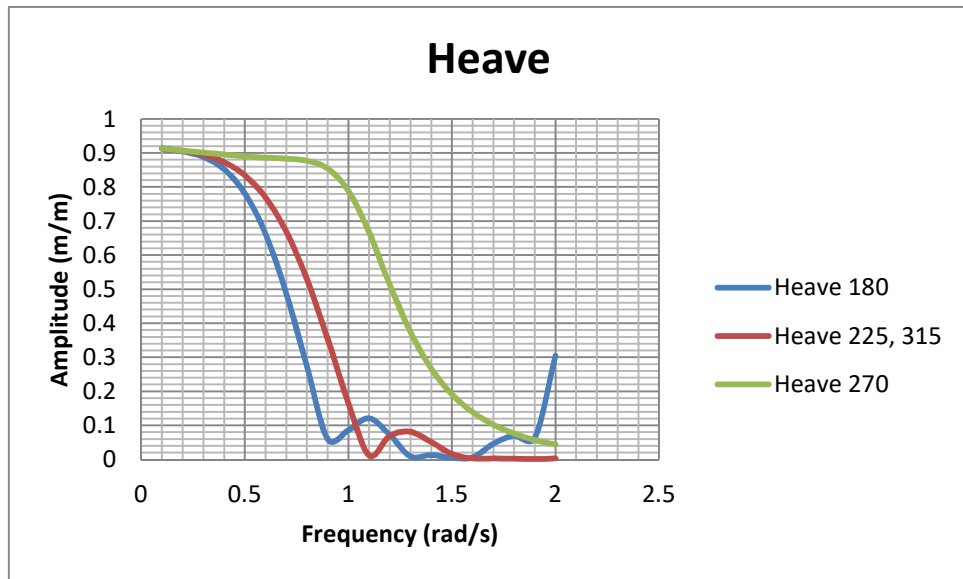
Pada frekuensi 0.9 rad/s mengalami penurunan amplitude sebesar 0.049 m/m sebelum mengalami kenaikan lagi dengan amplitude sebesar 0.174 m/m pada frekuensi 1.1 rad/s dan mengalami penurunan secara signifikan.



Gambar4.8 RAO *Sway Free Floating Barge* pada keadaan *full load*

Gerakan *sway* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 270^0 pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.961m/m untuk kondisi *full load*. Sedangkan pada sudut 180^0 nilai amplitudo menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *sway*.

Pada frekuensi 1 rad/s, hasil RAO mengalami penurunan signifikan dengan amplitude gerakan sebesar 0.289 m/m dan mengalami kenaikan amplitude sebesar 0.354 m/m pada frekuensi 1.2 rad/s, selanjutnya hasil RAO mengalami penurunan secara signifikan sampai hasil mendekati 0.1 m/m pada frekuensi 2 rad/s.

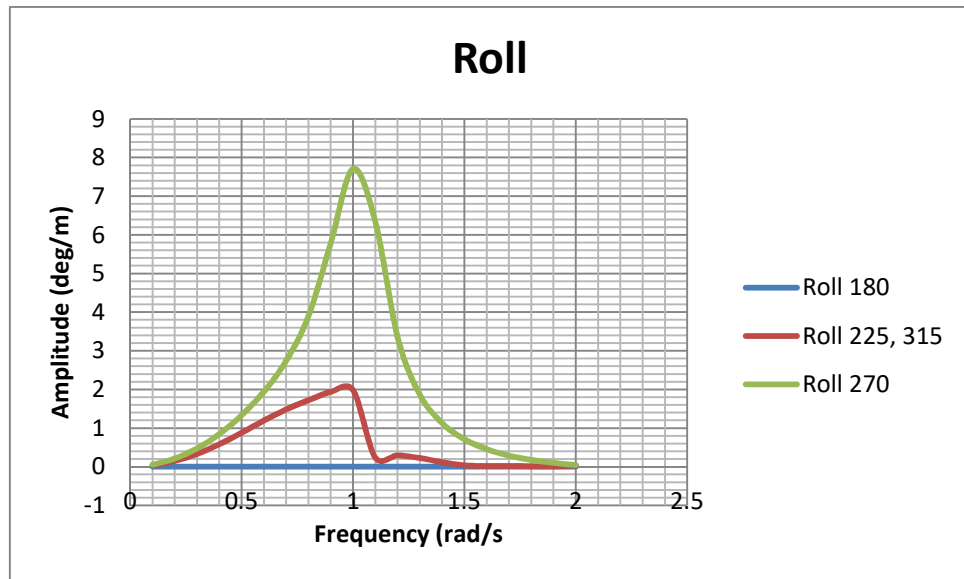


Gambar4.9 RAO Heave Free Floating Barge pada keadaan *full load*.

Gerakan *heave* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada keempat sudut pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.913 m/m untuk kondisi *full load*.

Amplitude gerakan pada sudut kedatangan gelombang 270° masih mengalami amplitudo gerakan terbesar sebesar 0.89 m/m pada frekuensi 0.5 rad/s dibandingkan dengan sudut kedatangan gelombang 180°, 225°, dan 315° di frekuensi yang sama yang telah mengalami penurunan secara signifikan

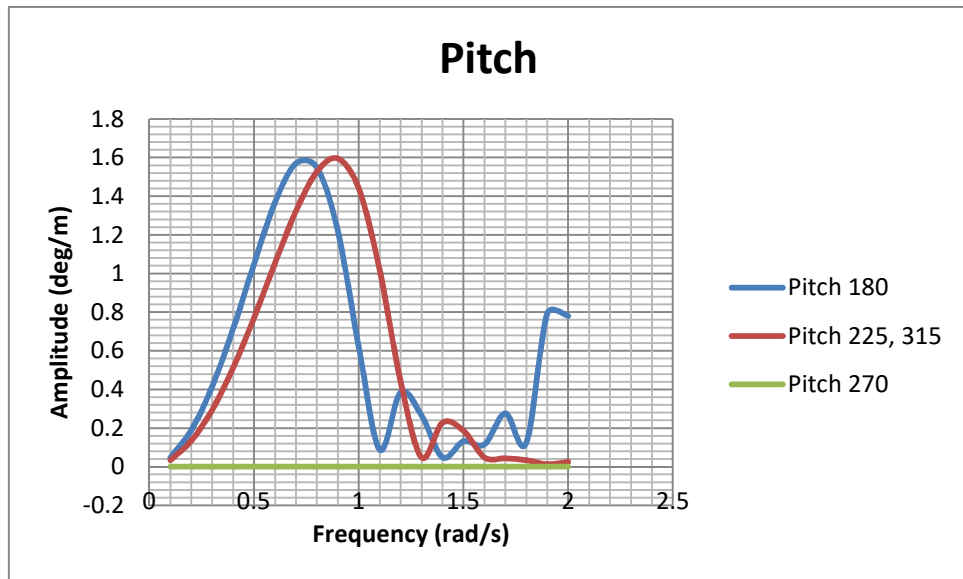
Pada frekuensi 1 rad/s di sudut kedatangan gelombang 270° baru mengalami penurunan signifikan dengan amplitudo gerakan sebesar 0.789 m/m sampai mendekati 0.1 m/m.



Gambar4.10 RAO *Roll Free Floating Barge* pada keadaan *full load*.

Gerakan *roll* pada tiap sudut kedatangan gelombang pada 0.1 rad/s mempunyai amplitudo gerakan 0 deg/m dan mengalami kenaikan signifikan yang paling besar terjadi pada sudut datang gelombang 270° terjadi pada frekuensi 1 rad/s dengan amplitudo gerakan 7.703 deg/m untuk kondisi *full load*. Sedangkan pada sudut datang gelombang 180° nilai amplitudo menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *roll*.

Pada frekuensi 1.1 rad/s pada sudut kedatangan gelombang 270° dengan hasil amplitudo gerakan terbesar sebelumnya mengalami penurunan signifikan dengan amplitudo gerakan 6.347 deg/m sampai mendekati 0 deg/m.

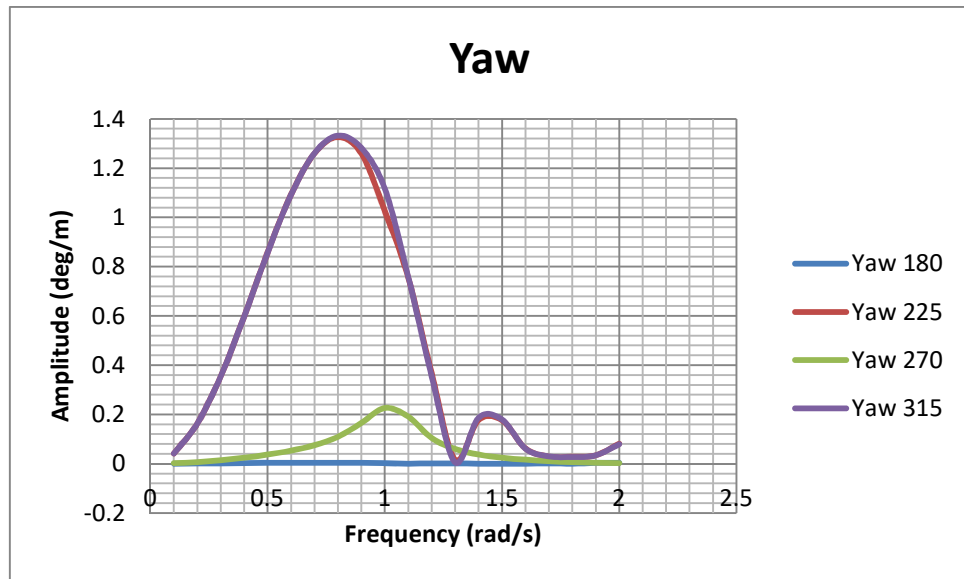


Gambar4.11 RAO *Pitch Free Floating Barge* pada keadaan *full load*.

