**TUGAS AKHIR – MO141326**

# ANALISIS TEGANGAN *MOORING LINE* PADA *SINGLE POINT MOORING CALM BOUY* CILACAP

BIN HARIYANTO
NRP. 04311040000082

Dosen Pembimbing:
Ir. Murdjito, M.Sc. Eng
Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T.

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

FINAL PROJECT – MO141326

# TENSION ANALYSIS OF MOORING LINE ON SINGLE POINT MOORING CALM BOUY CILACAP

BIN HARIYANTO
NRP. 04311040000082

Supervisors:
Ir. Murdjito, M.Sc. Eng
Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T.

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

# ANALISIS TEGANGAN *MOORING LINE* PADA *SINGLE POINT MOORING CALM BUOY* CILACAP

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**BIN HARIYANTO**

NRP. 043 1 10 04 0000 082

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Murdjito, M.Sc. Eng.....(Pembimbing 1)
2. Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T.....(Pembimbing 2)
3. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc .....(Penguji 1)
4. Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D .....(Penguji 2)
5. Prof. Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D., MRINA .....(Penguji 3)
6. Agro Wisudawan, S.T., M.T .....(Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2018

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

**ANALISIS TEGANGAN *MOORING LINE***
**PADA *SINGLE POINT MOORING* CALM BUOY CILACAP**


| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Bin Hariyanto |
| NRP | : | 043 1 10 04 0000 082 |
| Departemen | : | Teknik Kelautan FTK – ITS |
| Dosen Pembimbing | : | Ir. Murdjito, M.Sc. Eng |
| | | Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T |



**Abstrak**

Struktur bangunan lepas pantai sangat berpengaruh dengan dunia ekplorasi minyak dan gas (migas). Salah satu contoh adalah *Single Point Mooring*. Yakni berfungsi sebagai sarana tambat di laut dengan dilengkapi sistem penyaluran minyak melalui pipa bawah air sehingga kapal tanker tidak perlu merapat kedarat atau daerah pantai.Setiap struktur *Single Point Mooring* / SPM sendiri dirancang mempunyai kapasitas tambat kapal tanker yang akan merapat. Akan tetapi terkadang kapal tanker yang tambat ke SPM tidak jarang melebihi batas kapasitas tambat dari SPM tersebut. Dalam tugas akhir ini akan membahas mengenai analisis kekelehan SPM bertipe *catenary anchored leg mooring* (CALM) untuk menerima beban tambahan (*over*) dari batas kapastitas struktur tersebut yang telah ditetapkan (300kDWT). Diharapkan dari penelitian tugas akhir ini didapatkan grafik kemampuan maksimal SPM dalam menerima beban yang melebihi kapasitas tambatnya. *Software* yang digunakan adalah *Moses 8.0* untuk permodelan SPM dan kapal tanker dengan output berupa RAO (Respons Ampitude Operator), serta menggunakan *Orcaflex 9.2* untuk menganalisis pergerakannya (motion analysis). Setelah melalukan simulasi dengan *Orcaflex*didapatkan tension terbesar terjadi di L1 dengan besaran 405,931 tF pada saat *in line* dan 333,47Tf pada saat *between line*. Hasil tension tersebut juga memenuhi nilai *minimum breaking load* dan *safety factor*.



Kata – kata kunci :*single point mooring-catenary anchored leg mooring, Moses 8.0, Orcaflex 9.2*

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

***TENSION ANALYSIS OF MOORING LINE***
***ON SINGLE POINT MOORING* CALM BOUY CILACAP**


| | | |
|---|---|---|
| Name | : | Bin Hariyanto |
| Reg. Number | : | 043 1 10 04 0000 082 |
| Department | : | Teknik Kelautan FTK – ITS |
| Supervisors | : | Ir. Murdjito, M.Sc. Eng |
| | | Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T |



**Abstract**

.Offshore structure has an influence particulary on the oil and gas industry. One oh the components is Single Point Mooring (SPM). The function is as a mooring infrastructure in the sea complated with the oil distribution system through the underwater pipeline, so that the tanker does not necessary move close to coastal area and/or docking. Every desiging SPM has tanker mooring capacity which will docking. But sometimes the tanker which is mooring to SPM has over capacity than SPM its self. This final project will describe about SPM tension analysis with the type of Catenary Anchored Leg Mooring (CALM) to get the over additional load from the structure capacity stated 300K DWT. It is hoped that from this research, we will know the maximum capacitygraph from the SPM on accepting overload from its mooring. The using software are MOSES 8.0 for SPM modelling and tanker modelling with output is Response Amplitude Operator (RAO), as well as Orcafles 9.2 for motion analysis. After the simulation with Orcaflex obtained the largest tension occurred in L1 with a 405.931 tF at the time of in line and 333.47 tF on between lines. The tension results also meet the minimum value of breaking load and safety factor.



Keywords: *single point mooring-catenary anchored leg mooring, Moses 8.0, Orcaflex 9.2*

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan YME, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir ini berjudul "**ANALISIS TEGANGAN *MOORING LINE* PADA *SINGLE POINT MOORING CALM BUOY* CILACAP**" sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Sarjana (S-1) di Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas Akhir ini akan membahas tentang perilaku gerak struktur *single point mooring* (SPM) yang dikorelasikan dengan tension yang terjadi pada *mooring line* struktur SPM untuk menentukan apakah SPM mampu menahan meningkatnya kapasitas muatan kapal tanker dan aman ditinjau dari kekuatan *mooring line* berdasarkan rules dan codes yang ada.

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini tentunya masih banyak kekurangan yang terjadi karena penulis hanya manusia biasa yang tak luput dari salah. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diperlukan untuk meningkatkan kemampuan penulis dalam menulis laporan kedepannya. Besar harapan penulis semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dibidang teknologi kelautan.

Surabaya, Juli 2018

Bin Hariyanto

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

# UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih pada pihak-pihak yang telah membantu penulis selama sebelum, saat, dan sesudah menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis banyak sekali mendapat masukan dan arahan selama proses pengerjaan maupun proses pembuatan laporan ini. Secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Murdjito, M.Sc. Eng dan Bapak Dr. Eng. Rudi Waluyo P, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang telah membimbing saya dan mendukung saya sepenuhnya untuk menyelesaikan Tugas Akhir saya ini.
2. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc, Bapak Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D, Bapak Prof. Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D., MRINA dan Bapak Agro Wisudawan, S.T., M.T, selaku dosen penguji pada saat sidang akhir, serta semua dosen penguji pada saat sidang proposal maupun sidang progres, yang telah memberikan banyak masukan dan saran untuk saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
3. Orangtua penulis, atas dukungannya baik secara moriil maupun materiil. Terima kasih atas doa dan semangatnya.
4. Karyawan jurusan dan penjaga kantin yang telah memberikan semangat untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Yuni Wibowo dan M. Auliya Aldi yang telah membantu saya secara penuh dalam pengerjaan saya ini.
6. Saudara-saudara seangkatan saya, Megalodon, yang selalu memberikan dukungan dan semangat agar dapat menyelesaian Tugas Akhir.
7. Teman-teman dan adik-adik junior yang telah membantu saya sehingga dapat menyelesaikan dengan lebih lancar.
8. Pihak-pihak lain yang tidak biasa disebutkan satu-persatu.

Surabaya, Juli 2018

Bin Hariyanto

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

**DAFTAR ISI**

HALAMAN JUDUL..... i

*COVER*.....ii

LEMBAR PENGESAHAN.....iii

ABSTRAK.....v

*ABSTRACT*.....vii

KATA PENGANTAR..... ix

UCAPAN TERIMA KASIH.....xi

DAFTAR ISI..... xiii

DAFTAR GAMBAR.....xv

DAFTAR TABEL..... xviivii

DAFTAR LAMPIRAN..... xviiix

BAB I PENDAHULUAN.....1

1.1. Latar Belakang Masalah.....1

1.2. Perumusan Masalah.....2

1.3. Tujuan.....2

1.4. Manfaat.....2

1.5. Ruang Lingkup Masalah..... 3

1.6. Sistematika Penulisan.....3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....5

2.1. Tinjauan Pustaka..... 5

2.2 . Dasar Teori.....6

2.2.1. *Single Point Mooring*.....6

2.2.2. Beban Lingkungan.....7

2.2.3. *Wave Drift Force*..... 7

2.2.4. Beban Arus.....8

2.2.5. Beban Angin..... 9

2.2.6. Gaya Gelombang.....10

2.2.7. Teori Gerak Kapal Akibat Eksitasi Gelombang..... 11

2.2.8. Gerakan *Couple Six Degree of Freedom* ..... 11
2.2.9. RAO ..... 12
2.2.10. Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak ..... 14
2.2.11. Spektra Gelombang ..... 15
2.2.12. Analisa Respon ..... 16
2.2.13. Dasar Analisa Dinamis ..... 17
2.2.14. *Tension* ..... 18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 21
3.1. Diagram Alir ..... 21
3.2. Prosedur Penelitian ..... 22
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN ..... 25
4.1. Pemodelan ..... 25
4.1.1. Permodelan *SPM* dan *VLCC* dengan *Software MOSES* ..... 25
4.1.2. RAO *Free Floating* SPM dan VLCC ..... 26
4.1.2.1 RAO Free Floating SPM ..... 26
4.1.2.2. RAO Free Flooating VLCC ..... 30
4.1.3. Validasi Permodelan MOSES dan Data ..... 36
4.1.4. Permodelan dengan Software Orcaflex ..... 37
4.1.4.1 Permodelan SPM dan *Mooring Line* ..... 37
4.1.4.2. Permodelan *Integrity* SPM dan VLCC ..... 38
4.2. Analisis Respon ..... 41
4.2.1. Analisis Respon Gerak VLCC 300K DWT ..... 41
4.2.2. Analisis Respon Tegangan ..... 41
4.2.3. Analisis Tegangan Tali Maksimum ..... 43
BAB V PENUTUP ..... 47
5.1. Kesimpulan ..... 47
5.2. Saran ..... 47
DAFTAR PUSTAKA ..... 49
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 *Single Point Mooring Refenery Unit* IV PT. Pertamina Cilacap..... 1
Gambar 1.2. Sebuah Kapal Tanker tertambat pada *Single Point Mooring*.....1
Gambar 2.1. *Single Point Mooring* tipe *Catenary Anchor Legs Mooring*.....6
Gambar 2.2. Derajat kebebasan pada kapal..... 11
Gambar 2.3. Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung..... 13
Gambar 2.4. Transformasi spektra gelombang menjadi spektra respons..... 15
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....21
Gambar 4.1. Model geometri *Single Point Mooring / SPM*..... 25
Gambar 4.2. Model geometri *Very Large Crude Carrier / VLCC*.....25
Gambar 4.3. RAO untuk *heading* 0°.....26
Gambar 4.4. RAO gerakan *surge* dengan *heading* 0°.....27
Gambar 4.5. RAO gerakan *sway* dengan *heading* 0°..... 27
Gambar 4.6. RAO gerakan *heave* dengan *heading* 0°..... 28
Gambar 4.7. RAO gerakan *roll* dengan *heading* 0°.....28
Gambar 4.8. RAO gerakan *pitch* dengan *heading* 0°..... 29
Gambar 4.9. RAO gerakan yaw dengan *heading* 0°.....29
Gambar 4.10.RAO VLCC untuk arah *head seas* (0°).....31
Gambar 4.11.RAO VLCC untuk arah *following seas* (180°)..... 31
Gambar 4.12. RAO VLCC untuk arah *beam seas* (90°).....32
Gambar 4.13.a.RAO VLCC untuk arah *quatering seas* (45°)..... 33
Gambar 4.13.b.RAO VLCC untuk arah *quatering seas* (135°).....33
Gambar 4.14. RAO VLCC gerakan *heave heading head seas* (0°).....34
Gambar 4.15. RAO VLCC gerakan *heave heading following seas* (180°)..... 34
Gambar 4.16. RAO VLCC gerakan *roll heading beam seas* (90°)..... 35
Gambar 4.17. RAO VLCC gerakan *roll heading quatering seas* (45°)..... 35
Gambar 4.18. RAO VLCC gerakan *roll heading quatering seas* (135°)..... 35
Gambar 4.19. *Mooring line* pada SPM..... 37
Gambar 4.20. *Mooring line* pada SPM 2D..... 37
Gambar 4.21. *Mooring line* pada SPM 3D..... 38
Gambar 4.22. Posisi *In Line* (2D)..... 39

Gambar 4.23. Posisi *Between Line* (2D).....39
Gambar 4.24. Posisi *In Line* (3D).....40
Gambar 4.25. Posisi *Between Line* (3D).....40
Gambar 4.26. *Time History* L1 – *In Line*.....42
Gambar 4.27. *Time History* L1 – *Between Line*.....42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Profil Gelombang beserta Parameter Gelombangnya.....16
Tabel 2.2. Kriteria *safety factor*.....19
Tabel 3.1. *Single Point Mooring*.....22
Tabel 3.2. *Mooring Line*..... 22
Tabel 3.3. *Very Large Crude Carrier*..... 23
Tabel 3.4. Data Lingkungan.....23
Tabel 4.1. Ringkasan nilai RAO tertinggi struktur SPM..... 30
Tabel 4.2. Ringkasan nilai RAO tertinggi utnuk struktur VLCC..... 34
Tabel 4.3.**V**alidasi SPM..... 36
Tabel 4.4.**V**alidasi VLCC..... 36
Tabel 4.5. **N**ilai RAO VLCC 300K DWT *heading* 0°.....41
Tabel 4.6. Statistik *tension* L1 – *In Line*.....43
Tabel 4.7. Statistik *tension* L1 – *Between Line*.....43
Tabel 4.8. *Assestment criteria for all lines*..... 44
Tabel 4.9. Ringkasan nilai *tension* terbesar tiap tali tambat kondisi *In Line*..... 45
Tabel 4.10. Ringkasan nilai *tension* terbesar tiap tali tambat kondisi *Between Line*..... 45
Tabel 4.11.*Effective Tension* terbesar berada pada L1..... 46

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR SPM
LAMPIRAN B RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR VLCC
LAMPIRAN C HIDROSTATIS SPM
LAMPIRAN D HIDROSTATIS VLCC
LAMPIRAN E TIME HISTORY - IN LINE
LAMPIRAN F TIME HISTORY - BETWEEN LINE

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Dunia eksplorasi migas lepas pantai dengan menggunakan struktur terapung merupakan bidang yang membutuhkan teknologi tinggi dan biaya yang tidak sedikit. Oleh karena itu para perancang harus berhati-hati dalam melakukan perancangan. Baik itu perancangan awal sampai pemeliharaan agar struktur terawat dengan baik.

**Gambar 1.1***Single Point Mooring Refenery Unit* IV PT. Pertamina Cilacap

Dalam dunia industri teknologi kelautan, *Single Point Mooring* atau yang biasa disingkat dengan SPM ini merupakan salah satu teknologi bangunan laut yang sudah mulai banyak digunakan oleh berbagai perusahaan khususnya yang bergerak di bidang *oil* dan gas. Seperti pada Gambar 1.1, adalah salah satu contoh SPM yang dimiliki Pertamina yang berlokasi di Cilacap. Sejarah dari SPM ini adalah tidak mungkinnya kapal-kapal yang memiliki dimensi yang besar serta mempunyai draft yang sangat tinggi yakni lebih dari 15-meter untuk bersandar atau merapat ke wilayah tepi pantai untuk mengambil minyak dari daratan. Oleh karena itu, SPM ini berfungsi sebagai sarana tambat yang terpadu dengan sistem penyaluran minyak dimana kapal tanker bertambat dan melakukan bongkar/muat minyak melalui rangkaian hose dan jalur pipa bawah laut sehingga kapal tanker tidak perlu untuk merapat ke wilayah tepi pantai untuk mengambil minyak, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.2 dibawah ini.

**Gambar 1.2** Sebuah Kapal Tanker tertambat pada Single Point Mooring (www.wikipedia.com)

Pada penelitian ini,akan dibahas ketika sebuah tanker tertambat pada *single point mooring* (SPM) dengan memakai *catenary anchored leg mooring* (CALM). Penghubung antara tanker dan single point mooring adalah mooring hawser, kemudian pada SPM terdapat *floating hose* yang digunakan untuk menyalurkan hasil exploitasi dari manifold ke kapal tanker. *Single Point Mooring Refinery Unit* IV PT. Pertamina Cilacap mempunyai daya tampung buat kapal tanker 250.000 DWT. Akan tetapi pada kenyataannya sering terjadi kapal tanker dengan lebih dari 250.000 DWT tambat pada SPM ini. Oleh karena itu dibutuhkan analisa lebih lanjut pengaruh yang tejadi terhadap hal ini dan dibutuhkan penanggulangan terhadap masalah ini. Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai hal-hal tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana perilaku gerak *Single Point Mooring Calm Buoy* dan *Very Large Crude Carrier (VLCC)* pada saat gerak bebas atau *free floating*?
2. Bagaimana perbandingan perilaku gerak *Very Large Crude Carrier* pada saat *stand alone* dan saat tertambat?
3. Berapa besar tegangan yang terjadi di setiap *mooring line* pada *Single Point Mooring Calm Buoy*? Apakah tegangan maksimal yang terjadi masuk dalam kriteria aman?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

- Mengetahui perilaku gerak *Single Point Mooring Calm Buoy* dan *Very Large Crude Carrier pada* saat gerak bebas atau *free floating.*
- Mengetahui perubahan perilaku gerak *Very Large Crude Carrier* pada saat *stand alone* dan saat tertambat.
- Mengetahui besar tegangan yang terjadi di setiap *mooring line* pada *Single Point Mooring* serta mengetahui tingkat keamanannya.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini yaitu dapat mengetahui pengaruh beban lingkungan pada kekuatan *Single Point Mooring* dan seberapa lama

S*ingle Point Mooring* khususnya pada *mooring line* dapat ditambat oleh kapal tanker yang melebihi kapasitas daya tampung *Single Point Mooring*.