Gerakan *pitch* mengalami kenaikan signifikan awal pada frekuensi 0.1 rad/s pada sudut kedatangan gelombang 180° dengan amplitudo gerakan 0.048 deg/m, sudut kedatangan gelombang 225° dengan amplitudo gerakan 0.034 deg/m dan pada sudut kedatangan gelombang 270° amplitudo gerakannya konstan 0 deg/m.

Gerakan *pitch* terbesar terjadi pada sudut datang gelombang 225° dan 315 terjadi pada frekuensi 0.9 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.595 deg/m untuk kondisi *full load*.

Gerakan *pitch* mengalami penurunan secara signifikan pada tiap sudut kedatangan gelombang, dimana pada sudut kedatangan gelombang 180° mengalami penurunan pada frekuensi 0.9 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.22 deg/m. Pada sudut kedatangan gelombang 225° dan 315° mengalami penurunan signifikan pada saat frekuensi 1 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.44 deg/m.



Gambar4.12 RAO Yaw Free Floating Barge pada keadaan *full load*.

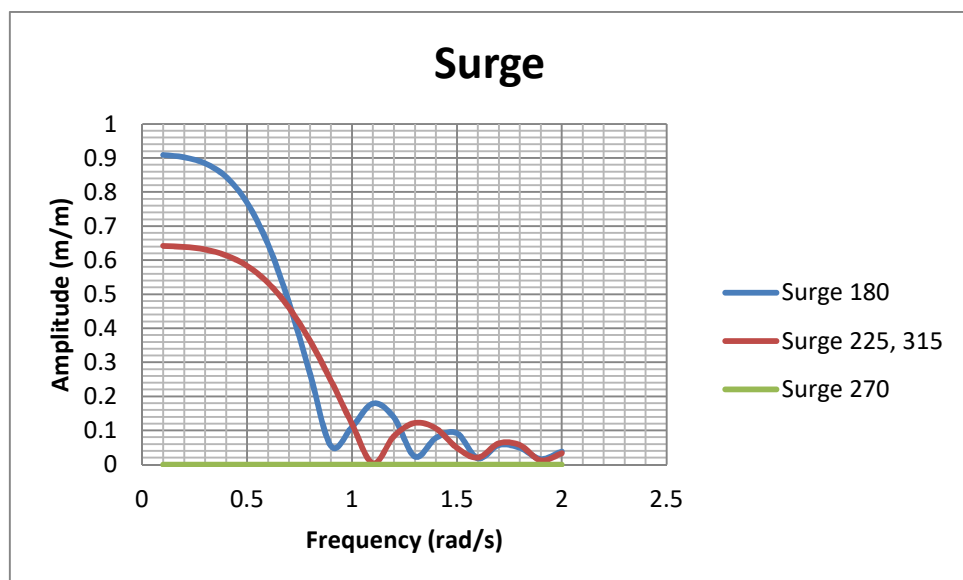
Gerakan *yaw* mengalami kenaikan secara signifikan di tiap sudut kedatangan gelombang, dimana pada sudut kedatangan gelombang 315° pada frekuensi 0.2 rad/s mengalami amplitude gerakan 0.001 deg/m, pada sudut kedatangan gelombang 225° pada frekuensi 0.1 rad/s mengalami amplitude gerakan 0.041 deg/m

Gerakan *yaw* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut datang gelombang 315° pada frekuensi 0.8 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.332 deg/m untuk kondisi *full load*.

Gerakan *yaw* mengalami penurunan secara signifikan pada frekuensi 0.9 rad/s pada sudut kedatangan gelombang 315° dengan amplitude gerakan 1.26 deg/m dan pada sudut kedatangan gelombang 225° dengan amplitude gerakan 1.259 deg/m.

4.2.2. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis *Barge* pada kondisi *Half Load*.

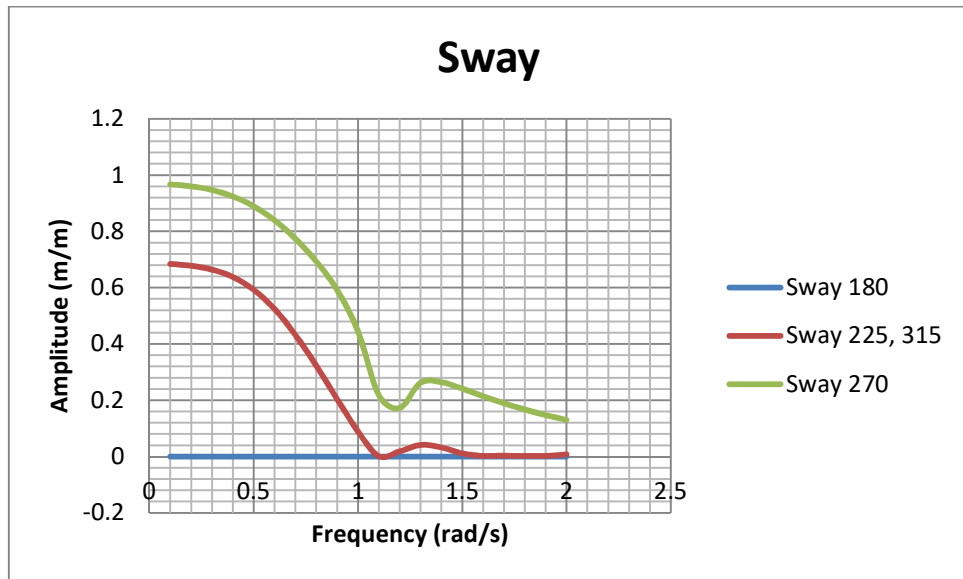
Analisa respon gerak terapung bebas dan gaya hidrodinamis dari *barge* dilakukan menggunakan *software MOSES*. Pada pengerjaan tugas akhir ini arah gaya lingkungan yang didapat hanya diambil dari salah satu sisi *barge* dikarenakan simetri, analisis dilakukan pada sudut 180°, 225°, 270°, dan 315°. Analisa respon gerak dan gaya hidrodinamis dilakukan untuk rentang frekuensi 0.1-2 rad/s dengan interval tiap 0.1 rad/s. Berikut adalah respon gerak *barge* pada kondisi *Half load* terhadap pengaruh gaya lingkungan dan hentakan yang terjadi ketika proses *lifting* Topside yang ditampilkan dalam grafik *Response Amplitude Operator* (RAO) untuk enam derajat kebebasan.



Gambar4.13 RAO *Surge Free Floating Barge* pada keadaan *half load*.

Berdasarkan grafik RAO *surge* diatas gerakan *surge* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 180° pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.909 m/m untuk kondisi *half load*. Sedangkan pada sudut 270° nilai amplitudo dan gerakan menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *surge*.

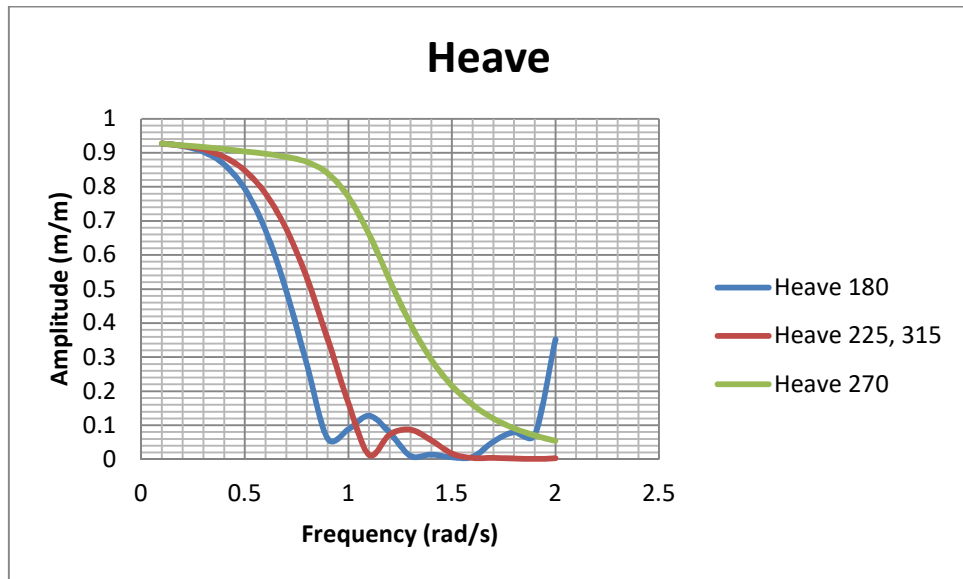
Pada frekuensi 0.9 rad/s mengalami penurunan amplitude sebesar 0.054 m/m sebelum mengalami kenaikan lagi dengan amplitude sebesar 0.179 m/m pada frekuensi 1.1 rad/s dan mengalami penurunan secara signifikan.



Gambar4.14 RAO Sway Free Floating Barge pada keadaan *half load*.

Gerakan *sway* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 270^0 pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.967 m/m untuk kondisi *half load*. Sedangkan pada sudut 180^0 nilai amplitudo menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *sway*.

Pada frekuensi 1.2 rad/s, hasil RAO mengalami penurunan signifikan dengan amplitude gerakan sebesar 0.172 m/m dan mengalami kenaikan amplitude sebesar 0.262 m/m pada frekuensi 1.3 rad/s, selanjutnya hasil RAO mengalami penurunan secara signifikan sampai hasil mendekati 0.1 m/m pada frekuensi 2 rad/s.

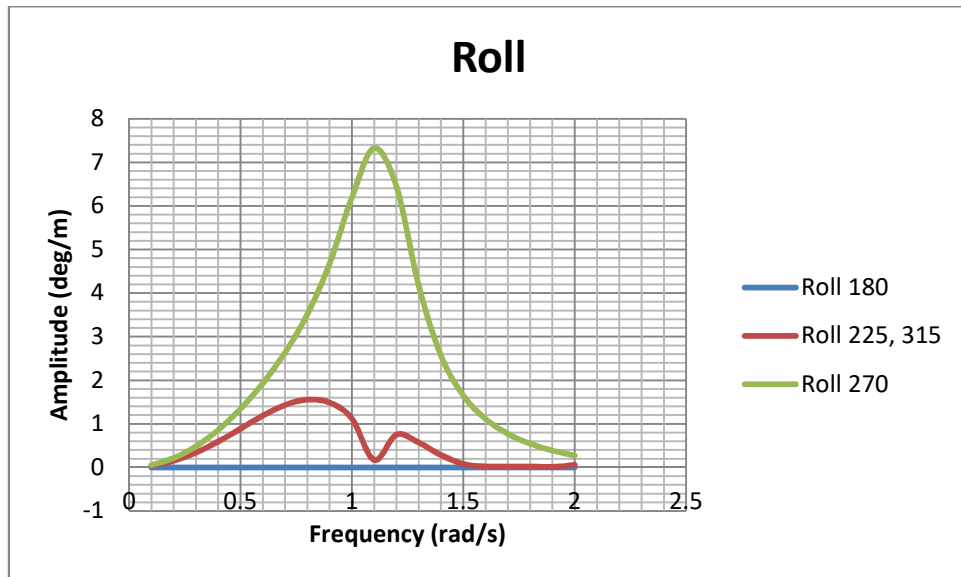


Gambar4.15 RAO Heave Free Floating Barge pada keadaan *half load*.

Gerakan *heave* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada keempat sudut pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.927 m/m untuk kondisi *half load*.

Amplitude gerakan pada sudut kedatangan gelombang 270° masih mengalami amplitudo gerakan terbesar sebesar 0.904 m/m pada frekuensi 0.5 rad/s dibandingkan dengan sudut kedatangan gelombang 180°, 225°, dan 315° di frekuensi yang sama yang telah mengalami penurunan secara signifikan

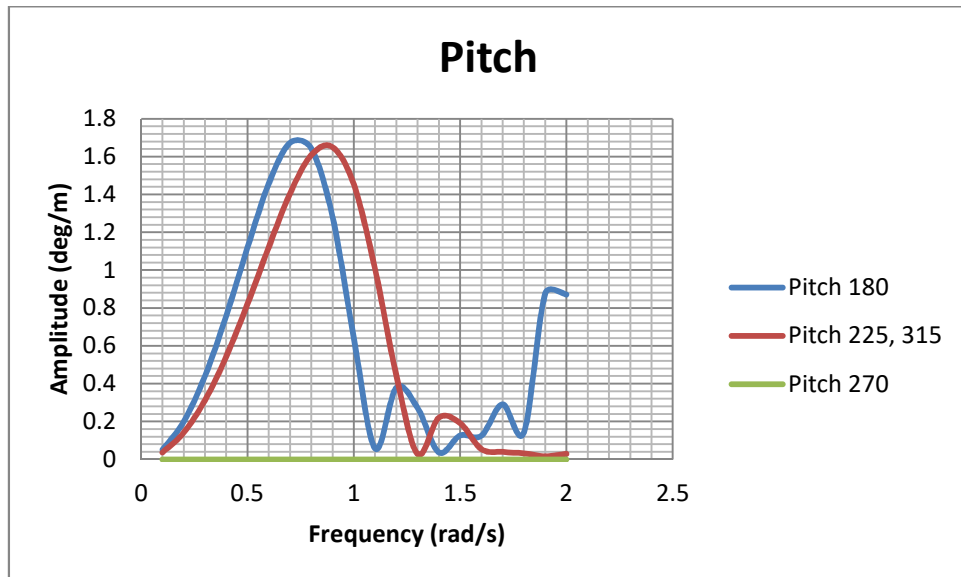
Pada frekuensi 0.8 rad/s di sudut kedatangan gelombang 270° baru mengalami penurunan signifikan dengan amplitudo gerakan sebesar 0.873 m/m sampai mendekati 0.



Gambar4.16 RAO Roll Free Floating Barge pada keadaan *half load*.

Gerakan *roll* pada tiap sudut kedatangan gelombang pada 0.1 rad/s mempunyai amplitudo gerakan 0 deg/m dan mengalami kenaikan signifikan yang paling besar terjadi pada sudut datang gelombang 270° terjadi pada frekuensi 1.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 7.329 deg/m untuk kondisi *half load*. Sedangkan pada sudut datang gelombang 180° nilai amplitudo menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *roll*.

Pada frekuensi 1.2 rad/s pada sudut kedatangan gelombang 270° dengan hasil amplitudo gerakan terbesar sebelumnya mengalami penurunan signifikan dengan amplitudo gerakan 6.447 deg/m sampai mendekati 0 deg/m.

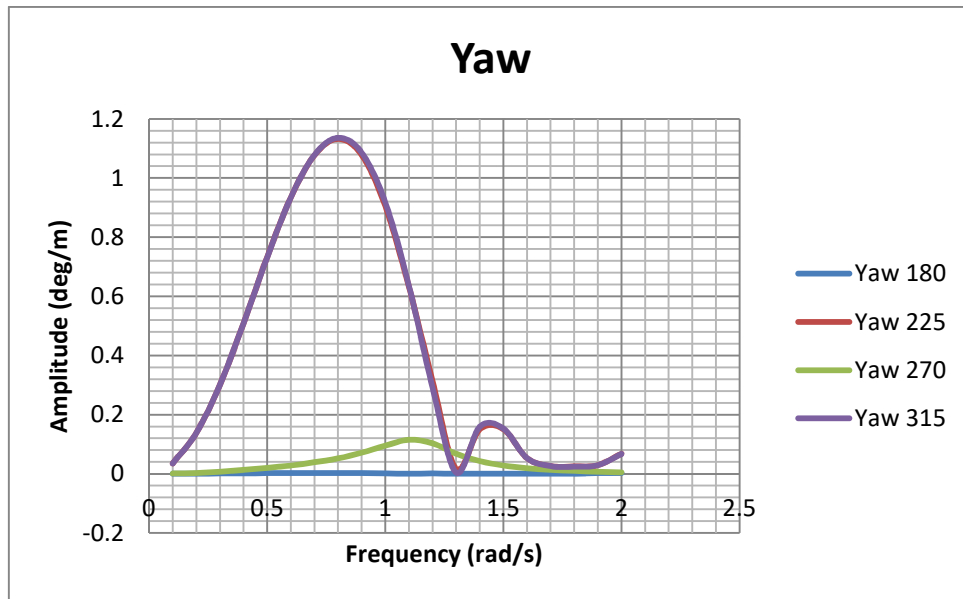


Gambar4.17 RAO *Pitch Free Floating Barge* pada keadaan *half load*.

Gerakan *pitch* mengalami kenaikan signifikan awal pada frekuensi 0.1 rad/s pada sudut kedatangan gelombang 180° dengan amplitudo gerakan 0.05 deg/m, sudut kedatangan gelombang 225° dengan amplitudo gerakan 0.036 deg/m dan pada sudut kedatangan gelombang 270° amplitudo gerakannya konstan 0 deg/m.

Gerakan *pitch* terbesar terjadi pada sudut datang gelombang 225° dan 315° terjadi pada frekuensi 0.9 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.648 deg/m untuk kondisi *half load*.

Gerakan *pitch* mengalami penurunan secara signifikan pada tiap sudut kedatangan gelombang, dimana pada sudut kedatangan gelombang 180° mengalami penurunan pada frekuensi 0.8 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.642 deg/m. Pada sudut kedatangan gelombang 225° dan 315° mengalami penurunan signifikan pada saat frekuensi 1 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.453 deg/m.



Gambar4.18 RAO Yaw Free Floating Barge pada keadaan *half load*.