## 1.5 Ruang Lingkup Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu:

a. SPM CALM buoy yang digunakan dalam penelitian ini adalah SPM RU IV Cilacap.
b. Semua peralatan dan perlengkapan di atas tanker tidak dimodelkan.
c. Peralatan perpipaan dan *riser* pada SPM tidak dimodelkan.
d. *Mooring line* keseluruhan terdiri dari rantai *(chain).*
e. Variasi ukuran tanker ditentukan 300.000 DWT.
f. Beban yang bekerja adalah arus, gelombang, dan angin dalam kondisi operasi.
g. Gerak SPM yang ditinjau adalah gerakan *6 degree of freedom* seperti *surge, sway, heave, roll, pitch,* dan *yaw.*
h. Perhitungan RAO dengan *software* Moses 8.0 dan *motion analisys* menggunakan Orcaflex 9.2.
i. Standart (*rules*) pada Tugas akhir ini mengacu pada API RP2SK, DNV OS E301, DNV RP C205.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang tugas akhi yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh dan ruang lingkup penelitian guna membatasi analisa yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini.

2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada penelitian, jurnal serta buku-buku yang membahas tentang olah gerak bangunan apung, teori gelombang, eksitasi gelombang, respons struktur, dan bahan-bahan lain yang mendukung penelitian ini.

3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan tentang metode pengerjaan dalam tugas akhir yang akan dilakukan beserta prosedur yang digunakan.

4. Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan analisis mengenai hasil pemodelan *Single Point Mooring*, *Very Large Crude Carrier* , olah gerak kedua struktur, tegangan yang terjadi pada *mooring line,* serta mendapatkan tegangan maksimal yang terjadi di setiap *mooring line*. Analisa tersebut bertujuan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan.

5. Penutup

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil dan pembahasan mengenai karakteristik gerak SPM dan VLCC, tegangan yang terjadi di setiap *mooring line,* dan tegangan maksimal yang terjadi dampak dari *overload* daya tampung tanker.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

## 2.1 Tinjauan Pustaka

Anjungan terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan tipe ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai. Untuk anjungan tipe ini, yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut (Djatmiko 2003). Dalam (API RP 2 SK,2006) disebutkan beberapa tipe *Single Point Mooring* diantaranya sistemturret, *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM) dan *Single Anchor Leg Mooring*(SALM), *Fixed Tower*,*Articulated Loading Platform* (ALP), *Single Point and Reservoir* (SPAR), *Single-Anchor Loading* (SAL) namun jenis SPM yang paling banyak digunakan dari jenis *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM). Struktur terapung dan kapal sangat dipengaruhi oleh gaya lingkungan yang besar dan sebagian besar bergantung pada sistem mooring yang permanen maupun sementara untuk menahan gaya lingkungan tersebut. beberapa sistem terapung misalnya *Single Buoy Mooring* (SBM) diminta untuk tetap berada diposisinya untuk periode yang lama. sebagian besar sistem terapung menggunakan jangkar tarik (*drag anchor*) sebagai bagian paling dasar dari mooring sistem. performansi drag anchor mempunyai pengaruh besar terhadap keandalan, integritas, dan keamanan operasional dari sistem terapung (Sincock dan Sondhi, 1993). Ada beberapa gaya lateral (gaya yang berasal dari lingkungan) yang mengenai CALM Buoy selama umur operasinya perlu mendapatkan perhatian dalam konteks studi teknis sistem penjangkaran ini (*mooring line system*). Gaya - gaya lateral tersebut adalah gaya angin, gaya gelombang dan gaya arus dimana meskipun arah datangnya gaya- gaya lateral ini bisa dari segala arah dan random. Tetapi, hanya diperhitungkan satu arah yang paling signifikan, dalam artian paling besar kontribusi gaya tersebut terhadap CALM *Buoy*. Sedangkan gaya yang bekerja pada *chain mooring* (sistem rantai) adalah gaya arus, itupun semakin bertambah kedalaman laut maka gaya arus akan menjadi semakin kecil. Sehingga cenderung untuk diabaikan, terkecuali jika ada arus bawah laut yang terjadi. Namun, kejadian ini tidak selamanya terjadi atau dengankata lain terjadi hanya pada waktu- waktu tertentu saja.

Tanker dapat diaplikasikan pada rentang kedalaman laut dan kondisi lingkungan yang bervariasi. Karakteristik utama yang mempengaruhi dalam pemilihan konsep eksplorasi dan eksploitasi, menunjukkan bahwa tanker sangat fleksible dan ekonomis.

Dalam operasinya kapal tanker mempunyai banyak faktor pendukung dalam operasi, salah satunya adalah sistem *mooring*. Sistem ini sangat berperan dalam menjaga kestabilan gerak tanker dalam kondisi operasi. Pada dasarnya respon tanker, *mooring lines* dan penjangkar tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

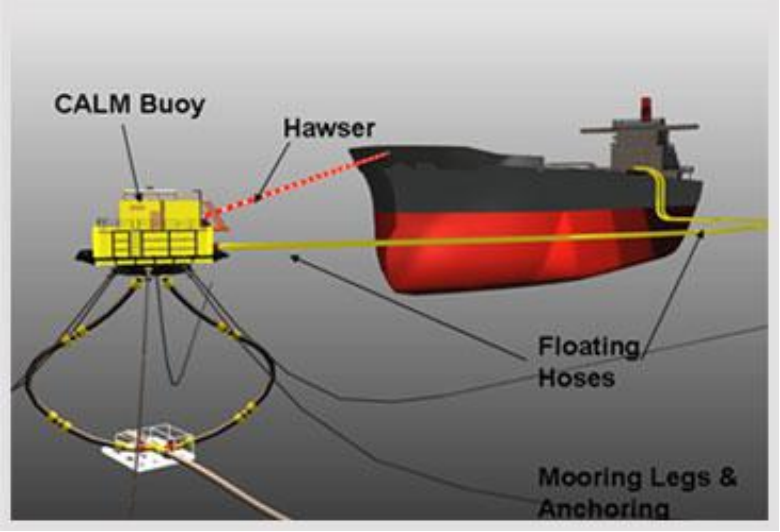
Offset pada tanker dibatasi oleh sistem mooring dan penjangkaran sedangkan *offset mooring* tergantung pada karateristik *motion* tanker yang dapat berubah-ubah karena disebabkan oleh gaya pengembali (*restoring force*) dan gaya redaman (*drag force*) dari sistem *mooring*. Nilai redaman tergantung pada amplitudo dan frekuensi gerakan tanker. Respon *mooring* sebagian besar *non-linier* dengan frekuensi natural, tidak sama dengan rentang frekuensi gerakan tanker (Aryawan 2005).

Pada penelitian ini, struktur yang digunakan adalah struktur terapung *Single point mooring* yang bertipe CALM. SPM ini menjadi penyalur minyak antara tanker dengan PLEM. SPM mempunyai *mooring hawser* sebagai tempat menyambungnya kapal tanker dengan SPM.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 *Single Point Mooring*

*Single Point Mooring* adalah suatu struktur terapung berlokasi di lepas pantai yang berfungsi sebagai penambatan dan interkoneksi untuk muatan tanker atau pembongkaran produk gas atau cairan. SPM adalah hubungan antara *subsea manifold geostatic* koneksi dan *weathervaning tanker* (Gambar 2.1). Salah satu kelebihan SPM, mampu menangani kapal ukuran apapun, bahkan kapal pengangkut minyak yang sangat besar sekalipun dimana tidak ada fasilitas alternatif yang tersedia.




**Gambar 2.1** *Single Point Mooring* tipe *Catenary Anchor Legs Mooring Buoy*

Single point mooring terdiri atas tiga bagian utama yaitu *Floating Buoy, Mooring System,* serta *Product Transfer Systems* (www.marineinsight.com). *Mooring system* atau sistem tambat merupakan sistem yang dapat menjaga agar SPM dapat tetap berada pada posisinya selama umur operasi. *Mooring system* terdiri dari *anchor* (jangkar), *anchor chain* (rantai jangkar), *chain stopper* dan lain-lain. *Mooring system* memungkinkan *single point mooring* (SPM) untuk tetap dapat bergerak akibat beban gelombang, arus serta beban dari tanker yang sedang tambat namun masih dalam batasan yang ditentukan. *Anchor* atau jangkar yang dihubungkan oleh *anchor chain* berada pada dasar laut dan menancap pada *seabed*. Jangkar ini berfungsi untuk memberikan daya cengkeram untuk menahan *single point mooring* (SPM) agar tetap pada lokasi operasi.

*Floating Buoy* yaitu struktur SBM yang berbentuk silinder kedap air sebagai daya apung utama dari struktur tersebut. Dalam struktur *floating buoy* terbagi menjadi beberapa kompartemen yang dipisahkan oleh sekat radial. Sekat tersubut berfungsi sebagai pencegah penyebaran air saat terjadi kebocoran. Selain itu sekat tersebut berfungsi sebagai penegar dari struktur *single point mooring* (SPM).

Product transfer systems pada *single point mooring* (SPM) berfungsi untuk mentransfer minyak dari *Pipeline End and Manifold* (PLEM) yang dihubungkan dengan riser menuju tanker melalui *floating hose*. *Product transfer system* terdapat pada bagian *turn table* yang dapat berputar mengikuti gerakan kapal tanker akibat pengaruh beban lingkungan.(Maari, 1985)

### 2.2.2Beban lingkungan (*Environmetal Load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah beban arus, beban angin, beban gelombang.

### 2.2.3 *Wave Drift Force*

Menurut Indiyono (2003) bebangelombang merupakan beban terbesar yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada bangunan lepas pantai (*offshore structure*). Perhitungan beban gelombang dapat direpresentasikan dengan perhitungan gaya gelombang.Teori perhitungan gaya gelombang yang tepat untuk kapal-kapal besar adalah teori difraksi.

Dalam teori ini bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.Untuk gaya gelombang time series dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang. Gaya gelombang *first order*:

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^{N} F_{wv}^{(1)}(\omega_i)\cos[\omega_i + \varepsilon_i]\, a_i \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana,

$F_{ww}^{(1)}(t)$ : gaya gelombang *first order* tergantung waktu

$F_{ww}^{(1)}(w)$: gaya *exciting* gelombang *first order* per unit amplitudo tergantungwaktu

$E_i$: Sudut fase komponen gelombang *first order*

$\alpha_i$: amplitudo komponen gelombang *first order*

: fungsi kepadatan gelombang spektra

Gaya gelombang *secondorder*:

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} a_i\, a_j D_{ij} \cos[(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana:

: *drift force* per unit amplitudo gelombang

**2.2.4 Beban Arus**

Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi non-linier. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier. Kecepatan arus tersebut dirumuskan dalam formulasi matematis berikut:

$U_T^{1/7}$ .....(2.3)

$U_W = U_{ow}\,(y/h)^{1/7}$ .....(2.4)

Dimana,

UT : kecepatan arus pasang surut (m/detik)

Uor : kecepatan arus pasang surut (m/detik)

UW : kecepatan arus akibat angin (m/detik)

Uow : kecepatan arus akibat angin di permukaan (m/detik)

y : jarak dari dasar laut (meter)

h : kedalaman laut (meter)

Gaya arus yang bekerja pada struktur dapat dirumuskan sebagai berikut:

$Fcx = Ccx\ S\ V^2c$ ..... (2.5)

$Fcy = Ccy\ SV^2c$ ..... (2.6)

Dimana:

Fcx : gaya arus pada *bow*

Fcy : gaya arus pada *beam*

Ccx : koefisien gaya arus pada *bow* (0.016 lb/ft$^2$)

Ccy : koefisien gaya arus pada *bow* (0.4 lb/ft$^2$)

S : luas penampang pada lambung kapal (m$^2$)

Vc : kecepatan arus desain (m/s)

### 2.2.5 Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, tapi beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya perhitungan beban angin disyaratkan untuk didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrim dengan periode ulang 50 atau 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan, maka resiko kegagalan semakin besar.Sedangkan formula untuk gaya angin time series dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang menurut (API RP 2 T) adalah memakai rumus sebagai berikut:

..... (2.7)

Dimana:

Fw = gaya angin (N)

Cs = koefisien bentuk

= massa jenis udara (kg/m3)

x = kecepatan dari platform (m/s)

= *aerodinamic amittance*

A = luas area vertikal yang terkena angin (m2)

Vc = kecepatan partikel air (m/s)

Sedangkan kecepatan angin dirumuskan sebagai berikut:

..... (2.8)

Dimana:

Vw = kecepatan angin, knot (m/s)

V10 = kecepatan angin pada ketinggian 10 m, knot (m/s)

y = ketinggian dimana kecepatan angin dihitung, (m)

x = faktor eksponen

Bila informasi yang akurat tidak tersedia, maka harga eksponensial x sebesar 1/7 dapatdiambil sebagai pendekatan. Harga ini cukup sesuai untuk ketinggian sampai dengan sekitar200 m. Untuk semua sudut dari pendekatan beban angin pada struktur, gaya pada permukaandatar diasumsikan sebagai gaya normal pada permukaan dan gaya pada tanki silinder vertikal, pipa, dan silinder lain diasumsikan searah dengan arah angin, sedangkan yang tidak vertikal dapat dihitung menggunakan formula yang diambil dari perhitungan arah angin berhubungandengan gerak objek.

### 2.2.6 Gaya Gelombang

Syarat pemilihan teori untukperhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (λ) sebagai berikut:

= gelombang mendekati pemantulan murni
= difraksi gelombang diperhitungkan
= persamaan Morison

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

- Teori Morison.

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

- 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

- .Teori Difraksi.

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

### 2.2.7 Teori Gerak Kapal Akibat Eksitasi Gelombang

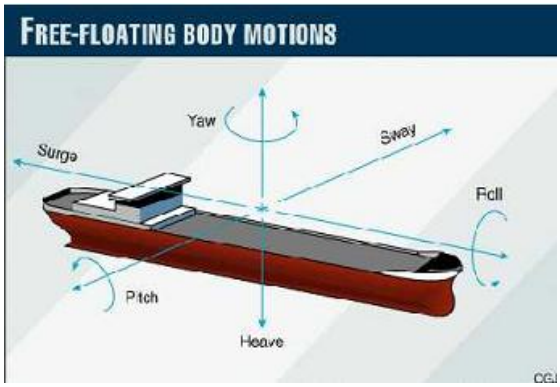
Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (*SDOF-six degree of freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasionaldan 3 mode gerakan rotasional, seperti pada Gambar 2.2. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut:

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




**Gambar 2.2** derajat kebebasan pada kapal

### 2.2.8 Gerakan *Couple Six Degree of Freedom*

Karena bangunan apung yang ditinjau terdiri dari enam mode gerakan bebas (*sixdegree of freedom*), dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah

linier dan harmonik, maka persamaan diferensial gerakan kapal dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^{6}\left[\left(\mathbf{M}_{jk}+\mathbf{A}_{jk}\right)\xi\mathbf{k}+\mathbf{B}_{jk}\,\xi_{k}+\mathbf{C}_{jk}\,\xi_{k}\right]=\mathbf{F}_{j}\,\mathbf{e}^{iwt},\mathbf{j}=\mathbf{1} \quad \text{..... (2.9)}$$

Dengan:

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

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

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

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

$F_j$ = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

$F_1$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*

$F_2$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*

$F_3$ = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*

$F_4$ = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*

$F_5$ = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*

$F_6$ = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*

K = elevasi gerakan pada mode ke k

$\zeta k$ = elevasi kecepatan gerakan pada mode ke k

$\zeta_k$ = elevasi percepatan gerakan pada mode ke k

Persamaan di atas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh suku-suku di sebelah kiri persamaan, yang terdiri dari gaya *inersia*, gaya redaman dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak, dan simpangan atau *displacement* gerakan (Djatmiko, 2011).

### 2.2.9 RAO

*Response amplitude operator* (RAO) atau sering disebut sebagai *transfer function* adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai *offshore structure*. RAO disebut sebagai *transfer function* karena merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada

suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut (Chakrabarti, 1987):

$$\text{RAO}\ (\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)}$$

.....(2.10)

Dimana:

(ω) = amplitude struktur

η(ω) = amplitude gelombang

Menurut Djatmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu:

- Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi yaitu *surge, sway,* dan *heave*(k=1,2, 3 atau x, y, z), merupakan perbandingan langsung antara 17 amplitudo gerakannya dibanding dengan 17 amplitudo gelombang(dalam satuan panjang). Persamaan untuk RAO gerakan translasi adalah sebagai berikut

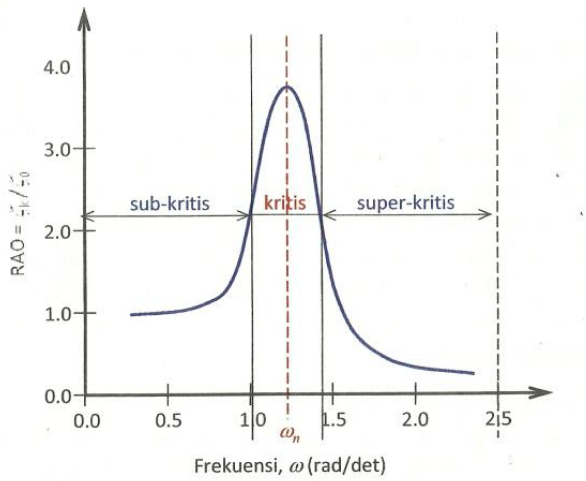
$$R = \frac{\zeta_{kC}}{\zeta_C}\ (m/m)$$

.....(2.11)

- RAO untuk gerakan rotasi yaitu *roll, pitch,* dan *yaw* (k=4, 5, 6 atau θ, ψ) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden). Persamaan untuk RAO gerakan rotasi adalah sebagai berikut

$$R = \frac{\zeta_{kC}}{k_w \zeta_C} = \frac{\zeta_{kC}}{\left(\frac{\omega^2}{g}\right)\zeta_C}\ (r\ /r\ )$$

.....(2.12)




**Gambar 2.3**Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung (Djatmiko, 2011)

Berdasarkan Gambar 2.3, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2<k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a)<\omega^2<k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombag (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega^2<k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djatmiko, 2011).

### 2.2.10 Respon Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Respons bangunan apung pada khususnya kapal yang diakibatkan oleh eksitasi gelombang acak telah diperkenalkan pertama kali oleh St. Denis dan Pierson (1953). Gerakan bangunan apung dalam kondisi ideal dapat dihitung sebagai reaksi adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Perhitungan kemudian dilakukan dengan mengambil amplitudo gelombang yang konstan, namun harga frekuensinya divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan,

yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djatmiko, 2011).