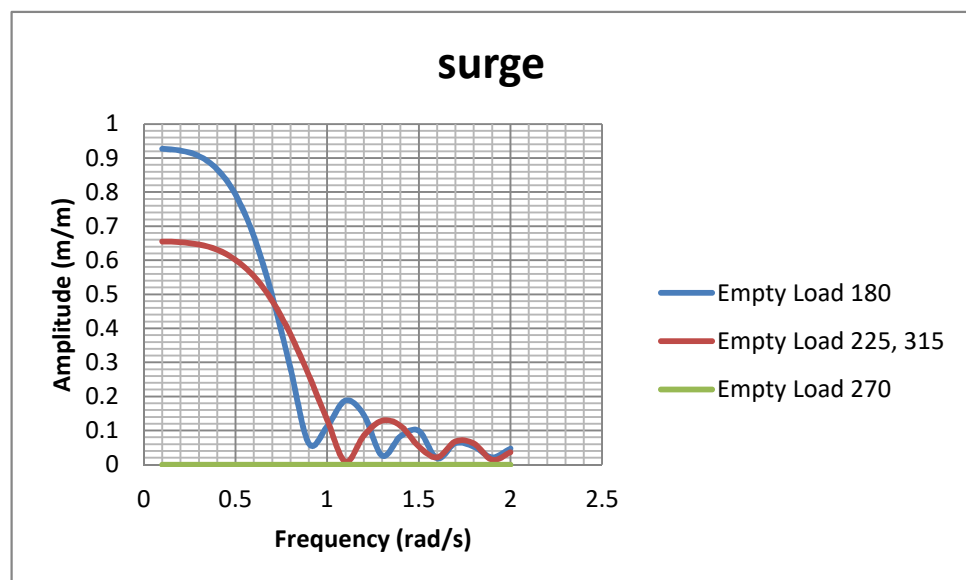
Gerakan *yaw* mengalami kenaikan secara signifikan di tiap sudut kedatangan gelombang, dimana pada sudut kedatangan gelombang 315° pada frekuensi 0.1 rad/s mengalami amplitude gerakan 0.035 deg/m, pada sudut kedatangan gelombang 225° pada frekuensi 0.1 rad/s mengalami amplitude gerakan 0.035 deg/m

Gerakan *yaw* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut datang gelombang 225° dan 315° pada frekuensi 0.8 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.132 deg/m untuk kondisi *full load*.

Gerakan *yaw* mengalami penurunan secara signifikan pada frekuensi 0.9 rad/s pada sudut kedatangan gelombang 225° dan 315° dengan amplitude gerakan 1.078 deg/m.

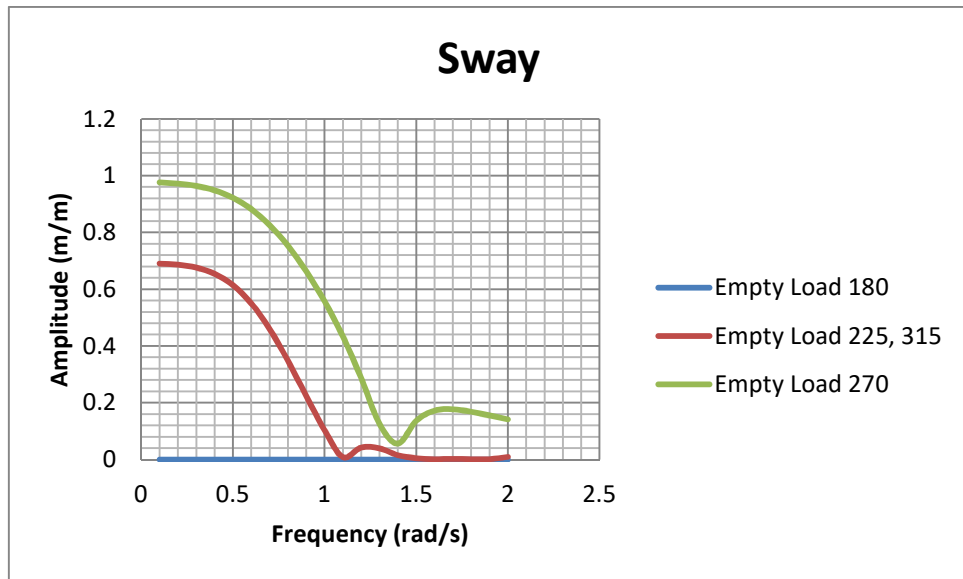
4.2.3. Analisa Respon Gerak Terapung Bebas dan Gaya Hidronamis *Barge* pada kondisi *Empty Load*.

Analisa respon gerak terapung bebas dan gaya hidrodinamis dari *barge* dilakukan menggunakan *software MOSES*. Pada pengerjaan tugas akhir ini arah gaya lingkungan yang didapat hanya diambil dari salah satu sisi *barge* dikarenakan simetri, analisis dilakukan pada sudut 180° , 225° , 270° , dan 315° . Analisa respon gerak dan gaya hidrodinamis dilakukan untuk rentang frekuensi 0.1-2 rad/s dengan interval tiap 0.1 rad/s. Berikut adalah respon gerak *barge* pada kondisi *empty load* terhadap pengaruh gaya lingkungan dan hantakan yang terjadi ketika proses *lifting* *Topside* yang ditampilkan dalam grafik *Response Amplitude Operator* (RAO) untuk enam derajat kebebasan.



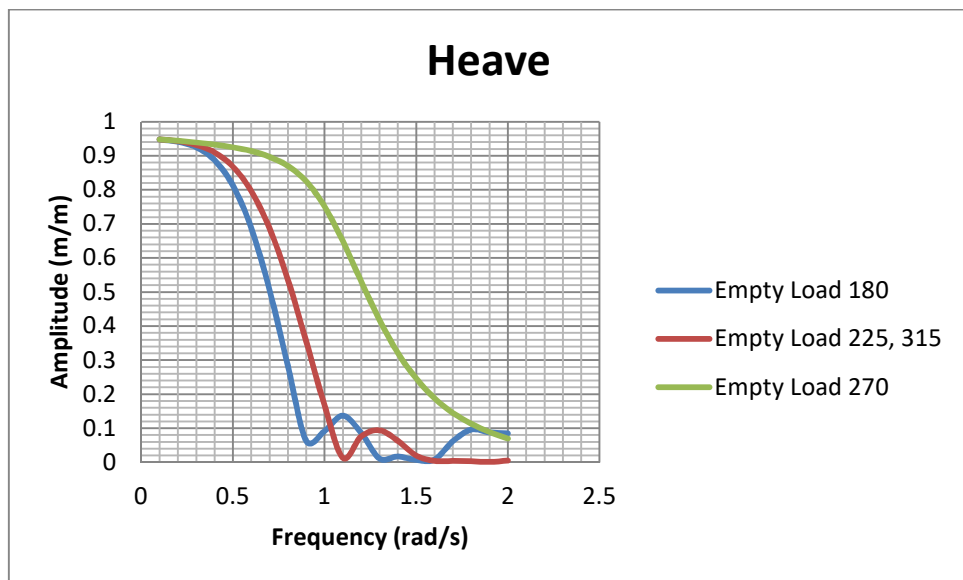
Gambar 4.19 RAO *Surge free floating Barge* pada keadaan *empty load*.

Berdasarkan grafik RAO *surge* diatas gerakan *surge* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 180° pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.927 m/m untuk kondisi *empty load*. Sedangkan pada sudut 270° nilai amplitudo dan gerakan menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *surge*.



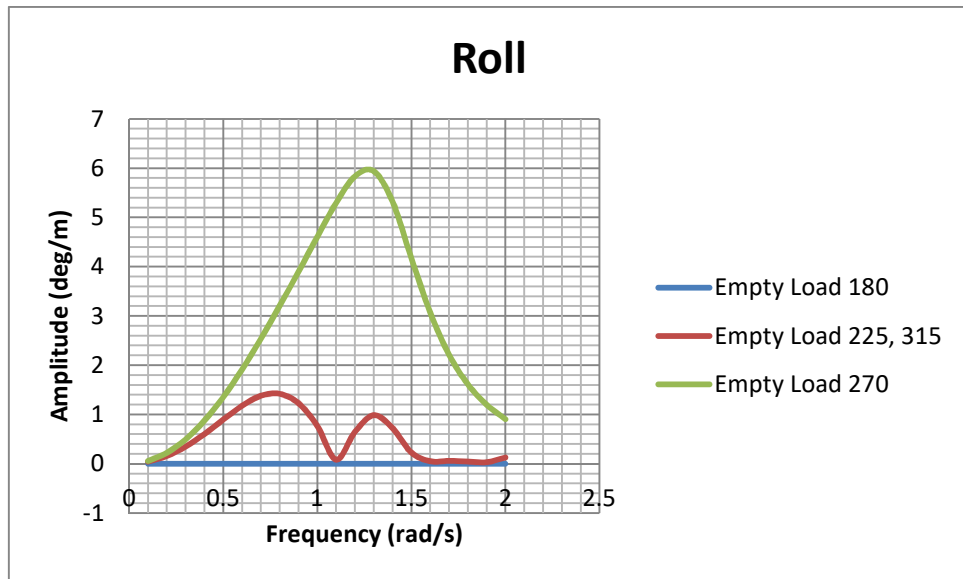
Gambar 4.20 RAO *Sway free floating Barge* pada keadaan *empty load*.

Gerakan *sway* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 270° pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.976 m/m untuk kondisi *empty load*. Sedangkan pada sudut 180° nilai amplitudo menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan *sway*.



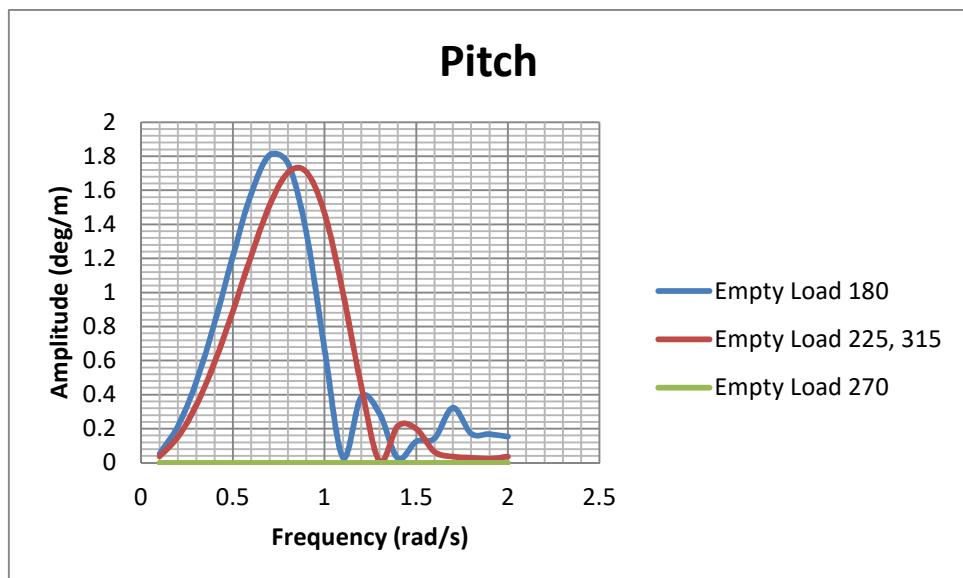
Gambar 4.21 RAO *Heave free floating Barge* pada keadaan *empty load*.

Gerakan *heave* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada keempat sudut pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.848 m/m untuk kondisi *empty load*.



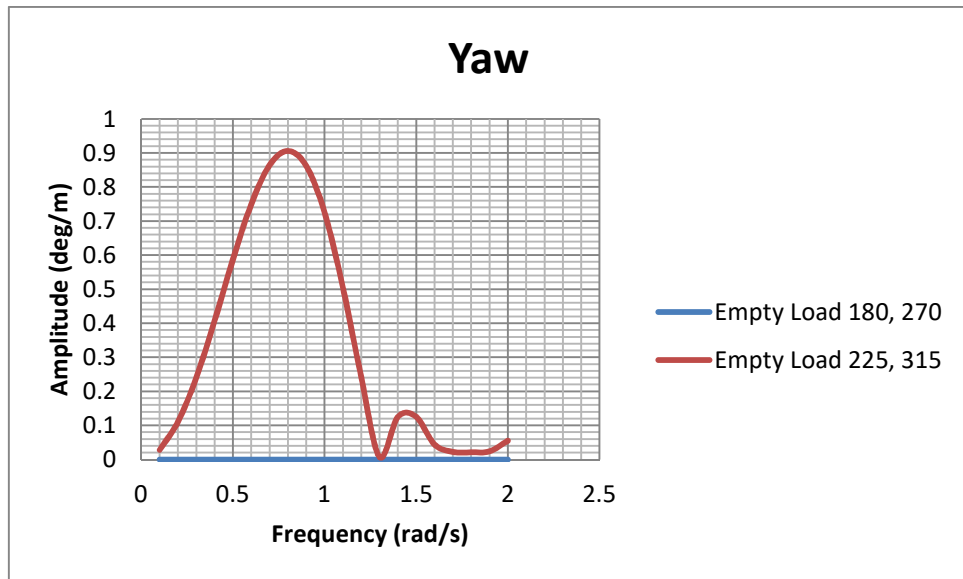
Gambar 4.22 RAO Roll free floating Barge pada keadaan empty load.

Gerakan roll terbesar pada sudut datang gelombang 270° terjadi pada frekuensi 1.3 rad/s dengan amplitudo gerakan 5.939 deg/m untuk kondisi empty load. Sedangkan pada sudut datang gelombang 180° nilai amplitudo menunjukkan nilai 0 atau bisa dikatakan tidak mengalami gerakan roll.



Gambar 4.23 RAO Pitch free floating Barge pada keadaan empty load.

Gerakan pitch terbesar terjadi pada sudut datang gelombang 180° terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.807 deg/m untuk kondisi empty load.



Gambar 4.24 RAO *Yaw free floating Barge* pada keadaan *empty load*.

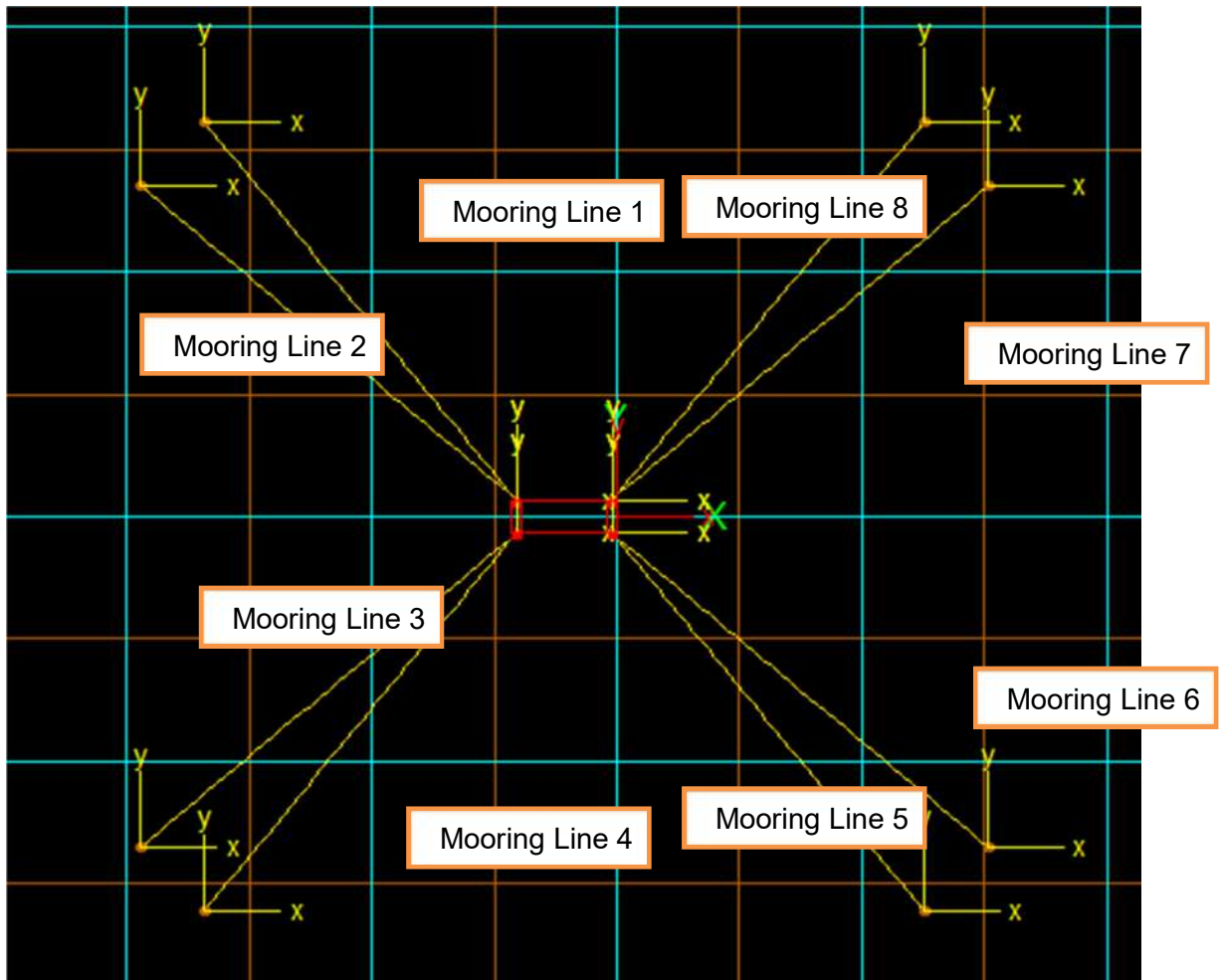
Gerakan *yaw* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut datang gelombang 225° dan 315° pada frekuensi 0.8 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.906 deg/m untuk kondisi *empty load*.