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping*dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler.Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon.Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang.Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan respon struktur secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 \; S(\omega) \qquad \text{.....(2.13)}$$

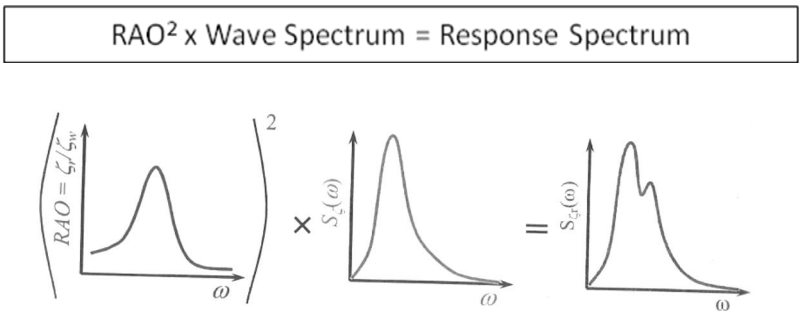
dengan :

$S_R$ = spektrum respons ($m^2$-sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang ($m^2$-sec)

$RAO(\omega)$ = *transfer function*

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




**Gambar 2.4** Transformasi spektra gelombang menjadi spektra respons (Djatmiko, 2012)

### 2.2.11 Spektra Gelombang

Analisis spektrumgelombang dapat menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JONSWAP, PiersonMoskowitz, ISSC ataupun ITTC. Pemilihan spektrum gelombang didasarkan pada kondisi nyatalautyang ditinjau. Bilatidak ada maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang sebagaimana dalam tabel berikut

**Tabel 2.1** Profil Gelombang beserta Parameter Gelombangnya

| Profil Gelombang | Amplitudo | Tinggi |
|---|---|---|
| Gelombangrata-rata | $1{,}25(m_0)^{1/2}$ | $2{,}50\ (m_0)^{1/2}$ |
| Gelombangsignifikan | $2{,}00(m_0)^{1/2}$ | $4{,}00(m_0)^{1/2}$ |
| Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi | $2{,}55(m_0)^{1/2}$ | $5{,}00(m_0)^{1/2}$ |
| Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi | $3{,}44(m_0)^{1/2}$ | $6{,}67(m_0)^{1/2}$ |

$m_0$= luasan di bawah kurva spektrum (*zero moment*).

Formulasi spectra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan dan analisa bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karenaperairan Indonesia dimana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas yang dioperasikan adalah di perairan kepulauan atau tertutup.Namun dari sejumlah kajian, untukperairan Indonesia disarankan memakai parameter $\gamma$ yang lebih kecil, sekitar 2.0 sampai 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djatmiko, 2011).

### 2.2.12 Analisa Respon

Respon bangunan apung terhadap gerakan frekuensi gelombang menurutKwan (1991) dapat diprediksi dengan salah satu dari dua metode berikut:

- Analisis Kuasi-statis

Dalam pendekatan ini, beban gelombang dinamis dicatat oleh *offsetstatis* bangunan apung yang didefinisikan oleh gerakan gelombang yang diinduksi. Hanya gerakan horisontal yang dijadikan acuan. Beban yang disebabkan oleh gerakan fairlead vertikal

dan dinamika sistem *mooring* itu sendiri, seperti, efek massa, percepatan fluida dan redaman, diabaikan.

- Analisis Dinamis

Analisis dinamis memperhitungkan respon dinamis dari tali tambat. Efek variasi waktu akibat massa tali tambat, redaman, dan percepatan relatif fluida disertakan. Dalam pendekatan ini, gerakan *fairlead variasi* waktu dihitung dari gerakan *surge, sway, heave, pitch, roll,* dan *yaw* dari bangunan apung.

### 2.2.13 Dasar Analisa Dinamis

Berdasarkan DNV OS E301 (2004), metode analisis simulasi *domain* pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu:

1. *Frequency Domain Analysis*

   *Frequency domain analysis* adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini bisa digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan *platform*, gaya tendon, dan sudut. Keuntungan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, *input* dan *output* juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan *non-linear* harus diubah menjadi *linear*.

   Pada *frequency domain analysis*, keseimbangan dinamik dari sistem *linear* dapat diformulasikan dengan Pers. (2.10).

$$M_{(\omega)}\, r + C_{(\omega)}\, r + K_{(\omega)}\, r = \ddot{X}e^{i\omega t} \qquad \text{.....(2.14)}$$

dengan:

$M_{(\omega)}$= matrik massa fungsi frekuensi (ton)

$C_{(\omega)}$= matrik damping fungsi frekuensi (ton/s)

$K_{(\omega)}$= matrik kekakuan fungsi frekuensi (kN/m)

X = vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan. Pola $e^{i\omega t}$ menetapkan variasi harmonik dari contoh beban dengan frekuensi ω.

r = vektor *displacement* (m)

2. *Time domain analysis*

*Time domain analysis* adalah penyelesaian gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu *x(t)*. Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat dibawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek transient. Namun, metode ini dalam membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain.

Tugas Akhir ini menggunakan simulasi *time domain* sebagai metode untuk analisa dinamis dalam mencari nilai *tension* dan simulasi *frequencydomain* untuk mencari respon struktur. *Output* dari simulasi *time domain* adalah:

- Simulasi gelombang reguler dapat digunakan untuk memprediksi fungsi transfer dengan mengambil rasio amplitudo respon dengan input amplitudo gelombang.
- Spektrum respon dapat dihitung dari *time series*, informasi yang diberikan sama dengan analisa domain frekuensi.
- Respon ekstrim dapat disimulasi langsung dari puncak respon selama simulasi.

Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe *non-linear* (matrik sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kerugiaannya adalah membutuhkanwaktu perhitungan yang lebih. Menurut DNV OS E301, minimal simulasi*time domain* adalah selama 3 jam (10800 s).

### 2.2.14 *Tension*

Gerakan pada SPM karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada mooring line dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. *Mean Tension*

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

b. *Maximum Tension*

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

Menurut Wisnu (2015), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_{max} = T_H + wh \qquad \text{.....(2.15)}$$

dengan: $T_{max}$ = *tension* maksimum tali tambat (ton)

$T_H$ = horizontal *pre-tension* (ton)

w = berat *chain* di air (ton/m)

h = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria/batasan yang memenuhi *safety factor*. Kriteria *safety factor* tersebut berdasar pada suatu *rule.* Dan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah mengacu pada *rule* API RP2SK (2005), yakni sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Kriteria *safety factor*

| ***Condition*** | ***Safety Factor*** |
|---|---|
| Intact (ULS) | >1.67 |
| Damaged (ALS) | >1.25 |

Dengan persamaan *safety factor*menurut API RP2SK adalah:

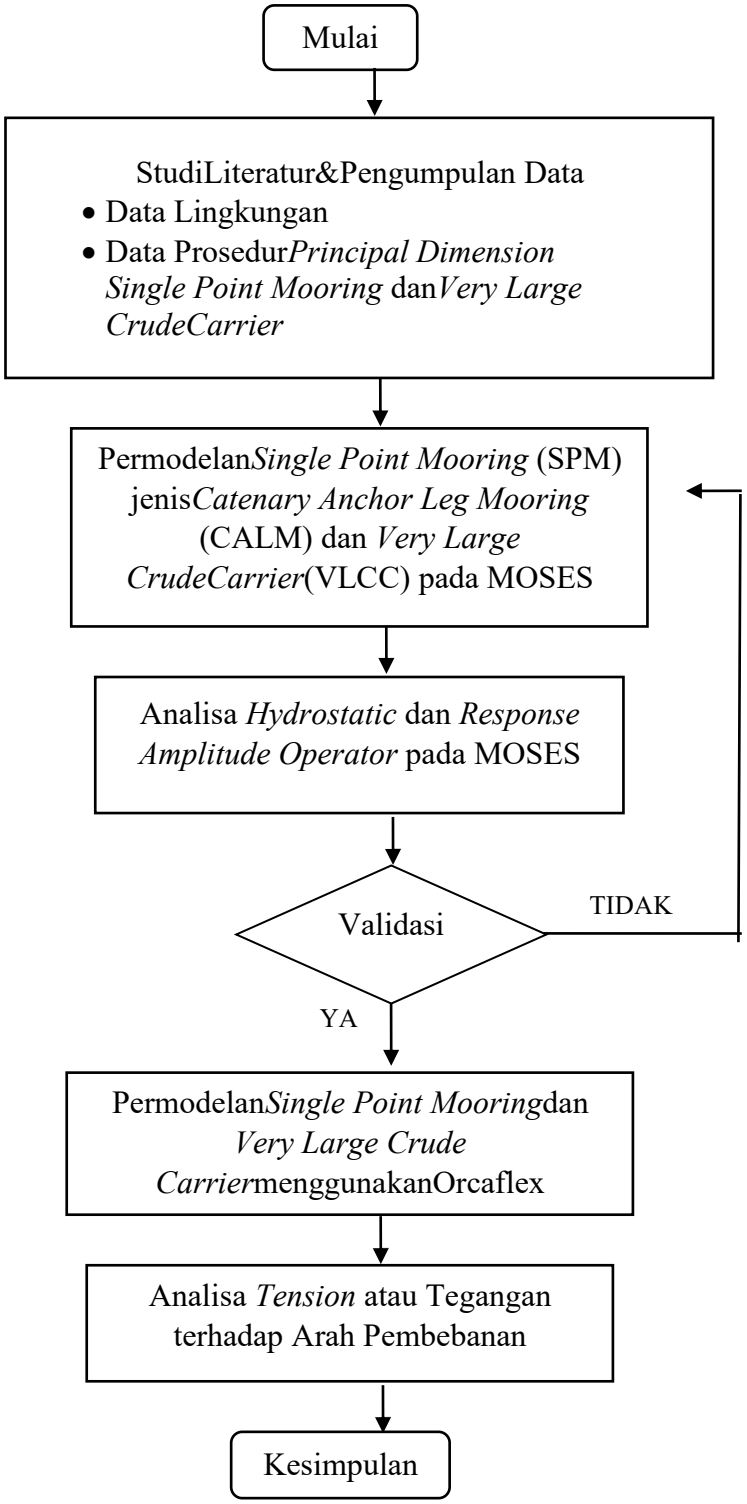
.....(2.16)

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

# BAB III
# METEDOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, pengerjaan akan dijabarkan melalui diagram alir dibawah ini.




**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 ProsedurPenelitian

Alur dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

   Studi literature dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, peraturan/regulasi yang relevan dan dibutuhkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literature dapat diperoleh dari buku, tugas akhir, jurnal, *Code/Standard*, peraturan/regulasi baik nasional maupun internasional.

2. Pengumpulan Data

   - Data Umum SPM dan VLCC

**Tabel 3.1** *Single Point Mooring*

| Data Utama SPM | | |
|---|---|---|
| *Nama* | = | Single Point Mooring RU IV Cilacap |
| *Type* | = | *Calm Bouy* |
| *Outer Diameter* | = | 11 m |
| *Inner Diameter* | = | 3.57 m |
| *Skirt Diameter* | = | 14 m |
| *Bouy Height* | = | 4.8 m |
| *Chain Table Diameter* | = | 12.4 m |
| *Draft* | = | 2 m |

**Tabel 3.2***Mooring Line*

| Data Mooring | | | |
|---|---|---|---|
| *Number of Line* | = | 6 | |
| *Spacing Between Bundles* | = | 60 | deg |
| *Diameter* | = | 76.2 | mm |
| *Unit weight on air* | = | 199 | kg/m |
| *Unit weight on water* | = | 2013.975 | kg/m |
| *Breaking Load* | = | 364 | ton |
| *Chain Length* | = | 365.76 | m |
| *Size* | = | 3.75 | inch |
| *Minimum breaking strength* | = | 707 | ton |

**Tabel 3.3***Very Large Crude Carrier*

| Data Utama VLCC | | |
|---|---|---|
| *Type* | = | *Very Large Crude Carrier / VLCC* |
| *LOA* | = | 333 m |
| *LPP* | = | 328 m |
| *Breadth* | = | 60 m |
| *Depth* | = | 27 m |
| *Draft* | = | 19 m |
| *Displacement* | = | 341108.6 ton |
| *Ligth weight* | = | 29913.6 ton |

| **Center of Gravity** | **X** | **Y** | **Z** |
|---|---|---|---|
| Full | 154.656 | 0.000 | 13.677 |
| **Radius of Gyration** | **Kxx** | **Kyy** | **Kzz** |
| Full | 21.016 | 96.129 | 96.129 |

- Data Lingkungan

  Pengumpulan data gelombang digunakan untuk analisa beban gelombang dari kondisi perairan

**Tabel 3.4** Data Lingkungan*

| GerakBebas | | unit |
|---|---|---|
| *Max wave height* | 13.4 | m |
| *Significant wave height* | 7.2 | m |
| *Peak wave Height* | 13 | s |
| *Wind Speed* | 43 | m/s |
| *Current Speed* | 1.6 | m/s |
| KondisiOperasi | | |
| *Max wave height* | 6.5 | m |
| *Significant wave height* | 3.5 | m |
| *Peak wave Height* | 10 | s |
| *Wind Speed* | 20.6 | m/s |
| *Current Speed* | 1.03 | m/s |

*data yang digunakan pada saat kondisi operasi

3. Permodelan Struktur dalam kondisi *free floating*

   Permodelan struktur SPM dan VLCC akan dilakukan dengan *software MOSES*.

4. Analisa *Hydrostatic* dan *Response Amplitude Operator*

   Setelah model selesai langkah berikutnya adalah melakukan analisis gerakan *SPM* dan *VLCC* yang merupakan salah satu *output* yang amat penting dalam

analisa gerakan kapal menggunakan perangkat lunak MOSES selain parameter-parameter lainnya seperti data lingkungan dan lain sebagainya. Perhitungan dilakukan dengan perangkat lunak MOSES untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamis seperti RAO.

5. Validasi Struktur

   Model SPM dan VLCC yang telah jadi akan divalidasi dengan membandingkan data hidrostatik keluaran *MOSES*dan data umum struktur. Batas *error* tidak melebihi 5% .

6. Permodelan

   Permodelan kali ini di *software Orcaflex* dengan posisi sudah tertambat antara SPM dan VLCC dan dengan beberapa kondisi tertambatnya yakni kondisi *InLine* dan *BetweenLine*.

7. Analisa Tegangan

   Dalam tahap ini, hasil output dari *software Orcaflex* adalah tegangan yang terjadi disetiap *mooring line*. Dari situlah akan dibandingkan di *mooring line* yang mana yang memiliki tegangan terbesar dan dalam kondisi apa juga.

8. Kesimpulan

   Setelah keseluruhan analisa selesai dilakukan, selanjutnya adalah menyimpulkan hasil sesuai dengan permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini.

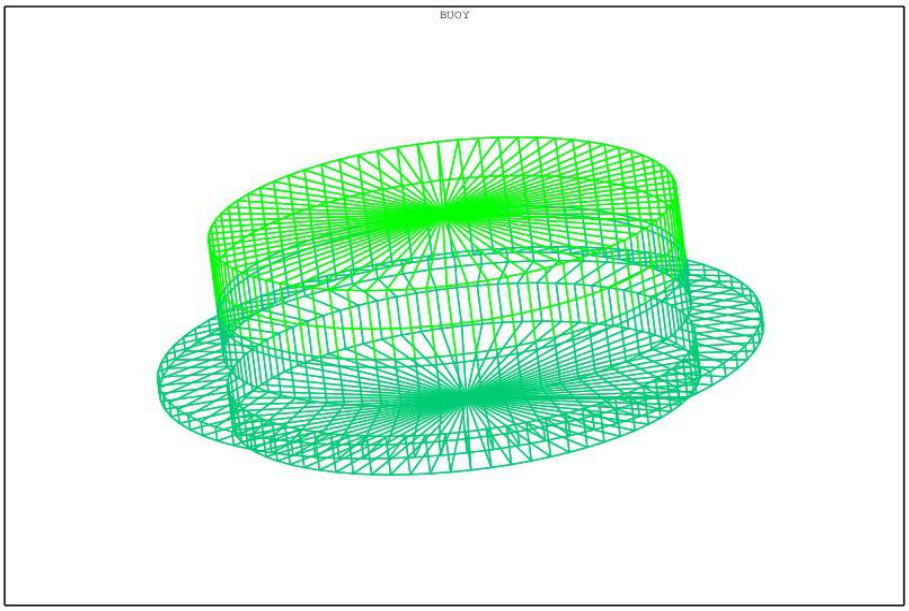
# BAB IV

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

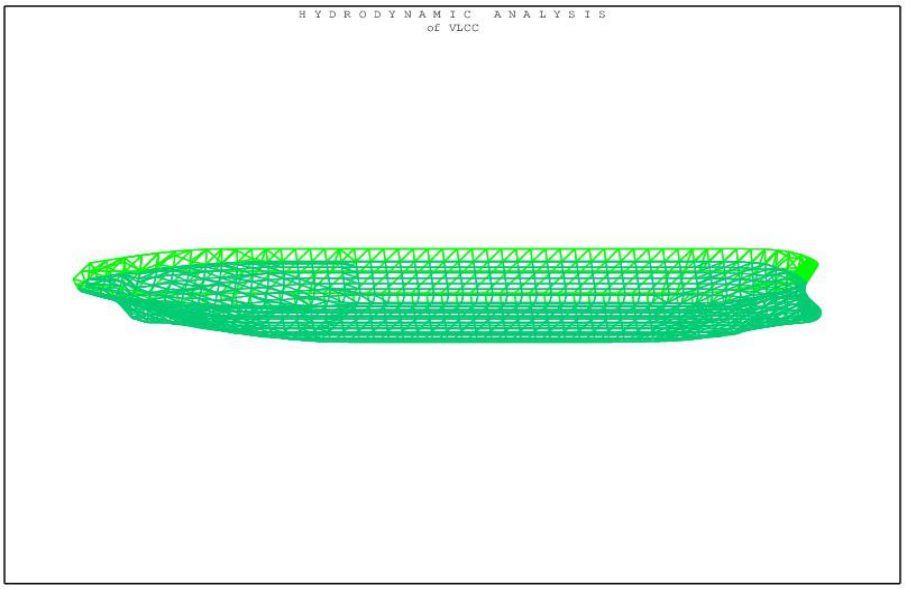
## 4.1 Permodelan

### 4.1.1 Permodelan *SPM* dan *VLCC* dengan *Software MOSES*

Permodelan struktur *SPM* dan *VLCC* menggunakan *Moses 8.0.*Permodelan dalam kondisi *free floating* atau tanpa *mooring*. Berikut adalah hasil permodelan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 untuk permodelan SPM dan pada Gambar 4.2 untuk permodelan VLCC:




**Gambar 4.1** Model geometri *Single Point Mooring / SPM*




**Gambar 4.2** Model geometri *Very Large Crude Carrier / VLCC* 300K DWT

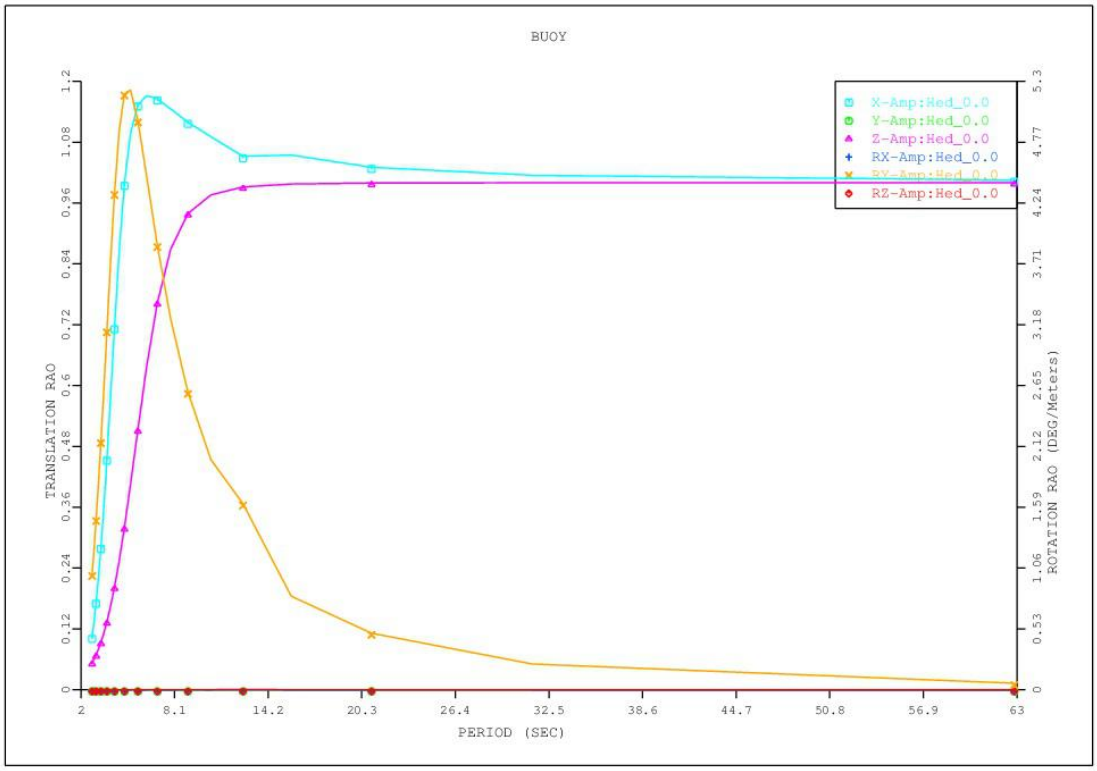
Permodelan diatas berdasarkan data umum yang didapatkan. Untuk tampilan lain dari permodelan SPM dan VLCC akan disajikan di bagian lampiran.

### 4.1.2 *RAO Free Floating SPM* dan *VLCC* Menggunakan *Software MOSES*

#### 4.1.2.1 *RAO Free Floating SPM*

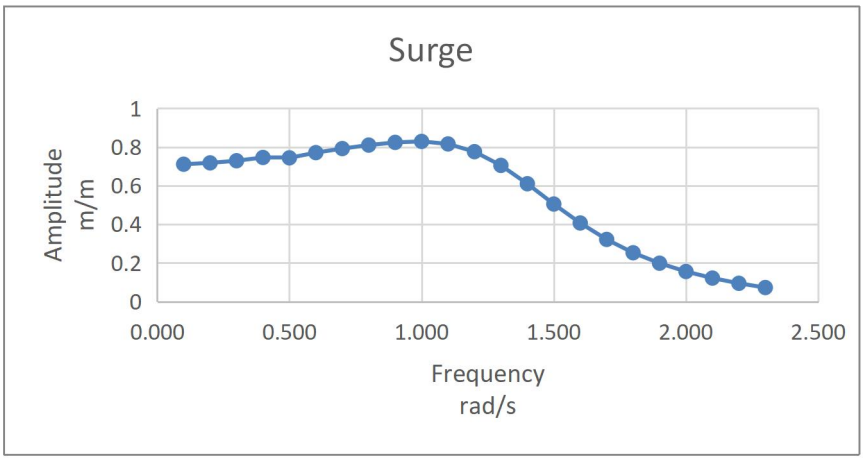
Dalam tahap ini analisa gerakan SPM dilakukan dalam kondisi *free floating* dan hanya meninjau gerakan yang mengalami perubahan secara signifikan dengan arah datang gelombang dari arah *head sea* (180°). Analisa dilakukan dengan simulasi *software MOSES.*

Hasil yang diperoleh dari analisa adalah grafik RAO dengan arah 0°,45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°. RAO akan menuntukkan perilaku gerakan di gelombang reguler. Dan dikarenakan bentuk SPM yang simetris dari berbagai arah maka dibawah ini hanya RAO dari beberapa arah saja dan selengkapnya akan disajikan pada lampiran.



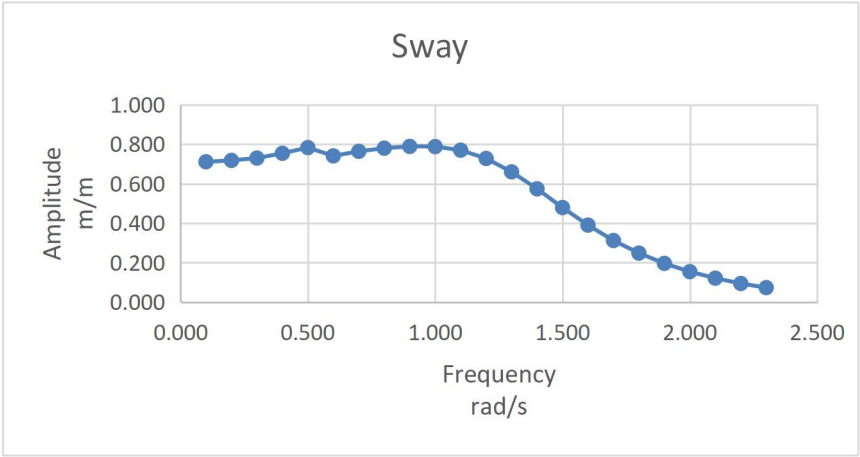

**Gambar 4.3** RAO SPM untuk *heading* 0°

Gambar 4.3 ditampilkan seluruh gerakan translasional maupun rotasional struktur SPM dengan *heading* 0°, yang kemudian mendetailkan gerakan SPM, pada Gambar 4.4 sampaiGambar 4.9 ditampilkan RAO untuk gerakan translasional yakni *surge, sway,* dan *heave,* dan untuk gerakan rotasional, yakni *roll, pitch,* dan *yaw.*



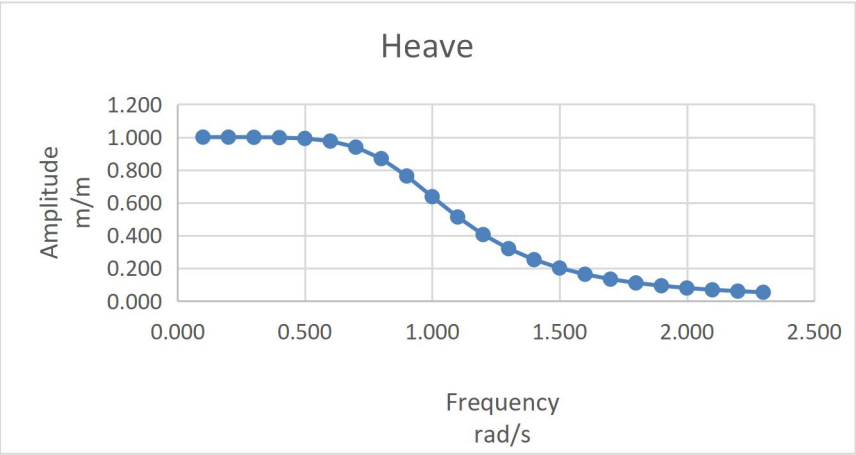

**Gambar 4.4** RAO SPM gerakan *surge* dengan *heading* 0°

Gerakan *surge* merupakan salah satu dari gerakan translasional sebuah bangunan apung yang mana gerakan terjadi sejajar dengan sumbu x. Pada struktur *single buoy mooring* ini karakteristik gerakan dapat dilihat pada Gambar 4.4. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai RAO yang terbesar terjadi pada frekuensi rendah yaitu sebesar 0,829 m/m pada frekuensi 1 rad/s yang mana kemudian nilai RAO tersebut berangsur-angsur turun pada frekuensi yang lebih besar. Efek paling kecil terjadi pada frekuensi 2,3 rad/s yaitu sebesar 0,073 m/m.



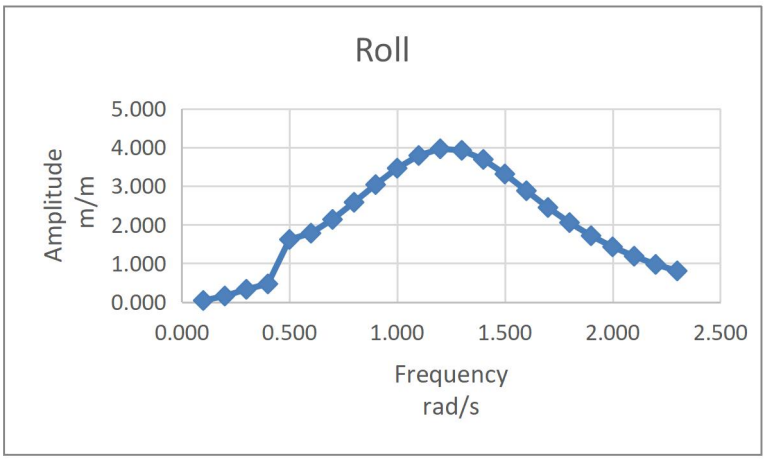

**Gambar 4.5** RAO SPM gerakan *sway* dengan *heading* 0°

Gerakan *sway* memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gerakan *surge* yang mana nilai maksimum dari RAO berada pada frekuensi rendah. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 0,9 rad/s nilai tertinggi dari RAO terjadi yaitu sebesar 0,789 m/m. Kemudian grafik tersebut berangsur-angsur turun pada frekuensi yang lebih tinggi dan mencapai nilai RAO *sway* terendah pada frekuensi 2,3 rad/s yaitu sebesar 0,073 m/m.




**Gambar 4.6** RAO SPM gerakan *heave* dengan *heading* 0°

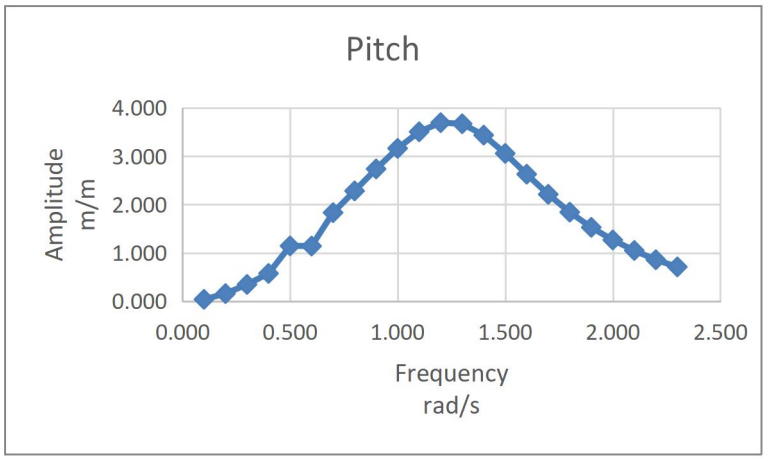
Gerakan *heave* merupakan salah satu pola gerakan vertikal sebuah bangunan apung. Pada gerakan *heave*, grafik RAO dari bangunan apung mempunyai karakteristik yaitu pada frekuensi rendah nilai RAO cenderung mendekati satu (1) atau tepat menunjukan angka satu (1) yang berarti bahwa perilaku struktur akibat adanya gelombang dengan frekuensi tersebut hampir tidak ada. Kemudian grafik akan secara bertahap naik hingga mencapai nilai puncak dimana pada titik ini terjadi resonansi yang diakibatkan karena frekuensi natural struktur *single buoy mooring* yang mendekati atau sama dengan frekuensi gelombang. Pada grafik dalam Gambar 4.6 menunjukan bahwa pada frekuensi 0,1-0,2 rad/s terjadi puncak resonansi dengan nilai RAO *heave* terbesar yaitu 1 m/m.




**Gambar 4.7** RAO SPM gerakan *roll* dengan *heading* 0°

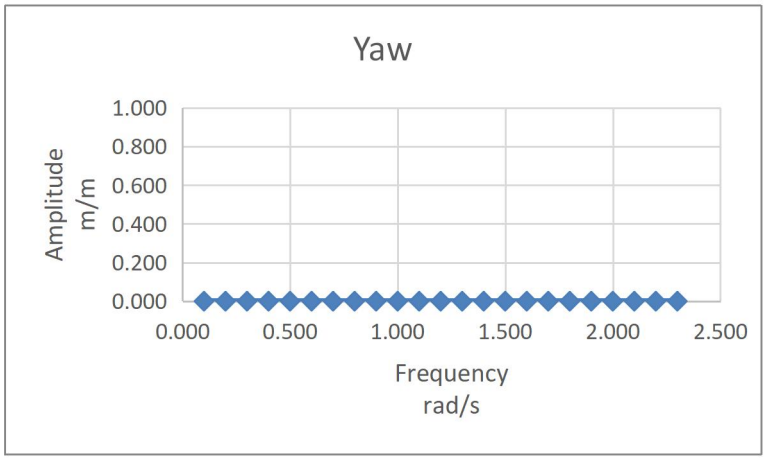
Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerak *roll* dari *single buoy mooring* menunjukan nilai yang kecil. Kemudian grafik tersebut naik pada daerah dimana terjadi resonansi, dan menurun pada daerah

super kritis (frekuensi tinggi). Pada grafik diatas terlihat bahwa daerah resonansi terjadi pada frekuensi 1,2 rad/s dengan besar nilai RAO *roll* yaitu 3,961 deg/m.




**Gambar 4.8** RAO SPM gerakan *pitch* dengan *heading* 0°

Pada Gambar 4.8 yang merupakan grafik dari perilaku gerakan *pitch* dapat dilihat bahwa terjadi puncak resonansi pada frekuensi 1,2 rad/s yang mengakibatkan terjadinya nilai RAO *pitch* tertinggi yaitu sebesar 3,694 deg/m. Kemudian nilai tersebut berangsur-angsur turun pada frekuensi dengan nilai yang lebih tinggi.




**Gambar 4.9** RAO SPM gerakan yaw dengan *heading* 0°

Grafik RAO untuk gerakan *yaw* dapat dilihat pada Gambar 4.9 dimana pada grafik tersebut terlihat bahwa perilaku gerak terbesar terjadi pada frekuensi rendah dengan nilai frekuensi 0 rad/s dengan besaran RAO *yaw* yaitu 0 deg/m.

Dari analisa perilaku gerakan *single buoy mooring* di atas, dapat disimpulkan yaitu gerakan *single buoy mooring* mengalami enam (6) gerakan bangunan apung

dikarenakan struktur tersebut berada dalam kondisi diam. Gerakan *single buoy mooring*yang memiliki besaran yang paling signifikan terjadi pada gerakan *surge* dan *pitch*. Berikut adalah ringkasan besaran RAO tertinggi yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Ringkasan nilai RAO tertinggi struktur SPM

| Jenis Gerakan | Besaran | Satuan |
|---|---|---|
| *Surge* | 0,829 | m/m |
| *Sway* | 0,789 | m/m |
| *Heave* | 1,000 | m/m |
| *Roll* | 3,961 | deg/m |
| *Pitch* | 3,694 | deg/m |
| *Yaw* | 0,000 | deg/m |

#### 4.1.2.3 *RAO Free Floating VLCC*

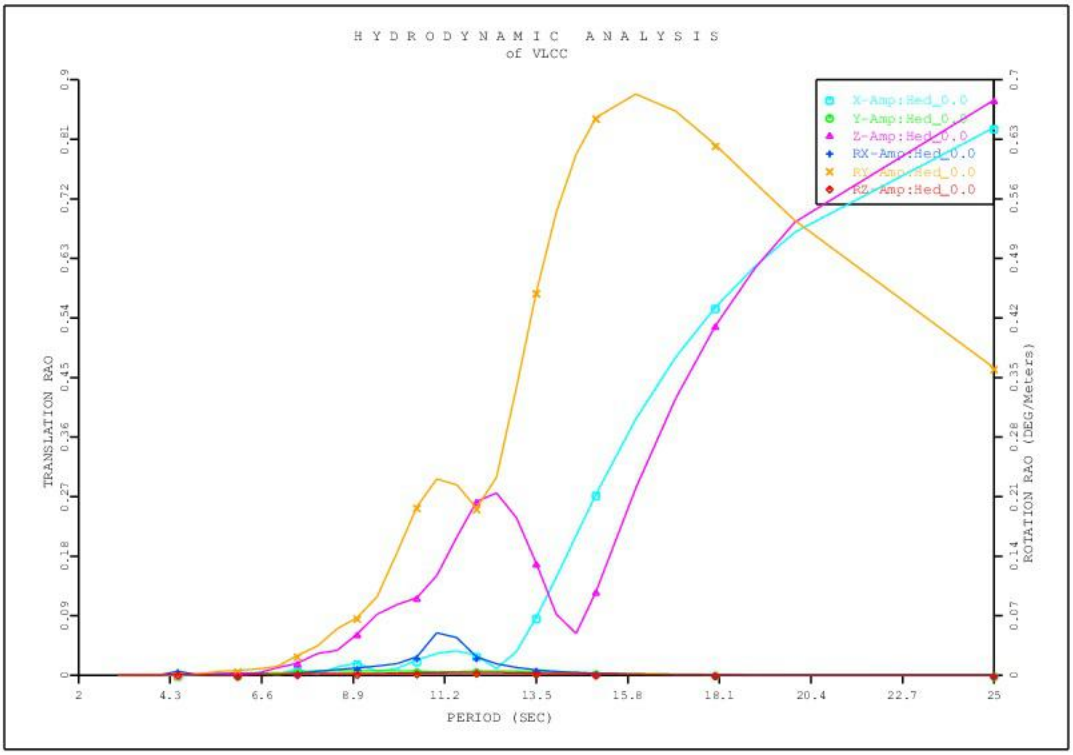
Dalam tugas akhir ini analisa gerakan VLCC 300K DWT dilakukan dalam kondisi *free floating* dan hanya meninjau gerakan yang mengalami perubahan secara signifikan dengan arah datang gelombang dari beberapa arah. Analisa dilakukan dengan simulasi *software MOSES.*

Hasil yang diperoleh dari analisa adalah grafik RAO dengan arah 0°, 22.5°,45°, 67.5°,90°,112.5°,135°, 157.5°, dan 180°. RAO akan menunjukkan perilaku gerakan di gelombang reguler.