4.3. Analisa Tegangan Mooring Line pada Sistem Tambat

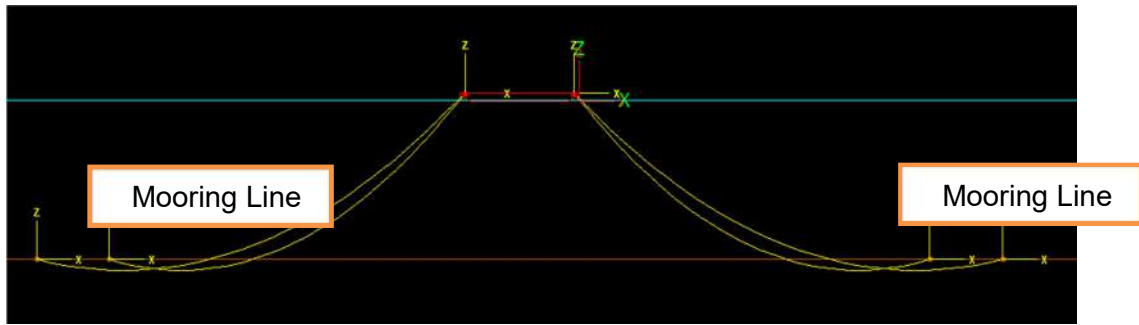
Untuk menentukan tegangan sistem tambat yang maksimal dari tiga *load case*, perlu dilakukan analisa *tension* dari tiap *line* di tiap *load case*. Analisa *tension* dinamis dilakukan menggunakan metode *time domain* dalam rentang waktu 3 jam atau 10800 detik dan dengan RAO yang berbeda-beda dari tiap *load case*.

4.3.1. Pemodelan Sistem tambat pada Software Orcaflex.

Pada tugas akhir ini analisa tegangan dilakukan menggunakan *software* Orcaflex dan semua *mooring line* dimodelkan.



Gambar 4.25 Konfigurasi *Mooring Line* yang akan dianalisa (tampak atas)



Gambar 4.26 Letak *Mooring Line* yang akan dianalisa (tampak samping)

4.3.2. Perhitungan Tension Mooring Line

Analisa tegangan dilakukan menggunakan *software* Orcaflex dengan analisa dinamis yang membutuhkan input antara lain data hidrodinamis kapal, spesifikasi *mooring line* dan data *meteocean*. Sebelum menganalisa dengan analisa dinamis, dilakukan terlebih dahulu analisa static untuk memberikan *pretension* sebelum *barge* dan *mooring line* dikenakan data lingkungan. Hasil yang didapatkan adalah tegangan maksimum pada setiap ujung *mooring line*. Berikut adalah hasil analisa tegangan untuk semua *load case*:

Tabel 4.5 Hasil *mooring line tension* yang terjadi pada End-A (yang terletak pada *barge*)

Anchor Pattern	Tension (KN)		
	Full Load (KN)	Half Load (KN)	Empty Load (KN)
Mooring Line 1	680.493	688.570	736.202
Mooring Line 2	677.192	682.930	945.283
Mooring Line 3	680.607	688.598	1011.652
Mooring Line 4	677.353	682.981	946.391
Mooring Line 5	736.202	759.850	3564.788
Mooring Line 6	722.967	741.770	2080.578
Mooring Line 7	736.295	759.881	3575.099
Mooring Line 8	723.095	741.821	2084.474

Berdasarkan hasil diatas, dapat dilihat bahwa nilai tegangan maksimum pada *mooring line* terletak pada *mooring line* 7 diatas *barge* pada 3 kondisi *load* diatas dan terbesar nilai tegangan maksimumnya terletak pada kondisi *empty load* yaitu 3575.099 KN.

Tabel 4.6 Hasil *mooring line tension* yang terjadi pada End-B (yang terletak di *seabed*)

Anchor Pattern	Tension (KN)		
	Full Load	Half Load	Empty Load
Mooring Line 1	452.004	461.958	832.259
Mooring Line 2	449.183	456.052	756.862
Mooring Line 3	452.157	461.996	831.800
Mooring Line 4	449.407	456.127	758.641
Mooring Line 5	518.424	548.108	3431.985
Mooring Line 6	504.624	528.061	1942.118
Mooring Line 7	518.519	548.148	3442.445
Mooring Line 8	504.769	528.137	1945.955

Sedangkan pada *mooring line* didasar laut, nilai tegangan maksimum pada *mooring line* terletak pada *mooring line 7* pada 3 kondisi *load* diatas dan terbesar nilai tegangan maksimumnya terletak pada kondisi *empty load* yaitu 3442.445 KN.

4.4. Perhitungan *safety factor* Mooring Line Untuk Sistem Tambat

Dalam menggunakan sistem tambat, spesifikasi dari sistem tambat harus memenuhi *rules* yang telah ditetapkan. Dalam tugas akhir ini digunakan API RP 2SK, yang menjelaskan bahwa MBL (*Minimum Breaking Load*) dari sistem tambat harus memiliki cadangan kapasitas tegangan sebesar 60% dari tegangan maksimum hasil analisa secara dinamis, atau memiliki SF (*Safety Factor*) lebih dari atau sama dengan 1.67. Berikut adalah hasil spesifikasi *mooring line* yang dihasilkan dengan memenuhi ketentuan API RP 2SK:

Tabel 4.7 Hasil perhitungan *safety factor* yang harus sesuai dengan API RP 2SK.

Analisa Tension Mooring Line											
Line Type	End Note	Full Load			Half Load			Empty Load			SF allowable
		Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF	Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF	Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF	
Mooring Line 1	End A	680.493	6916	10.163	688.570	6916	10.044	736.202	6916	9.394	1.67
	End B	452.004	6916	15.301	461.958	6916	14.971	832.259	6916	8.310	1.67
Mooring Line 2	End A	677.192	6916	10.213	682.930	6916	10.127	945.283	6916	7.316	1.67
	End B	449.183	6916	15.397	456.052	6916	15.165	756.862	6916	9.138	1.67
Mooring Line 3	End A	680.607	6916	10.162	688.598	6916	10.044	1011.652	6916	6.836	1.67
	End B	452.157	6916	15.296	461.996	6916	14.970	831.800	6916	8.314	1.67
Mooring Line 4	End A	677.353	6916	10.210	682.981	6916	10.126	946.391	6916	7.308	1.67
	End B	449.407	6916	15.389	456.127	6916	15.162	758.641	6916	9.116	1.67
Mooring Line 5	End A	736.202	6916	9.394	759.850	6916	9.102	3564.788	6916	1.940	1.67
	End B	518.424	6916	13.340	548.108	6916	12.618	3431.985	6916	2.015	1.67
Mooring Line 6	End A	722.967	6916	9.566	741.770	6916	9.324	2080.578	6916	3.324	1.67
	End B	504.624	6916	13.705	528.061	6916	13.097	1942.118	6916	3.561	1.67
Mooring Line 7	End A	736.295	6916	9.393	759.881	6916	9.101	3575.099	6916	1.934	1.67
	End B	518.519	6916	13.338	548.148	6916	12.617	3442.445	6916	2.009	1.67
Mooring Line 8	End A	723.095	6916	9.564	741.821	6916	9.323	2084.474	6916	3.318	1.67
	End B	504.769	6916	13.701	528.137	6916	13.095	1945.955	6916	3.554	1.67

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa *mooring line* yang digunakan memenuhi kriteria dari sistem tambat yang digunakan untuk proses *lifting wellhead platform*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengerjaan tugas akhir ini, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Respon gerak *barge* terapung bebas dalam bentuk *Response Amplitude Operators* pada kondisi *empty load*, *half load* dan *full load* dan arah 180° , 225° , 270° , dan 315° adalah
 - a. Gerakan *surge* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 180° pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.927 m/m untuk kondisi *empty load*.
 - b. Gerakan *sway* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut 270° pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.976 m/m untuk kondisi *empty load*.
 - c. Gerakan *heave* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada keempat sudut pada frekuensi 0.1 rad/s dengan amplitudo gerakan 0.927 m/m untuk kondisi *half load*.
 - d. Gerakan *roll* terbesar pada sudut datang gelombang 270° terjadi pada frekuensi 1 rad/s dengan amplitudo gerakan 7.703 deg/m untuk kondisi *full load*.
 - e. Gerakan *pitch* terbesar terjadi pada sudut datang gelombang 180° terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.807 deg/m untuk kondisi *empty load*.
 - f. Gerakan *yaw* terbesar pada keempat sudut datang gelombang terjadi pada sudut datang gelombang 315° pada frekuensi 0.8 rad/s dengan amplitudo gerakan 1.332 deg/m untuk kondisi *full load*.
2. Analisa dinamis *tension* menunjukkan nilai tegangan maksimum pada mooring line terletak pada mooring line 7 diatas barge pada 3 kondisi load dan terbesar nilai tegangan maksimumnya terletak pada kondisi *empty load* yaitu 3575.099 KN. Sedangkan pada mooring line didasar laut, nilai tegangan maksimum pada mooring line terletak pada mooring line 7 pada 3

kondisi load dan terbesar nilai tegangan maksimumnya terletak pada kondisi empty load yaitu 3442.445 KN.