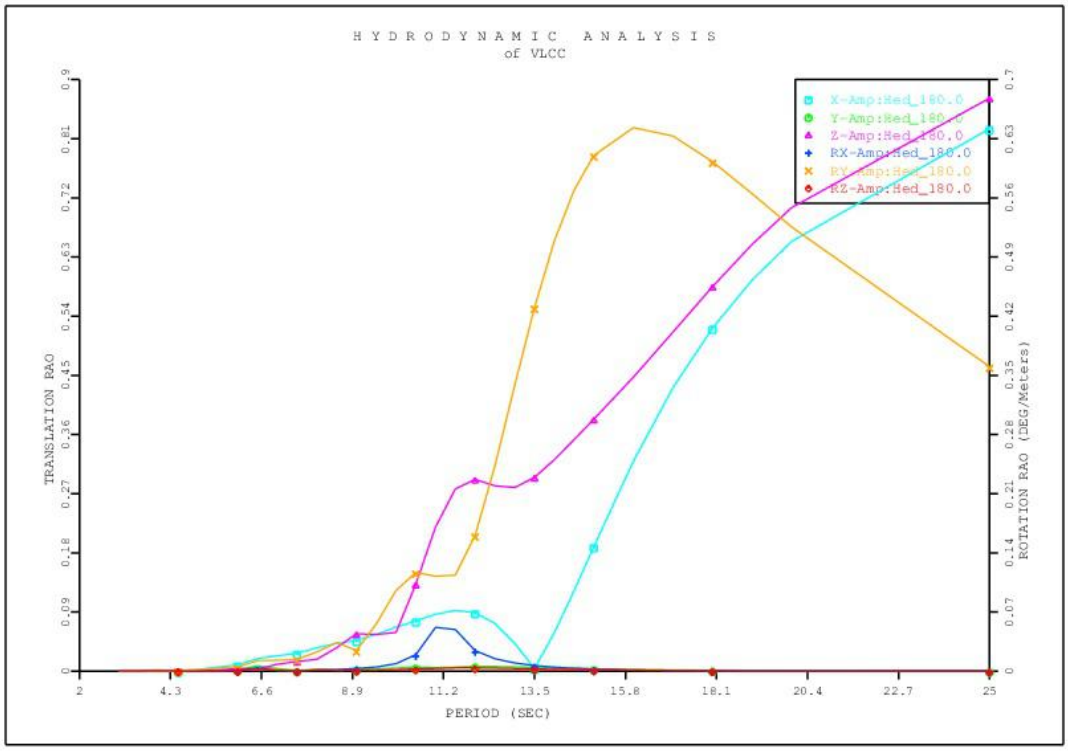
Karateristik gerakan pada masing-masing arah pembebanan (*heading*) dapat dijelaskan sebagai berikut:

- *Following seas* dan *head seas*

  Pada arah gelombang 0° dan 180°, gerakan VLCC yang mengalami perubahan paling signifikan adalah *surge, heave,* dan *pitch*. Gerakan *sway, roll,* dan *yaw* hampir tidak mengalami perubahan. Bisa dilihat dari Gambar 4.10 dan Gambar 4.11




**Gambar 4.10** RAO VLCC 300K DWT untuk arah *head seas* (0°)

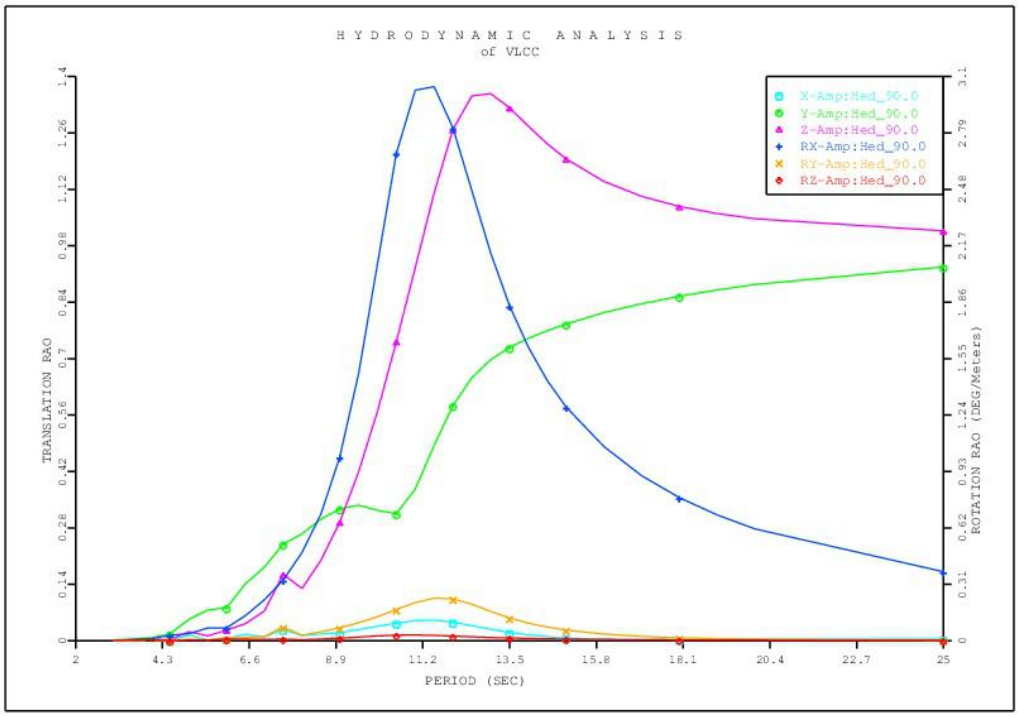



**Gambar 4.11** RAO VLCC 300K DWT untuk arah *following seas* (180°)

- *Beam seas*

  Pada Gambar 4.11 arah gelombang 90° gerakan VLCC yang mengalami perubahan paling signifikan adalah *roll.* Gerakan yang lain tidak mengalami

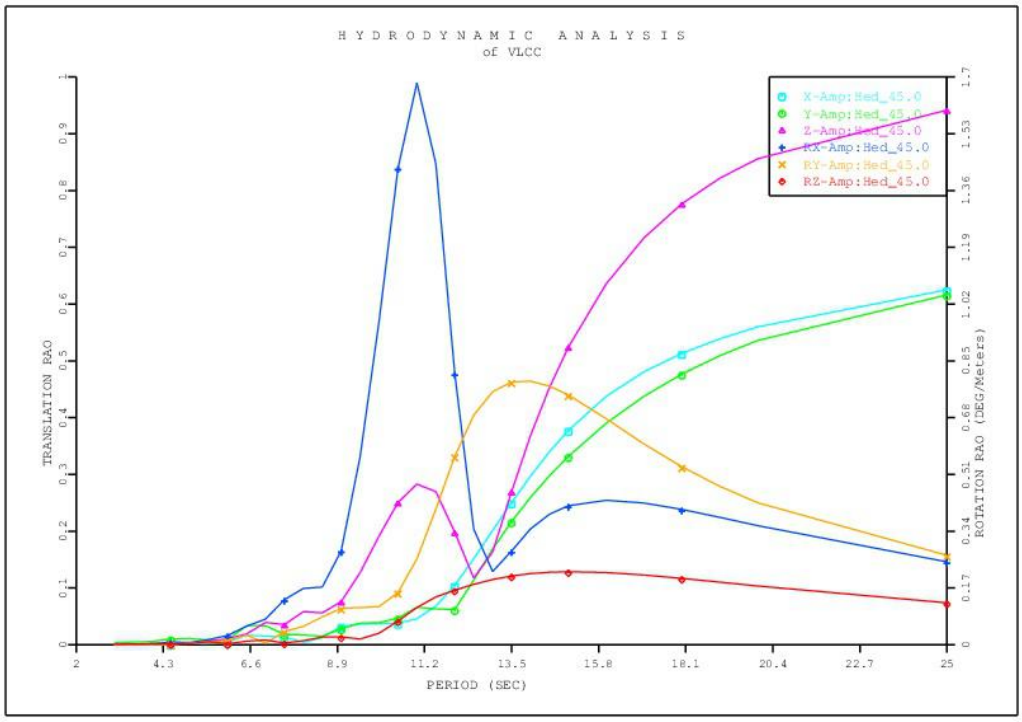
perubahan yang signifikan dibanding dengan gerakan *roll.*



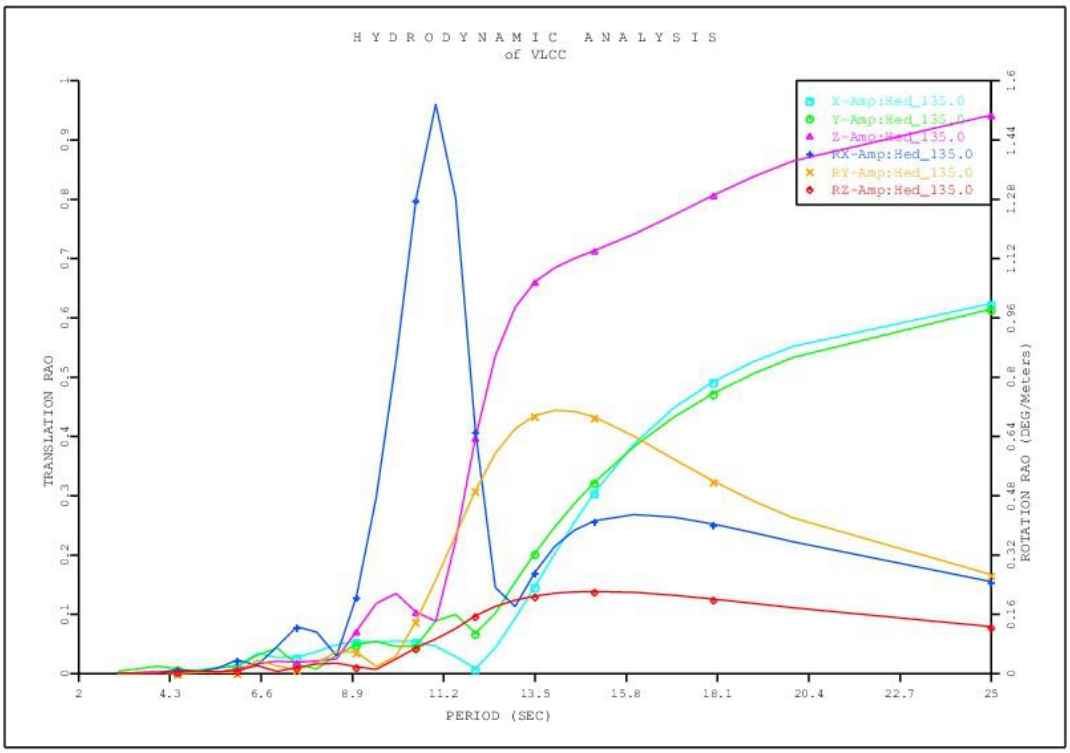

**Gambar 4.12** RAO VLCC 300K DWT untuk arah *beam seas* (90°)

- *Quatering Seas*

  Pada arah gelombang 45° dan 135° gerakan VLCC semuanya mengalami perubahan akan tetapi ada satu gerakan yang berubah dengan cukup signifikan. Dibawah ini, pada Gambar 4.12 (a), adalah RAO untuk arah gelombang 45° dan Gambar 4.12 (b), adalah RAO untuk arah gelombang 135°




(a)




(b)

**Gambar 4.13** (a) RAO VLCC 300K DWT untuk arah *quatering seas* 45°, (b) RAO VLCC 300K DWT untuk arah *quatering seas* 135°

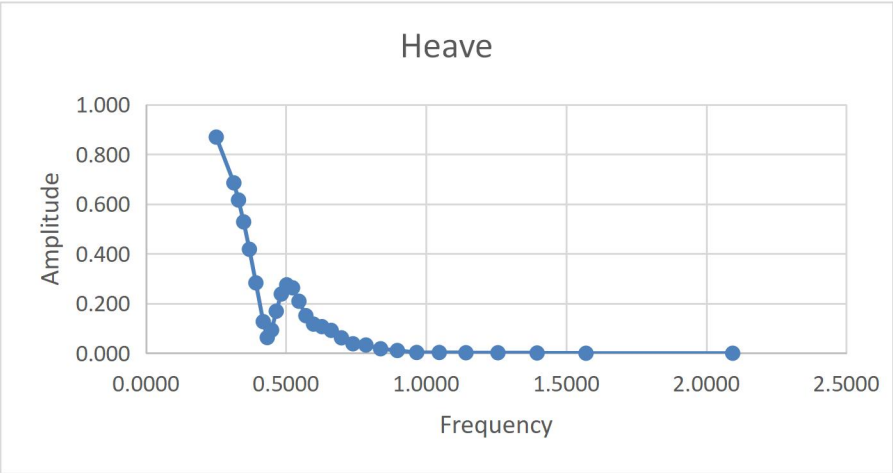
Dari ketiga kondisi arah pembebanan yakni *Head Seas / Following Seas, Beam Seas,* dan *Quatering Seas* didapatkan nilai RAO tertinggi di setiap jenis gerakan translasional maupun rotasional, yang dituang dalam Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Ringkasan nilai RAO tertinggi struktur VLCC 300K DWT

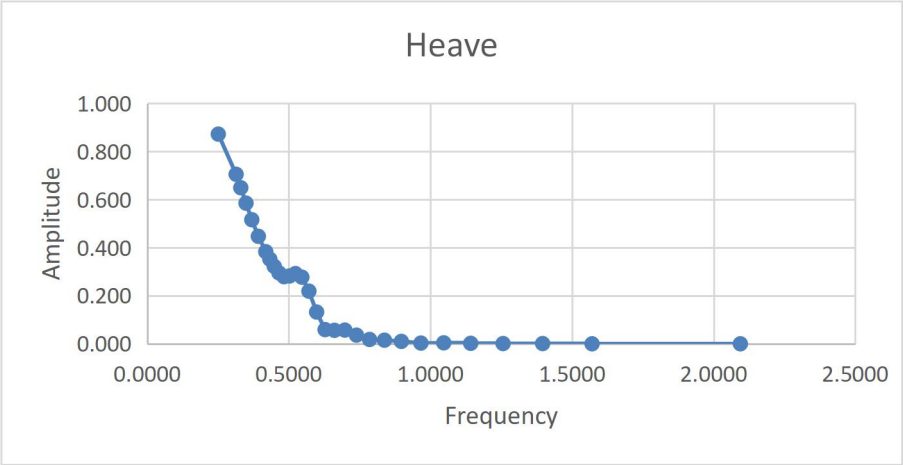
| Jenis Gerakan | Besaran | | | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Head Seas / Following Seas* | | *Beam Seas* | *Quatering Seas* | | |
| | 0° | 180° | 90° | 45° | 135° | |
| *Surge* | 0.828 | 0.825 | 0.051 | 0.625 | 0.552 | m/m |
| *Sway* | 0.007 | 0.008 | 0.928 | 0.616 | 0.615 | m/m |
| *Heave* | 0.869 | 0.872 | 1.358 | 0.942 | 0.942 | m/m |
| *Roll* | 0.050 | 0.052 | 3.044 | 1.682 | 1.536 | deg/m |
| *Pitch* | 0.683 | 0.643 | 0.234 | 0.789 | 0.710 | deg/m |
| *Yaw* | 0.003 | 0.004 | 0.032 | 0.219 | 0.222 | deg/m |

Setelah didapatkan besar RAO pada 3 kondisi arah pembebanan paling tinggi ada pada gerakan *heave* untuk arah *head seas/following seas* dan *roll* untuk arah pembebanan *beam seas* dan *quatering seas*, maka pada Gambar 4.14 sampai Gambar

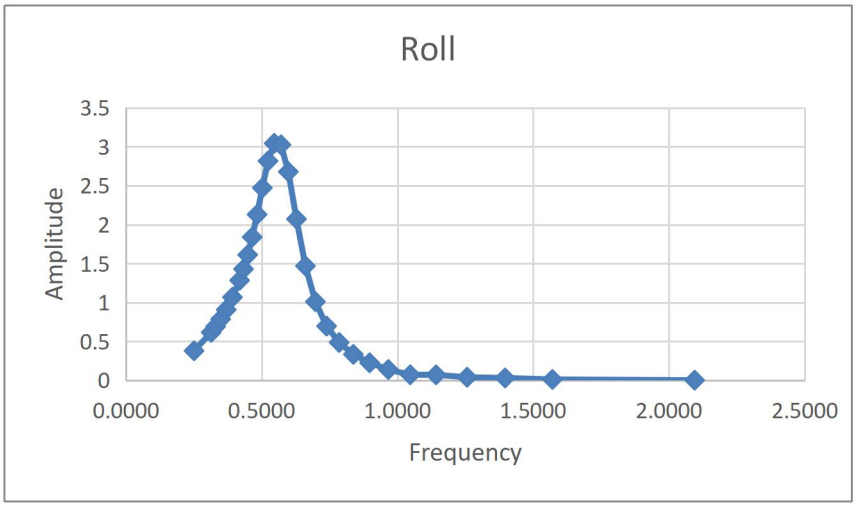
4.18 akan disajikan besar *tension* tertinggi untuk masing-masing kondisi arah pembebanan tersebut.



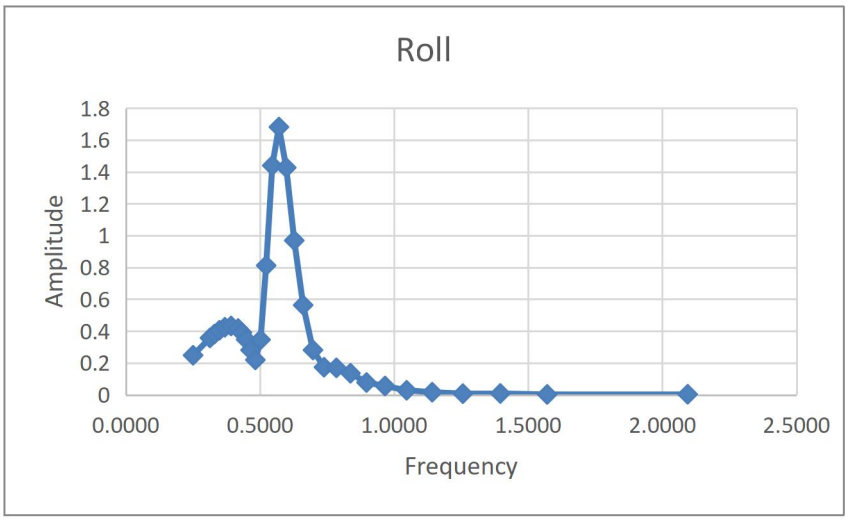

**Gambar 4.14** RAO VLCC 300K DWT gerakan *heave heading head seas* (0°)



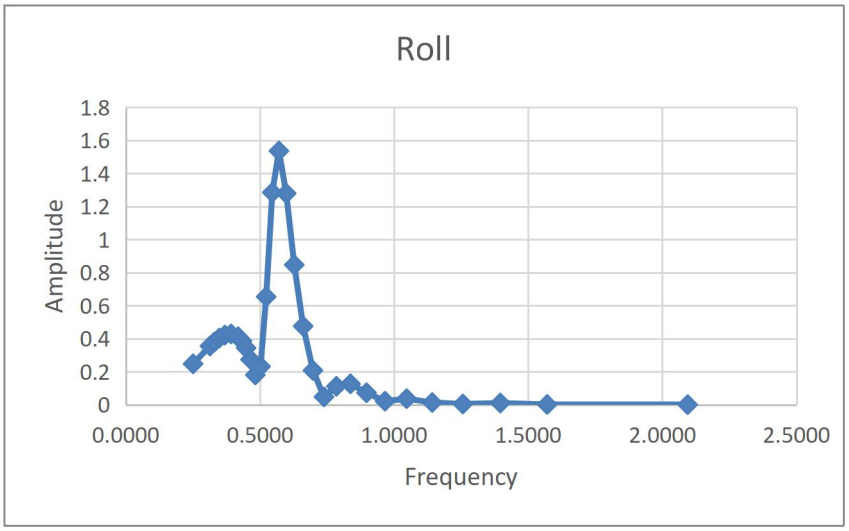

**Gambar 4.15** RAO VLCC 300K DWT gerakan *heave heading following seas* (180°)




**Gambar 4.16** RAO VLCC 300K DWT gerakan *roll heading beam seas* (90°)




**Gambar 4.17** RAO VLCC 300K DWT gerakan *roll heading quatering seas* (45°)




**Gambar 4.18** RAO VLCC gerakan *roll heading quatering seas* (135°)

Untuk RAO tiap-tiap gerakan translasional (*surge, sway,* dan *heave*) maupun rotasional (*pitch, roll* dan *yaw*) dengan arah pembebanan *head seas / folowing seas, beam seas,* dan *quatering seas* yang lainnya akan disajikan pada lampiran.

### 4.1.3 Validasi Permodelan MOSES dan DATA

Validasi permodelan dilakukan dengan cara membandingkan beberapa data umum dengan hasil *output* dari *software MOSES*. Validasi ini nanti menjadi acuan apakah tahapan pengerjaan tugas akhir ini bisa dilanjutkan ke pengerjaan berikutnya atau harus mengulang kembali tahap permodelan SPM dan VLCC, jika hasil validasi terlampau jauh selisihnya. Berikut hasil validasi SPM dan VLCC dituangkan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Validasi SPM

| PARAMETER | DATA | MOSES | SATUAN | ERROR |
|---|---|---|---|---|
| | | | | % |
| Outside Diameter | 11 | 11 | m | 0.00 |
| Inside Diameter | 3.57 | 3.57 | m | 0.00 |
| Skirt Diameter | 14 | 14.2 | m | 0.00 |
| Buoy Height | 4.8 | 4.8 | m | 0.00 |
| Displacement | 193.58 | 228.04 | ton | 17,80 |
| GMT | 1.32 | 1.31 | m | -0.76 |

**Tabel 4.4** Validasi VLCC

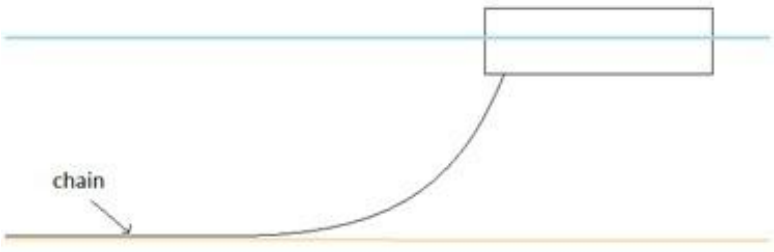
| PARAMETER | SATUAN | DATA | MOSES | ERROR |
|---|---|---|---|---|
| | | | | % |
| LOA | m | 333 | 333 | 0.000 |
| B | m | 60 | 60 | 0.000 |
| H | m | 27 | 27 | 0.000 |
| T | m | 19 | 19 | 0.000 |
| DISPLACEMENT | m-ton | 306614 | 306929 | 0.103 |

Dari Tabel 4.3, validasi SPM berdasarakan nilai *displacement* dan GMT. Selisih dari data dan hasil output MOSES adalah 0.197%, sementara untuk nilai GMT selisih -0.0076%. Untuk Tabel 4.4, validasi VLCC nilai *displacement* terdapat selisih 0.00103%.

### 4.1.4 Permodelan dengan *Software Orcaflex*

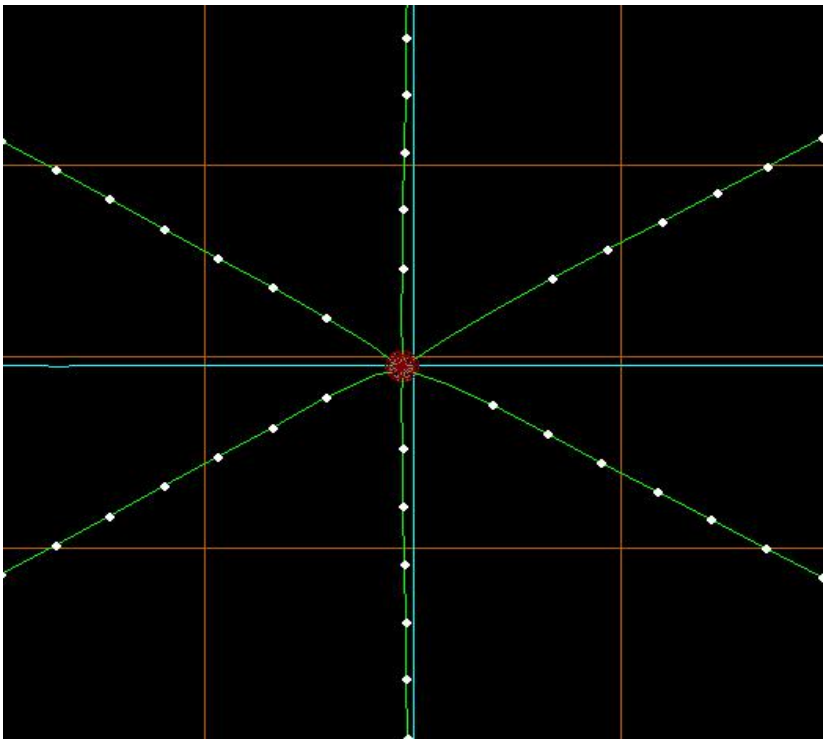
#### 4.1.4.1 Permodelan SPM dan *Mooring Line*

Konfigurasi *mooring lines* terdiri dari enam (6) buah *mooring lines* yang ditempatkan sesuai dengan data *General Arrangement* yang didapat. *Mooring lines* yang digunakan merupakan perpaduan antara 3.75" inch diameter Chain R3 dengan dengan panjang 1200 *feet*dengan tipe *studlink chain yang* diukur dari badan struktur *floating buoy* dan dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.

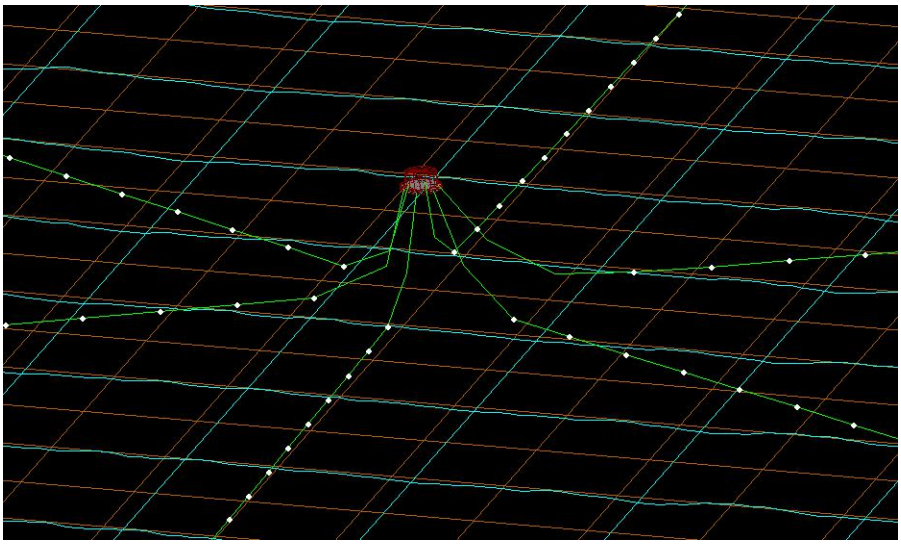



**Gambar 4.19** *Mooring line* pada SPM.

Setelah memodelkan struktur SPM dengan *floating buoy* di *software* MOSES, selanjutnya memodelkan struktur SPM beserta *mooring line* dengan *software* Orcaflex. Konfigurasi *mooring line* yang digunakan adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.20** *Mooring line* pada SPM 2D

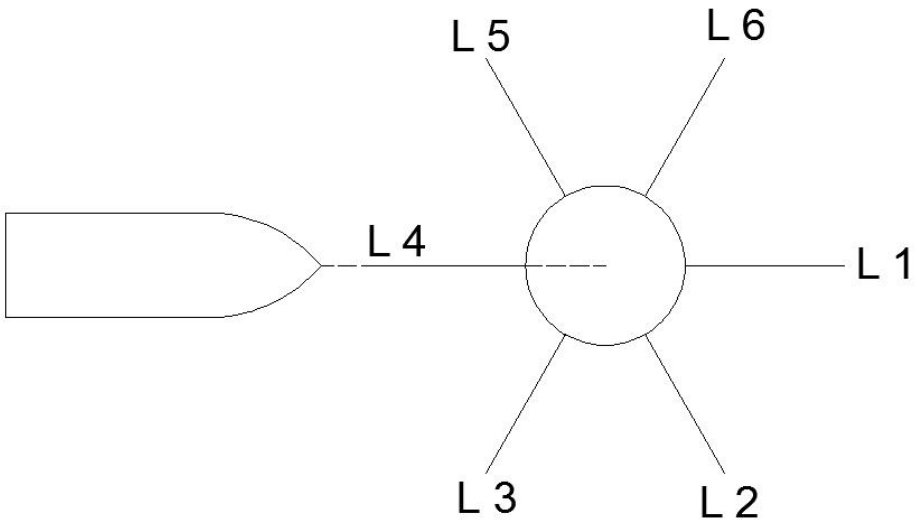


**Gambar 4.21** *Mooring line* pada SPM 3D

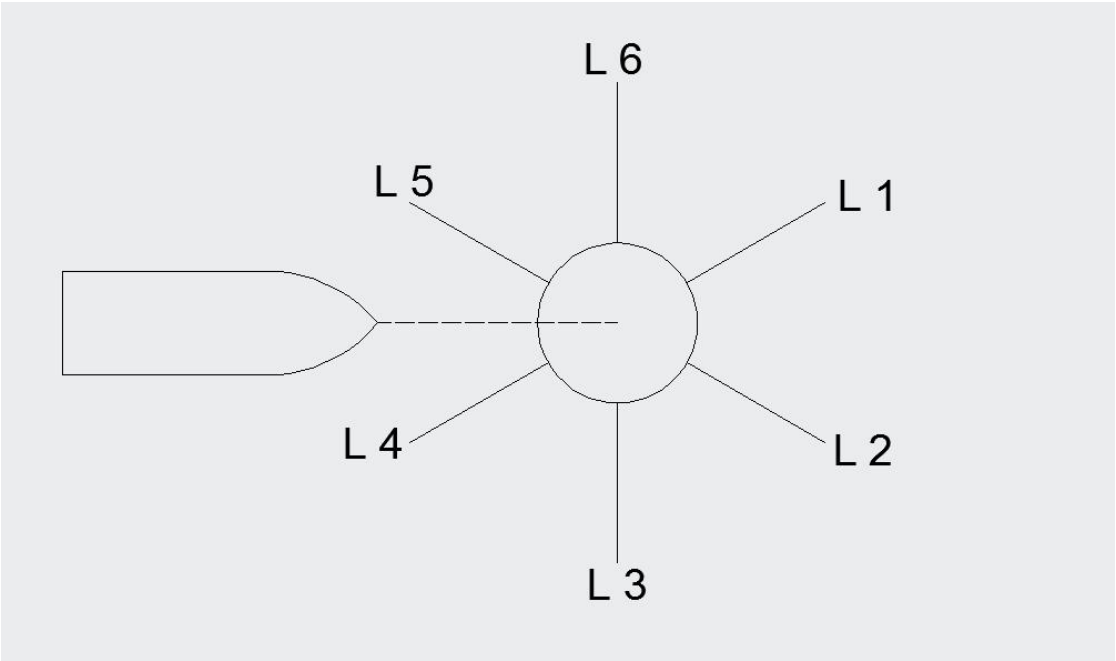
### 4.1.4.2 Permodelan *Integrity* SPM dan VLCC

Dalam tahap ini, akan dilakukan permodelan SPM dan VLCC yang sudah terkonfigurasi atau sudah terhubung. Beberapa langkahnya yaitu yang pertama adalah dengan memodelkan SPM beserta *mooring line* dan VLCC yang sudah diletakkan

sesuai koordinat. Pada permodelan ini dilakukan dengan memasukkan data *vessel dimention,* data lingkungan, dan data *output* dari permodelan *software MOSES. Output* itu sendiri meliputi RAO struktur, *wave drift, added mass,* dan *damping coeff.* Permodelan dalam bentuk 2 dimensi akan disajikan dalam Gambar 4.20 untuk posisi in line dan Gambar 4.21 untuk posisi between line. Pada gambar tersebut dilengkapi penamaan pada mooring line.



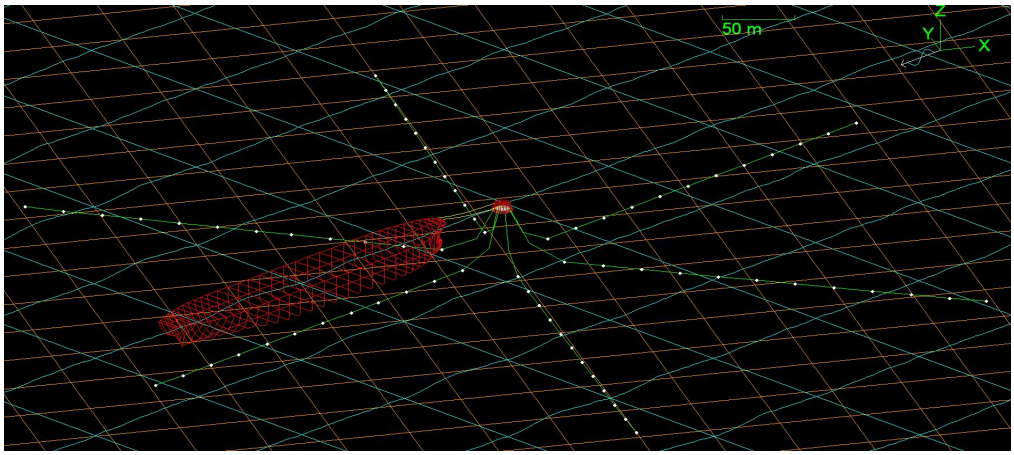

**Gambar 4.22** Posisi *In Line* (2D)



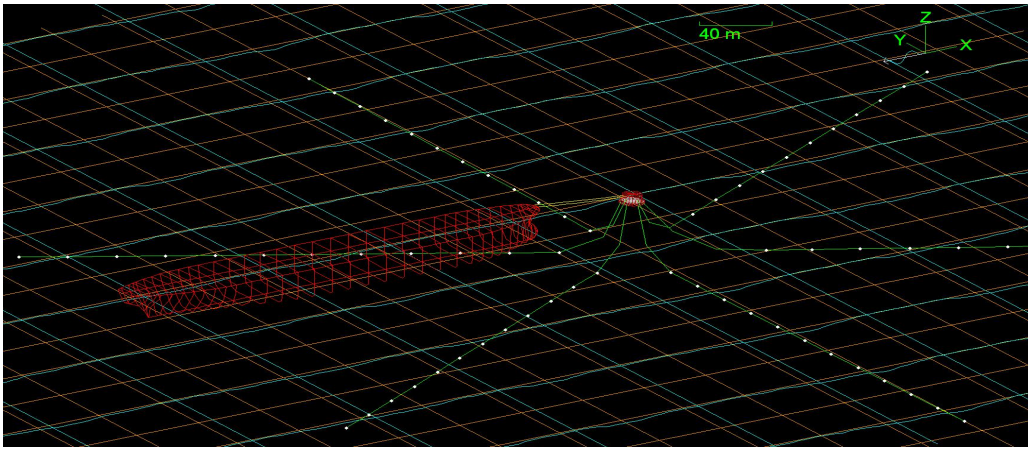

**Gambar 4.23** Posisi *Between Line* (2D)

Pada Gambar 4.19, permodelan VLCC yang telah tertambat dengan SPM dalam posisi *In Line*dan untuk Gambar 4.20, dalam kondisi *Between Line*. Yang dimaksud *In Line* dan *Between Line* adalah posisi VLCC tertambat SPM sejajar dengan salah satu *mooring line*-nya untuk *In Line*dan posisi VLCC tertambat SPM diantara dua *mooring line*-nya disebut posisi *Between Line.*

Permodelan selanjutan adalah mengkonfigurasikan model SPM dan VLCC dengan kondisi sudah tertambat. Pada permodelan ini struktur dikenai beban gelombang 1 tahun (beban operasi) yang kemudian diharapkan mendapat data tension dari masing-masing *mooring*. Pembebanan dilakukan dengan memasukkan data seperti data *mooring line*, data lingkungan, serta data *output* hasil simulasi *software MOSES* untuk struktur SPM dan VLCC. Untuk data *mooring line* memasukkan data seperti panjang *mooring* dan sudut yang terbentuk dari *mooring line* itu sendiri. Kemudian memasukkan tipe spektra gelombang yaitu kecepatan arus, kecepatan angin beserta arah datangnya, dan kedalaman perairan. Simulasi konfigurasi SPM dan VLCC akan disajikan pada gambar dibawah ini.