3. Dalam tugas akhir ini digunakan API RP 2SK, yang menjelaskan bahwa MBL (*Minimum Breaking Load*) dari sistem tambat harus memiliki cadangan kapasitas tegangan sebesar 60% dari tegangan maksimum hasil analisa secara dinamis, atau memiliki SF (*Safety Factor*) lebih dari atau sama dengan 1.67. Dimana *safety factor* terbesar terletak pada *mooring line 2* dengan *safety factor* sebesar 15.397. Sedangkan SF (*safety factor*) terkecil terletak pada *mooring line 7* dengan *safety factor* sebesar 1.935.

5.2. Saran

Penulis memiliki beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan tugas akhir ini, antara lain:

1. Analisis *mooring* dilakukan dengan penambahan akselerasi *heave* pada saat Topside terangkat.
2. Pembebanan dilakukan dengan kondisi 3D Topside untuk pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

- API. 2010. "API RP 2SK : *Design and Analysis of Stationkeeping System for Floating Structures*". Washington D.C. : API
- Bhattacharyya, R. 1978. "*Dynamics of Marine Vehicles*". New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Cendekiawan, V. 2016. "*Studi Komparasi Perilaku Gerak FLNG Masela Terhadap Sistem Tambat Spread Mooring dengan Konfigurasi Spread dan Group (Bundle)*". Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan
- Chakrabarti. 1987. "*Handbook of Offshore Engineering*". Oxford : Elsevier
- Chen, X. 2011. "*Offshore Hydrodynamics and Applications. The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering, Vol. 4, No. 3*". Neully-Sur-Seine : Taylor & Francis Group
- Djarmiko, E.B. 2012. "*Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*". Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- DNV. 2010. "*OS E-301 : Position Mooring*". Oslo : DNV
- d'Hautefeuille, B.B. 1991. "*Floating production storage and offloading: Disconnectable or not?*" Perth: Society of Petroleum Engineers
- Faltinsen, O.M. 1990. "*Sea Loads on Ships and Offshore Structures*". Cambridge : Cambridge University Press
- Garza-Rios, L. dan Bernsites, M. 2001. "*Effects of Size and Position of Supporting Buoys on The Dynamics of Spread Mooring Systems. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering ASME Vol. 123*". Ann Arbor: University of Michigan
- Huang, K. 2000. "*Mooring System Design Consideration for FPSOs*". Houston: American Bureau of Shipping
- Huang, C.-C. 2010 "*Numerical modeling of a single-point mooring cage with a frontal rigid frame*". Taiwan : Department of Marine Environment and Engineering, Nation Sun Yat-sen University
- Kang, Y., et al. 2015. "*Coupled Analysis of FPSO and CALM Buoy Offloading System in West Africa. Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*" San Francisco: ASME
- Paik, J.K. dan Thayamballi, A. K. 2007. "*Ship-shaped Offshore Installations Design, Building, and Operation*". New York: Cambridge University Press
- Qiao, D. 2014. "*Effects of Mooring Line With Buoys System On The Global Responses Of a Semi-Submersible Platform*". Dalian: Dalian University of Technology

- Sagrilo, et al. 2002. "*A Coupled Approach for Dynamic Analysis of CALM Systems. Applied Ocean Research 24*". Rio De Janeiro: Elsevier
- Sun, L., et al. 2015. "*Motion Response Analysis of FPSO's Calm Buoy Offloading System. Proceedings of the ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*" St. John, Newfoundland: ASME
- Vryhof Anchors. 2010. "*Anchor Manual 2010 : The Guide to Anchoring*". Capelle a/d Yassel: Vryhof Anchors BV

LAMPIRAN

LAMPIRAN DATA *STABILITY BOOKLET* BARGE

LAMPIRAN STABILITY BOOKLET FULL LOAD

NAME	LOAD	WMAX t	FILL %	MASS t	XM m	YM m	ZM m	FRSM tm
CONTENTS=Ballast Water (RHO=1.025)								
BW10P	BW	201.1	0.0	0.0	4.539	9.874	3.572	0.0
BW10S	BW	201.1	0.0	0.0	4.539	-9.874	3.572	0.0
BW10C	BW	325.2	0.0	0.0	4.524	0.000	3.565	0.0
BW9P	BW	381.8	0.0	0.0	12.198	9.891	2.760	0.0
BW9S	BW	381.8	0.0	0.0	12.198	-9.891	2.760	0.0
BW9C	BW	614.4	0.0	0.0	12.198	0.000	2.748	0.0
BW8P	BW	382.3	0.0	0.0	21.336	9.891	2.756	0.0
BW8S	BW	382.3	0.0	0.0	21.336	-9.891	2.756	0.0
BW8C	BW	615.2	0.0	0.0	21.336	0.000	2.745	0.0
BW7P	BW	382.3	0.0	0.0	30.480	9.891	2.756	0.0
BW7S	BW	382.3	0.0	0.0	30.480	-9.891	2.756	0.0
BW7C	BW	615.2	0.0	0.0	30.480	0.000	2.745	0.0
BW6P	BW	382.3	0.0	0.0	39.624	9.891	2.756	0.0
BW6S	BW	382.3	0.0	0.0	39.624	-9.891	2.756	0.0
BW6C	BW	615.2	0.0	0.0	39.624	0.000	2.745	0.0
BW5P	BW	382.3	0.0	0.0	48.768	9.891	2.756	0.0
BW5S	BW	382.3	0.0	0.0	48.768	-9.891	2.756	0.0
BW5C	BW	615.2	0.0	0.0	48.768	0.000	2.745	0.0
BW4P	BW	382.3	0.0	0.0	57.912	9.891	2.756	0.0
BW4S	BW	382.3	0.0	0.0	57.912	-9.891	2.756	0.0
BW4C	BW	615.2	0.0	0.0	57.912	0.000	2.745	0.0
BW3P	BW	382.3	0.0	0.0	67.056	9.891	2.756	0.0
BW3S	BW	382.3	0.0	0.0	67.056	-9.891	2.756	0.0
BW3C	BW	615.2	0.0	0.0	67.056	0.000	2.745	0.0
BW2P	BW	369.5	0.0	0.0	76.074	9.891	2.837	0.0
BW2S	BW	369.5	0.0	0.0	76.074	-9.891	2.837	0.0
BW2C	BW	594.7	0.0	0.0	76.074	0.000	2.826	0.0
BW1P	BW	112.0	0.0	0.0	82.944	9.872	3.964	0.0
BW1S	BW	112.0	0.0	0.0	82.944	-9.872	3.964	0.0
BW1C	BW	181.2	0.0	0.0	82.952	0.000	3.955	0.0
SUBTOTAL BW				0.0	0.000	0.000	0.000	0.0
CONTENTS- (RHO=0)								
CARGO	Z	0.0	0.0	7588.0	42.975	0.000	8.400	0.0
TOTAL				7588.0	42.975	0.000	8.400	0.0
Deadweight				7588.0	42.975	0.000	8.400	0.0
lightweight				2000.0	42.975	0.000	4.700	
Displacement				9588.0	42.975	0.000	7.628	0.0

LAMPIRAN STABILITY BOOKLET EMPTY LOAD

NAME	LOAD	WMAX t	FILL %	MASS t	XM m	YM m	ZM m	FRSM cm
CONTENTS=Ballast Water (RHO=1.025)								
BW10P	BW	201.1	0.0	0.0	4.539	9.874	3.572	0.0
BW10S	BW	201.1	0.0	0.0	4.539	-9.874	3.572	0.0
BW10C	BW	325.2	0.0	0.0	4.524	0.000	3.565	0.0
BW9P	BW	381.8	0.0	0.0	12.198	9.891	2.760	0.0
BW9S	BW	381.8	0.0	0.0	12.198	-9.891	2.760	0.0
BW9C	BW	614.4	0.0	0.0	12.198	0.000	2.748	0.0
BW8P	BW	382.3	0.0	0.0	21.336	9.891	2.756	0.0
BW8S	BW	382.3	0.0	0.0	21.336	-9.891	2.756	0.0
BW8C	BW	615.2	0.0	0.0	21.336	0.000	2.745	0.0
BW7P	BW	382.3	0.0	0.0	30.480	9.891	2.756	0.0
BW7S	BW	382.3	0.0	0.0	30.480	-9.891	2.756	0.0
BW7C	BW	615.2	0.0	0.0	30.480	0.000	2.745	0.0
BW6P	BW	382.3	0.0	0.0	39.624	9.891	2.756	0.0
BW6S	BW	382.3	0.0	0.0	39.624	-9.891	2.756	0.0
BW6C	BW	615.2	0.0	0.0	39.624	0.000	2.745	0.0
BW5P	BW	382.3	0.0	0.0	48.768	9.891	2.756	0.0
BW5S	BW	382.3	0.0	0.0	48.768	-9.891	2.756	0.0
BW5C	BW	615.2	0.0	0.0	48.768	0.000	2.745	0.0
BW4P	BW	382.3	0.0	0.0	57.912	9.891	2.756	0.0
BW4S	BW	382.3	0.0	0.0	57.912	-9.891	2.756	0.0
BW4C	BW	615.2	0.0	0.0	57.912	0.000	2.745	0.0
BW3P	BW	382.3	0.0	0.0	67.056	9.891	2.756	0.0
BW3S	BW	382.3	0.0	0.0	67.056	-9.891	2.756	0.0
BW3C	BW	615.2	0.0	0.0	67.056	0.000	2.745	0.0
BW2P	BW	369.5	0.0	0.0	76.074	9.891	2.837	0.0
BW2S	BW	369.5	0.0	0.0	76.074	-9.891	2.837	0.0
BW2C	BW	594.7	0.0	0.0	76.074	0.000	2.826	0.0
BW1P	BW	112.0	0.0	0.0	82.944	9.872	3.964	0.0
BW1S	BW	112.0	0.0	0.0	82.944	-9.872	3.964	0.0
BW1C	BW	181.2	0.0	0.0	82.952	0.000	3.955	0.0
SUBTOTAL BW				0.0	0.000	0.000	0.000	0.0
TOTAL				0.0	0.000	0.000	0.000	0.0
Deadweight				0.0	0.000	0.000	0.000	0.0
lightweight				2000.0	42.975	0.000	4.700	
Displacement				2000.0	42.975	0.000	4.700	0.0