**Gambar 4.24** Posisi *In Line* (3D)




**Gambar 4.25** Posisi *Between Line* (3D)

## 4.2 Analisis Respon

### 4.2.1 Analisis Respon Gerak VLCC 300K DWT

Dalam langkah ini akan dianalisa respon gerak VLCC 300K DWT saat *stand alone* dan saat tertambat SPM. Dengan menganalisa respon gerak tersebut diharapkan dapat membandingkan setiap gerakan translasional maupun rotasional. Dari perbandingan itu dapat dilihat perubahan manakah yang mengalami peningkatan. Berikut tabel respon gerak VLCC 300K DWT pada saat *stand alone* dan *mooring with* SPM dengan arah gelombang *head seas*.

**Tabel 4.5 N**ilai RAO VLCC 300K DWT *heading* 0°

| Jenis Gerakan | Besaran | | Satuan | Peningkatan (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Stand Alone | Mooring with SPM | | |
| *Surge* | 0.828 | 1.003 | m/m | 21.093 |
| *Sway* | 0.007 | 0.180 | m/m | 2467.143 |
| *Heave* | 0.869 | 1.489 | m/m | 71.312 |
| *Roll* | 0.050 | 0.509 | deg/m | 918.000 |
| *Pitch* | 0.683 | 0.570 | deg/m | -16.545 |
| *Yaw* | 0.003 | 0.089 | deg/m | 2866.667 |

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat perubahan nilai RAO pada saat *stand alone* dan pada saat tertambat SPM. Untuk nilai tertinggi masih pada gerakan *heave*, akan tetapi nilai nilainya pengalami peningkatan dari 0.869 m/m menjadi 1.489 m/m dengan peningkatan sebanyak 71.312%. Tetapi jika dilihat dari besar peningkatannya dialami oleh gerakan *yaw* dengan 2866% dengan nilai RAO dari 0.003 deg/m menjadi 0.089 deg/m. Posisi in line atau *between line* bisa dihiraukan karena arah gelombang selalu kondisi *head sea*, jadi nilai RAO antara posisi *in line* ataupun *between line* akan sama pula.

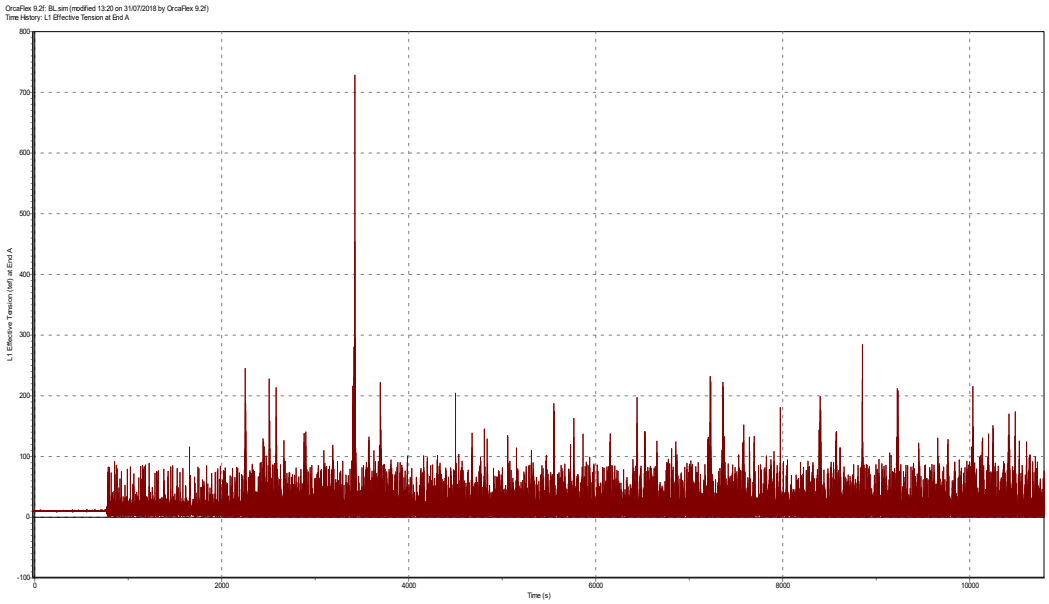
### 4.2.2 Analisis Respon Tegangan

Dalam analisa ini dapat dilihat dari persebaran tension selama simulasi 10800 dtk. Pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.26 salah satu contoh *time history line* 1 dalam posisi *in line* dan *between lin*e dan untuk *line* lainya akan disajikan dalam lampiran.

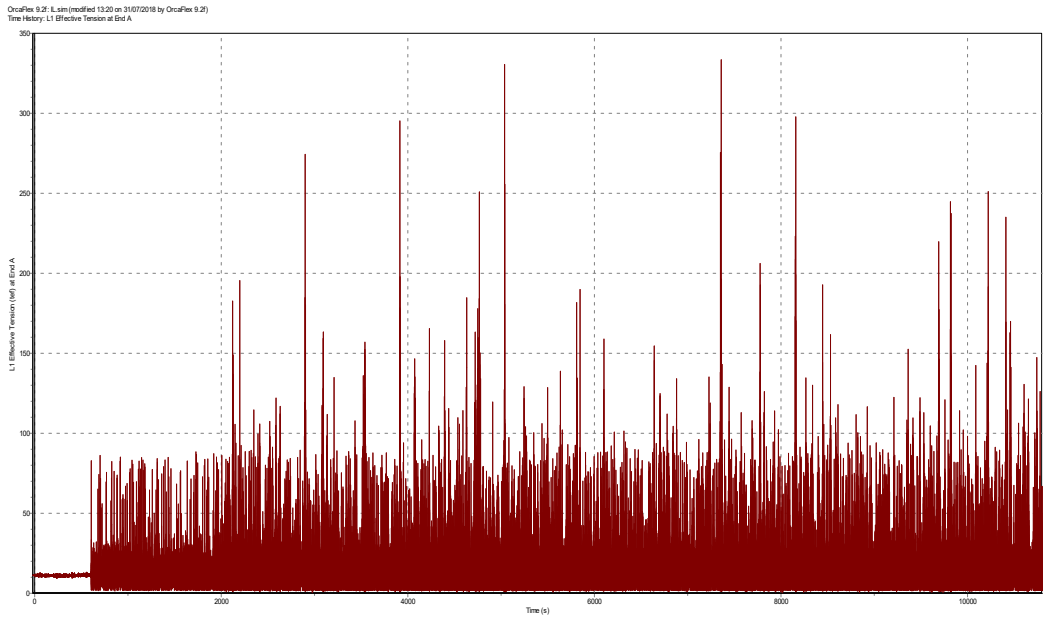
Keterangan Gambar 4.27 dan Gambar 4.26 :

sumbu x = waktu

sumbu y = *tension*




**Gambar 4.26** *Time History* L1 – *In Line*




**Gambar 4.27** *Time History* L1 – *Between Line*

Dari grafik diatas dapat diartikan bahwa *time history tension* yang terjadi pada *mooring* merupakan respon yang terjadi pada mooring pada tiap waktu yang menghasilkan *tension* yang fluktuatif pada tiap waktunya. Untuk penjelasan singkat akan disajikan dalam bentuk Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

**Tabel 4.6** Statistik *tension* L1 – *In Line*

| Variable | Period (s) From | To | Minimum | Time | Maximum | Time | Mean | Standard Deviation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Effective Tension (tef) at End A | -20 | 0 | 10.094 | -2.100 | 10.570 | -0.500 | 10.310 | 0.082 |
| | 0 | 10800 | -0.246 | 4960.200 | 405.931 | 5951.100 | 12.626 | 12.417 |

**Tabel 4.7** Statistik *tension* L1 – *Between Line*

| Variable | Period (s) From | To | Minimum | Time | Maximum | Time | Mean | Standard Deviation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Effective Tension (tef) at End A | -20 | 0 | 10.906 | -2.100 | 11.490 | -0.500 | 11.165 | 0.099 |
| | 0 | 10800 | 0.310 | 8013.600 | 333.470 | 7359.600 | 13.465 | 13.368 |

### 4.2.3 Analisis Tegangan Tali Maksimum

Setelah melakukan analisa struktur SPM dan VLCC dengan *software MOSES*, yang hasilnya digunakan untuk data *input* untuk *software Orcaflex*, akan dilanjutkan dengan analisa statis dan dinamis dari struktur tersebut yang nantinya hasil dari simulasi *software Orcaflex* menjadi respon untuk mendapatkan *effective tension* dari masing-masing *mooring line.*

Pada tahap ini, simulasi *mooring line* akan dibagi menjadi beberapa segmen. Untuk penentuan segmen sendiri berdasarkan *Germanischer Lloyd* dirumuskan bahwa panjang satu segmen adalah 1 *fathom* = 27.5 m. Panjang *mooring line* adalah 365.76 m, sehingga untuk simulasi nantinya, akan dibagi menjadi 14 segmen. Hal ini akan digunakan untuk setiap *line,* dikarenakan setiap *line* mempunyai panjang yang sama.

Setelah itu memasukkan data lingkungan berupa tinggi gelombang, kedalaman perairan, kecepatan angin, kecepatan arus, dan arah pembebanan. Data lingkungan yang digunakan adalah data lingkungan pada saat kondisi operasi. Kemudian memasukkan data respon SPM dan VLCC yangsudah didapat dalam simulasi software MOSES, yakni: RAO, *mean wave drift, hydrodynamic drag, wind drag coefficient, inertia moment, added mass,* dan *damping.*

Simulasi ini memerlukan waktu selama 10800 detik (3 jam) dan mengacu pada *rule* API RP 2SK dan DNV OS 301, sehingga akan didapatkan besar *effective tension* dari masing-masing *line.*

Kemudian untuk mengetahui batas aman atau untuk mendapatkan angka keamanan yang diizinkan pada *mooring line,* dapat mengacu berdasarkan API RP 2SK yang akan disajikan pada Tabel 4.5 dibawah ini.

**Tabel 4.8** *Assestment criteria for all lines*

| *Line Tension Criteria* | *Safety Factor* | *Remarks* |
|---|---|---|
| Line 1<br>Line 2<br>Line 3<br>Line 4<br>Line 5<br>Line 6 | 1.67 | *All lines are cosisting of below properties*:<br>3.75" Dia. *Chain* R3<br>MBL = 707 T |

Sebelumnya perlu dihitung terlebih dahulu berapa nilai *tension* maksimum yang diijinkan olehAPI RP 2SK *2nd edition.* Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\textit{Safety Factor} = \frac{\textit{Minimum Breaking Load}}{\textit{Maximum Tension}}$$

$$1.67 = \frac{707}{\textit{Maximum Tension}}$$

$$\textit{Maximum Tension} = 423.353 \text{ T}$$

Dari perhitungan kriteria tersebut maka dapat disimpulkan bahwa *tension* maksimum tali tambat yang dihasilkan material *chain* tidak boleh melebihi 423.353 T.

Pada saat data telah disimulasikan dengan *software* Orcaflex, selain mendapatkan besar *effective tension* dari masing-masing *line*, kita juga mendapatkan persebaran *tension* di setiap waktu selama disimulasikan. Hasil besaran *tension* selama simulasi akan disajikan dalam lampiran. Berikut ini adalah tabel *tension* maksimum untuk tiap-tiap tali tambat hasil dari simulasi *software* Orcaflex.

**Tabel 4.9** Ringkasan *tension* terbesar tiap tali tambat kondisi *In Line*

| Nomor Tali Tambat | *In Line (T)* | *Safety Factor* | Keterangan |
|---|---|---|---|
| Line 1 | 405.931 | 1.742 | Memenuhi |
| Line 2 | 234.264 | 3.018 | Memenuhi |
| Line 3 | 140.242 | 5.041 | Memenuhi |
| Line 4 | 130.001 | 5.438 | Memenuhi |
| Line 5 | 196.498 | 3.598 | Memenuhi |
| Line 6 | 237.933 | 2.971 | Memenuhi |

**Tabel 4.10** Ringkasan *tension* terbesar tiap tali tambat kondisi Between *Line*

| Nomor Tali Tambat | *Between Line (T)* | *Safety Factor* | Keterangan |
|---|---|---|---|
| Line 1 | 333.470 | 2.120 | Memenuhi |
| Line 2 | 330.017 | 2.142 | Memenuhi |
| Line 3 | 210.439 | 3.360 | Memenuhi |
| Line 4 | 224.230 | 3.153 | Memenuhi |
| Line 5 | 153.428 | 4.608 | Memenuhi |
| Line 6 | 199.907 | 3.537 | Memenuhi |

Hasil dari simulasi Orcaflex menunjukkan bahwa *tension* dari semua *line* telah memenuhi *tension* maksimum yang diijinkan dengan mengamati Tabel 4.6 untuk posisi *In Line* dan Tabel 4.7 untuk posisi *Between Line.* Setelah diamati, maka didapatkan nilai tension terbesar ada pada line 1 di setiap posisi VLCC. Dibawah ini disajikan besar *tension* pada L1 dengan *safety factor* yang sesuai dengan MBL 707 ton.

**Tabel 4.11** *Effective Tension* terbesar berada pada L1

| ***Condition*** | ***Tension*** | ***Safety Factor*** |
|---|---|---|
| *In Line* | 405.931 | 1,742 |
| *Between Line* | 333.470 | 2,120 |

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

# BAB V

# PENUTUP

## 5.1 Kesimpulan

Dari beberapa analisa yang telah dilakukan pada Bab IV dapat ditarik beberapa kesimpulan sekaligus untuk menjawab beberapa permasalahan yang ditetapkan pada Tugas Akhir ini. Beberapa kesimpulan tersebut adalah :

1. Hasil simulasi respon gerak kondisi bebas / *free floating* menunjukkan bahwa untuk struktur SPM yang mengalami respon paling tinggi adalah *roll* dan *pitch*, dengan nilai RAO *roll* sebesar 3,961 deg/m dan nilai *pitch* sebesar 3,694 deg/m. Untuk struktur VLCC, dari 3 arah pembebanan yakni *Head Seas / Following Seas, Beam Seas,* dan *Quatering Seas* didapatkan nilai RAO tertinggi digerakan *Roll* dengan nilai 1,202 deg/m untuk *Head Seas / Following Seas*, 1,896 deg/m untuk *Beam Seas*, 1,243 deg/m dan 1,801 deg/m untuk *Quatering Seas heading* 45°dan 135°.
2. Nilai respon gerak VLCC 300K DWT dalam kondisi tertambat mengalami peningkatan dibanding pada saat VLCC *stand alone* / *free floating*. Nilai RAO pada saat tertambat untuk gerakan *surge* sebesar 1,003 m/m, *sway* sebesar 0,180 m/m, *heave* sebesar 1,489 m/m, *roll* sebesar 0.509 deg/m, *pitch* sebesar 0.570 deg/m, dan *yaw* sebesar 0.089 deg/m. Nilai RAO tertinggi masih pada gerakan *heave* dengan pengingkatan sebesar 71,312%.
3. Hasil tegangan *tension* tiap *line* tersebut dapat simpulkan bahwa *tension* terbesar berada pada L1 dengan nilai 405.931 t pada saat *in line* dan 333.470 t pada saat *between line. Safety factor* untuk L1 adalah 1,742 untuk kondisi *in line* dan 2,121 untuk kondisi *between line*. Nilai *safety factor* tersebut masih memenuhi batas aman nilai minimum *safety factor* sesuai *rule* API RP 2SK (2005).

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dianjurkan untuk memodelkan struktur SPM untuk lebih detail lagi, seperti pemodelan turn table, perpipaan serta *subsea hose* yang ada sehingga

pemodelan akan mendekati kenyataan. Hal ini akan berpengaruh pada perhitungan massa struktur, frekuensi natural serta respon gerak dari struktur tersebut.

2. Dalam menganalisa *tension* yang terjadi dengan kondisi penambahan muatan kapal dari yang disarankan untuk tambat seperti penelitian ini, diperlukan data pembanding dengan menganalisa *tension* terjadi dengan kapal yang semestinya, agar dapat dibandingkan *tension* yang terjadi serta batas aman yang terjadi pula.