LAMPIRAN DATA INPUT MOSES CIF FULL LOAD


```
&dimen -REMEMBER -DIMEN meters k-nts
&device -oecho no -primary device -auxin BARGEJORDANfullload.DAT
&TITLE APA SALAHNYA MENCOBA
INMODEL
&INSTATE kapal -CONDITION 4.32
&picture iso
&picture bow
&picture side
&picture top
&weight -compute kapal 6.121 9.539144169 24.92161304 24.92161304
&equi -iter 50
&status B_W
hstatics
cform 0 0 0 -draft 4.32 3
report
end

end

hydrodynamics
&parameter -m_distance 1
g_pressure -heading 0 45 90 135 180 225 270 315 \
-period 62.83185307 31.41592654 20.94395102 15.70796327 12.56637061 10.47197551
8.97597901 7.853981634 \ 6.981317008 6.283185307 5.711986643 5.235987756
4.833219467 4.487989505 4.188790205 \ 3.926990817 3.695991357 3.490658504
3.306939635 3.141592654
&env sea
&status force
hydr_sum
```

```
V_mdrift  
report  
end  
end  
freq_response  
rao -speed 0  
fr_point &body(cg kapal)
```

```
report  
end  
equ_sum  
matrices -file yes  
end  
&finish
```

LAMPIRAN DATA INPUT MOSES CIF HALF LOAD

```
&dimen -REMEMBER -DIMEN meters k-nts
&device -oecho no -primary device -auxin BARGEJORDANhalfload.dat
&TITLE APA SALAHNYA MENCOBA
INMODEL
&INSTATE kapal -CONDITION 4.11
&picture iso
&picture bow
&picture side
&picture top
&weight -compute kapal 4.53 8.822517864 24.57087276 24.57087276
&equi -iter 50
&status B_W
hstatics
cform 0 0 0 -draft 4.11 3
report
end

end

hydrodynamics
&parameter -m_distance 1
g_pressure -heading 0 45 90 135 180 225 270 315 \
-period 62.83185307 31.41592654 20.94395102 15.70796327 12.56637061 10.47197551
8.97597901 7.853981634\ 6.981317008 6.283185307 5.711986643 5.235987756
4.833219467 4.487989505 4.188790205 \ 3.926990817 3.695991357 3.490658504
3.306939635 3.141592654
&env sea
&status force
hydr_sum
```

```
V_mdrift  
report  
end  
end  
freq_response  
rao -speed 0  
fr_point &body(cg kapal)
```

```
report  
end  
equ_sum  
matrices -file yes  
end  
&finish
```

LAMPIRAN DATA INPUT MOSES CIF EMPTY LOAD

```
&dimen -REMEMBER -DIMEN meters k-nts
&device -oecho no -primary device -auxin BARGEJORDAN.DAT
&TITLE APA SALAHNYA MENCOBA
INMODEL
&INSTATE kapal -CONDITION 2
&picture iso
&picture bow
&picture side
&picture top
&weight -compute kapal 4.7 8.888874262 21.04730406 21.04730406
&equi -iter 50
&status B_W
hstatics
cform 0 0 0 -draft 1 3
report
end

end

hydrodynamics
&parameter -m_distance 1
g_pressure -heading 0 45 90 135 180 225 270 315 \
-period 62.83185307 31.41592654 20.94395102 15.70796327 12.56637061 10.47197551
8.97597901 7.853981634 \ 6.981317008 6.283185307 5.711986643 5.235987756
4.833219467 4.487989505 4.188790205 \ 3.926990817 3.695991357 3.490658504
3.306939635 3.141592654
&env sea
&status force
hydr_sum
```

```
V_mdrift  
report  
end  
end  
freq_response  
rao -speed 0  
fr_point &body(cg kapal)
```

```
report  
end  
equ_sum  
matrices -file yes  
end  
&finish
```


LAMPIRAN DATA INPUT MOSES DAT FULL LOAD

&dimen -save -dimen meters knts

&describe body kapal

PGEN A -PERM 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip

Plane

0

-cart

0 3.99 13.715 3.99 13.715 5.49 0 5.49

Plane 7.62 21.762 35.904 50.046 64.188 78.33 -cart 0 0 13.715 0 13.715 5.49 0 5.49

Plane 85.95 -cart 0 3.99 13.715 3.99 13.715 5.49 0 5.49

end pgen

\$=====

\$

\$

STRUCTURE DESCRIPTION

\$

\$=====

\$

\$ WP9

\$=====

\$

&Describe Part Fullload

&Dimen -Dimen Meters knts

*Halfload 43.85 0.08 6.490659514

#Weight *Halfload 74442.45

LAMPIRAN DATA INPUT MOSES DAT HALF LOAD

&dimen -save -dimen meters M-Tons

&describe body kapal

PGEN A -PERM 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip

Plane

0

-cart

0 3.99 13.715 3.99 13.715 5.49 0 5.49

Plane 7.62 21.762 35.904 50.046 64.188 78.33 -cart 0 0 13.715 0 13.715 5.49 0 5.49

Plane 85.95 -cart 0 3.99 13.715 3.99 13.715 5.49 0 5.49

end pgen

\$=====

\$

\$

STRUCTURE DESCRIPTION

\$

\$=====

\$

\$ WP9

\$=====

&Describe Part Halfload

&Dimen -Dimen Meters M-Tons

*Halfload 44.65 0.16 4.42

#Weight *Halfload 6860.425

LAMPIRAN DATA INPUT MOSES DAT EMPTY LOAD

&dimen -save -dimen meters k-nts

&describe body kapal

PGEN A -PERM 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip

Plane 0 -cart 0 3.99 13.715 3.99 13.715 5.49 0 5.49

Plane 7.62 -cart 0 0 13.715 0 13.715 5.49 0 5.49

Plane 78.33 -cart 0 0 13.715 0 13.715 5.49 0 5.49

Plane 85.95 -cart 0 3.99 13.715 3.99 13.715 5.49 0 5.49

end pgen

LAMPIRAN DATA *PROPERTIES MOORING LINE*

Dia	Break Load				Weight	
	R4-RQ4	R3S	R3	RQ3-API	Stud	Studless
	Stud and Studless					
mm	kN	kN	kN	kN	kg/m	kg/m
66	4621	4200	3761	3559	95	87
68	4885	4440	3976	3762	101	92
70	5156	4685	4196	3970	107	98
73	5572	5064	4535	4291	117	107
76	6001	5454	4884	4621	126	116
78	6295	5720	5123	4847	133	122
81	6745	6130	5490	5194	144	131
84	7208	6550	5866	5550	155	141
87	7682	6981	6252	5916	166	151
90	8167	7422	6647	6289	177	162
92	8497	7722	6916	6544	185	169
95	9001	8180	7326	6932	198	181
97	9343	8490	7604	7195	206	188
100	9864	8964	8028	7596	219	200
102	10217	9285	8315	7868	228	208
105	10754	9773	8753	8282	241	221
107	11118	10103	9048	8561	251	229

BIODATA PENULIS



Jordan Mahendra Wirasena lahir di Kotabaru, Kalimantan Selatan pada tanggal 22 Januari 1996 dari pasangan Alm. Hadi Wiyono dan Evi Kholifah, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dan satunya – satunya pria di keluarga sekarang. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Negeri Ardirejo 1 pada tahun 2002-2008. Kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah di SMP Negeri 4 Kepanjen pada tahun 2008-2011 dan menyelesaikan pendidikan menengah di SMA Negeri 1 Kepanjen pada tahun 2011-2013. Setelah lulus SMA, pada tahun 2013 penulis diterima di Perguruan Tinggi Negeri pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan terdaftar dengan NRP 4313100023. Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan kepanitiaan dan organisasi diantaranya panitia OCEANO 14 dan OCEANO 15 sebagai Sie Acara dan organisasi mahasiswa yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA). Pada tahun 2014 diberi kesempatan menjadi Staff Dalam Negeri dan pada tahun 2015 diberi kepercayaan untuk menjadi Ketua Departemen Dalam Negeri HIMATEKLA 15/16. Penulis melakukan kerja praktek pada tahun 2017 selama dua bulan di PT. GUNANUSA UTAMA FABRICATORS yang bertempat di Cilegon.