3. Dianjurkan untuk melakukan analisa *fatigue life* (FLS) dan keandalan dari tali tambat struktur SPM untuk mendapatkan tingkat keamanan yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan pentingnya peranan sistem tali tambat atau*mooring line* dalam menjaga SPM untuk tetap berada pada posisinya.

# DAFTAR PUSTAKA


API RP 2SK., 1996, "*Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures"*, Washington, DC.

Aryawan, I., 2005, "*Hydrodynamics of Floating Offshore Structures*".Lloyd's Register EMEA – Aberdeen.

Bhattacharyya, R., 1978, "*Dynamic of Marine Vehicles"*.John Willey and SonsInc., New York.

Chakrabarti, S.K., 1987. *"Hydrodynamics of Offshore Structures*", Computational Mechanics Publications Southampton. Boston, USA.

Djatmiko, E.B., 2003,*"Perilaku Bangunan Apung di Atas Gelombang*". Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya

Djatmiko,E.B. dan Murdjito, 2011, "*Operability Assessment of FPSO Mooring System. Surabaya*".Jurusan Teknik Kelautan ITS

DNV OS E301, 2004, "*Position Mooring*", Det Norske Veritas, Norway.

DNV RP C205, 2010, "*Environmental Conditions and Environmental Loads*", Det Norske Veritas , Norway.

Indiyono, P., 2004, "*Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai"*, SIC, Surabaya.

Kwan, C. T. dan F. J. Bruen., 1991, "*Mooring Line Dynamics: Comparison of Time Domain, Frequency Domain, and Quasi-Static Analyses*", Offshore Technology Conference.

Maari, R., 1985,"*Single Point Mooring"*. SBM Inc Publication, Monaco.

Sincock, P dan N. Sondhi. 1993. *"Drag Anchors for Floating Systems"*.Health and Safety Executive. Great Britain.

St. Denis, M. dan Pierson, W. J., 1953, "*On the Motions of Ships in Confused Seas"*, Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, USA

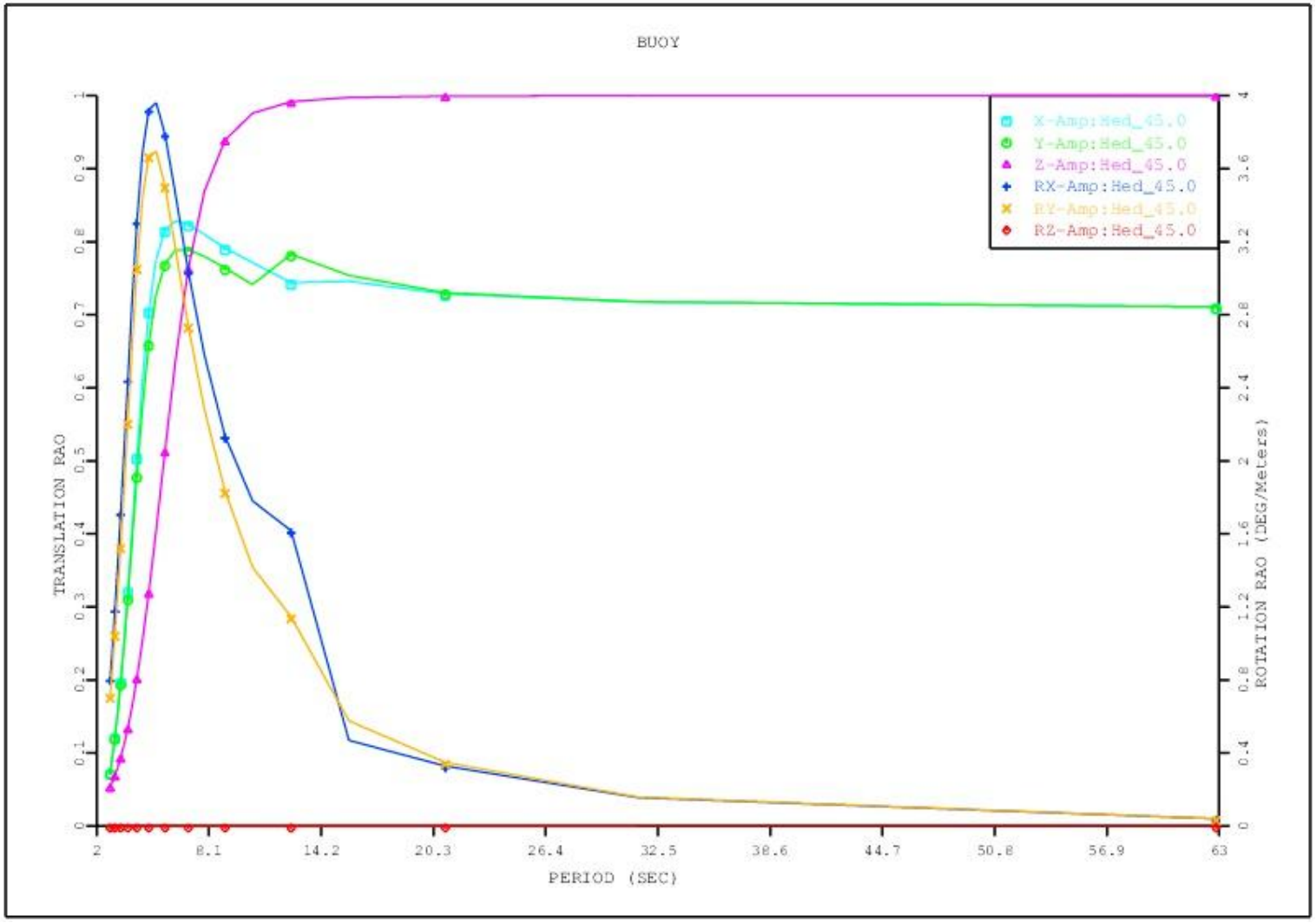
Susanto, D, 2009, "*Analisa Operabilitas FPSO dengan Single Buoy Mooring Berbasis Keandalan"*, ITS, Surabaya

Wisnu, A, 2015, "*Analisa Kekuatan Struktur Single Point Mooring Akibat Beban Kondisi Ekstrim"*, ITS, Surabaya

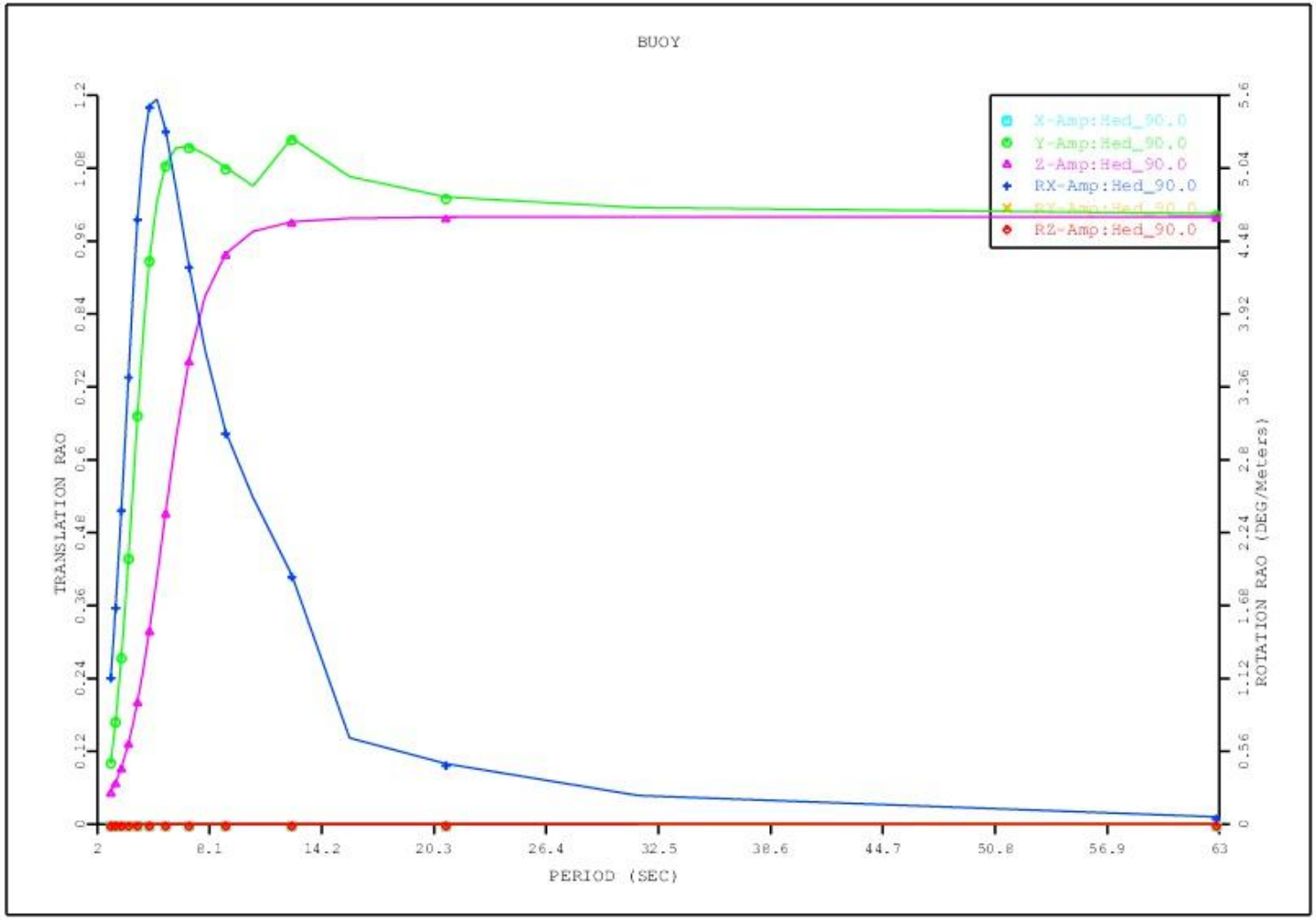
www.marineinsight.com, diakses tanggal 15 Februari 2015.

(*halaman ini sengaja dikosongkan*)

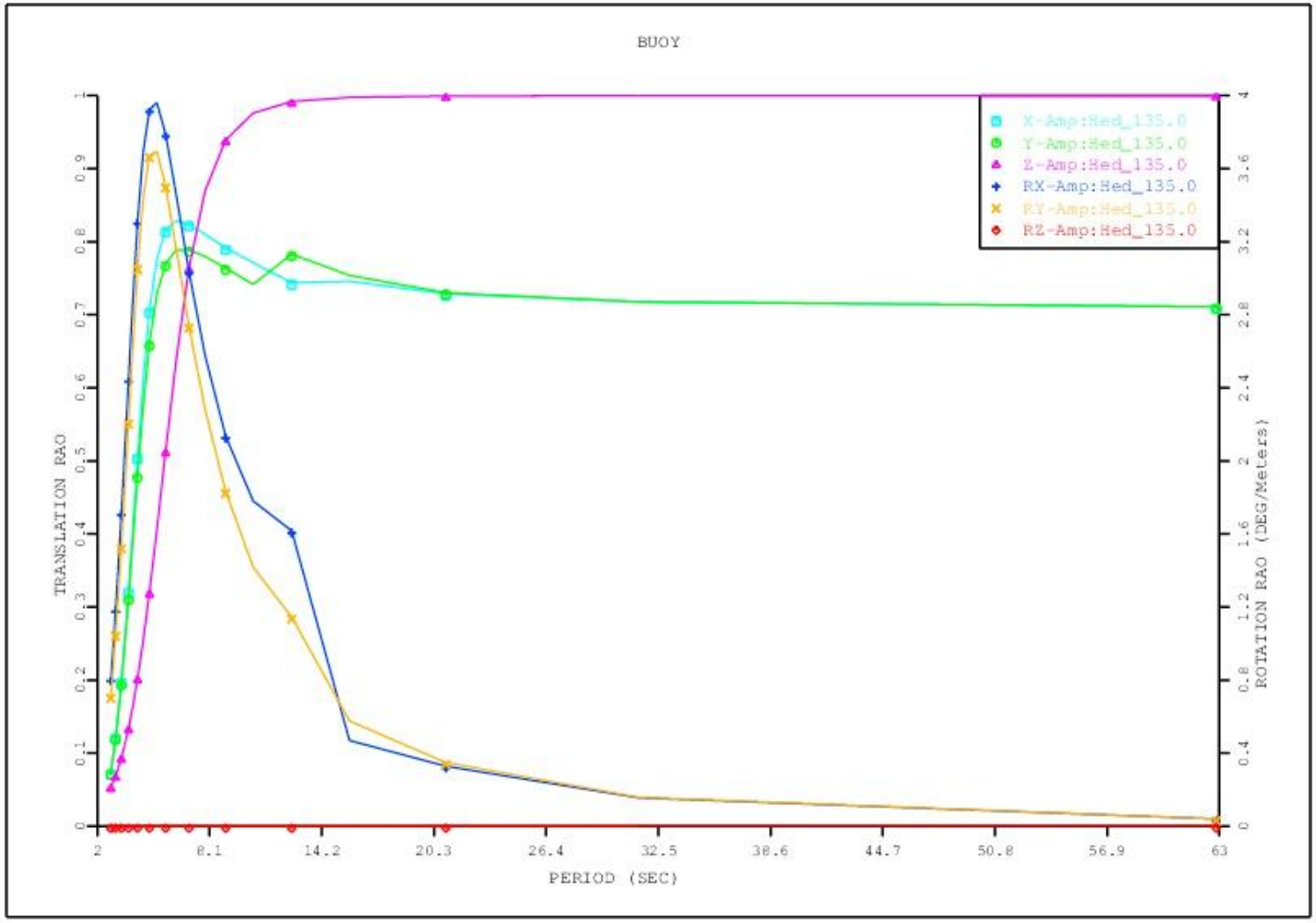
RAO SPM 45º


BUOY
X-Amp:Hed_45.0
Y-Amp:Hed_45.0
Z-Amp:Hed_45.0
RX-Amp:Hed_45.0
RY-Amp:Hed_45.0
RZ-Amp:Hed_45.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0.4
0.8
1.2
1.6
2
2.4
2.8
3.2
3.6
4
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

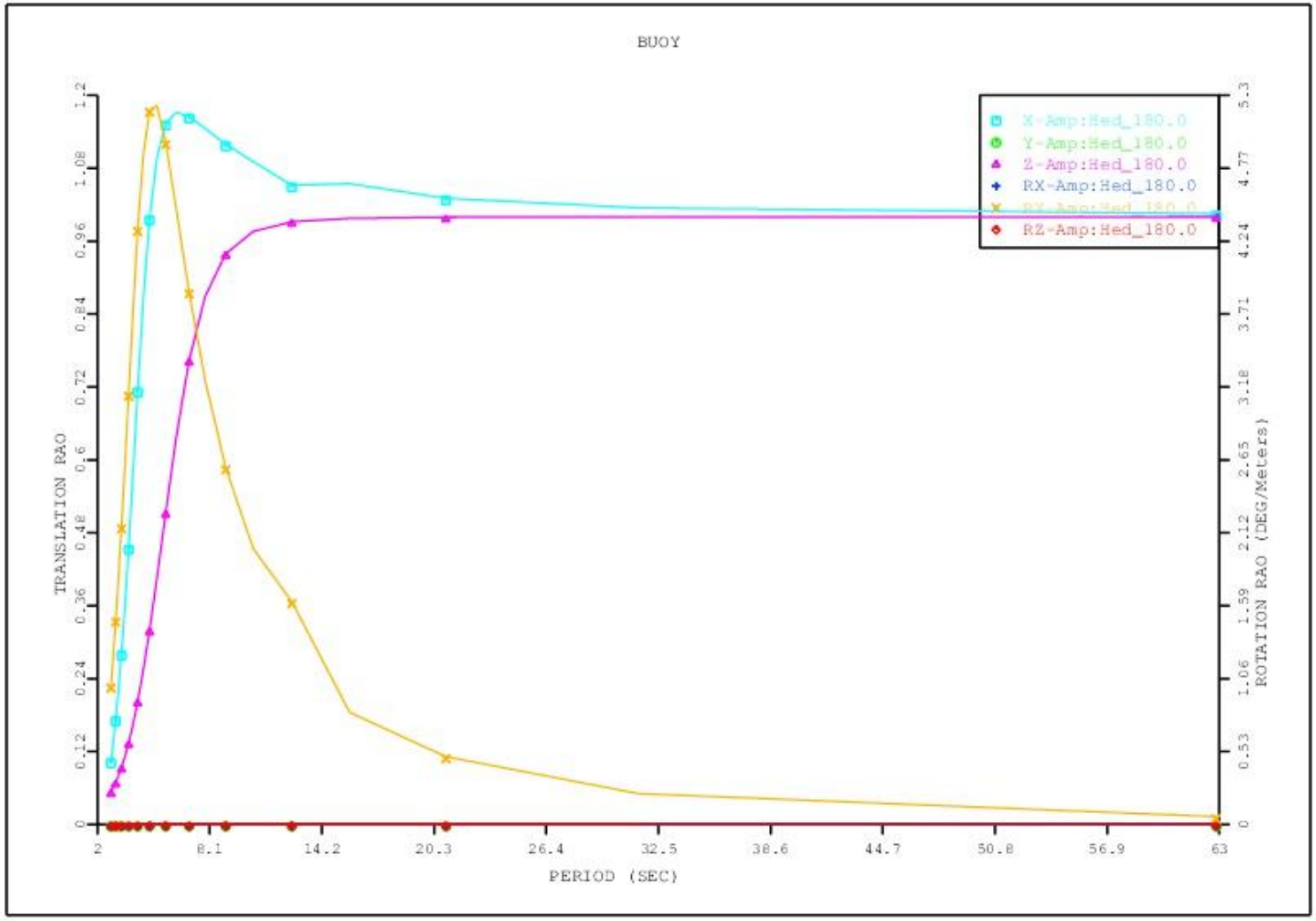
RAO SPM 90º


BUOY
X-Amp:Hed_90.0
Y-Amp:Hed_90.0
Z-Amp:Hed_90.0
RX-Amp:Hed_90.0
RZ-Amp:Hed_90.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
0
0.12
0.24
0.36
0.48
0.6
0.72
0.84
0.96
1.08
1.2
0.56
1.12
1.68
2.24
2.8
3.36
3.92
4.48
5.04
5.6
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

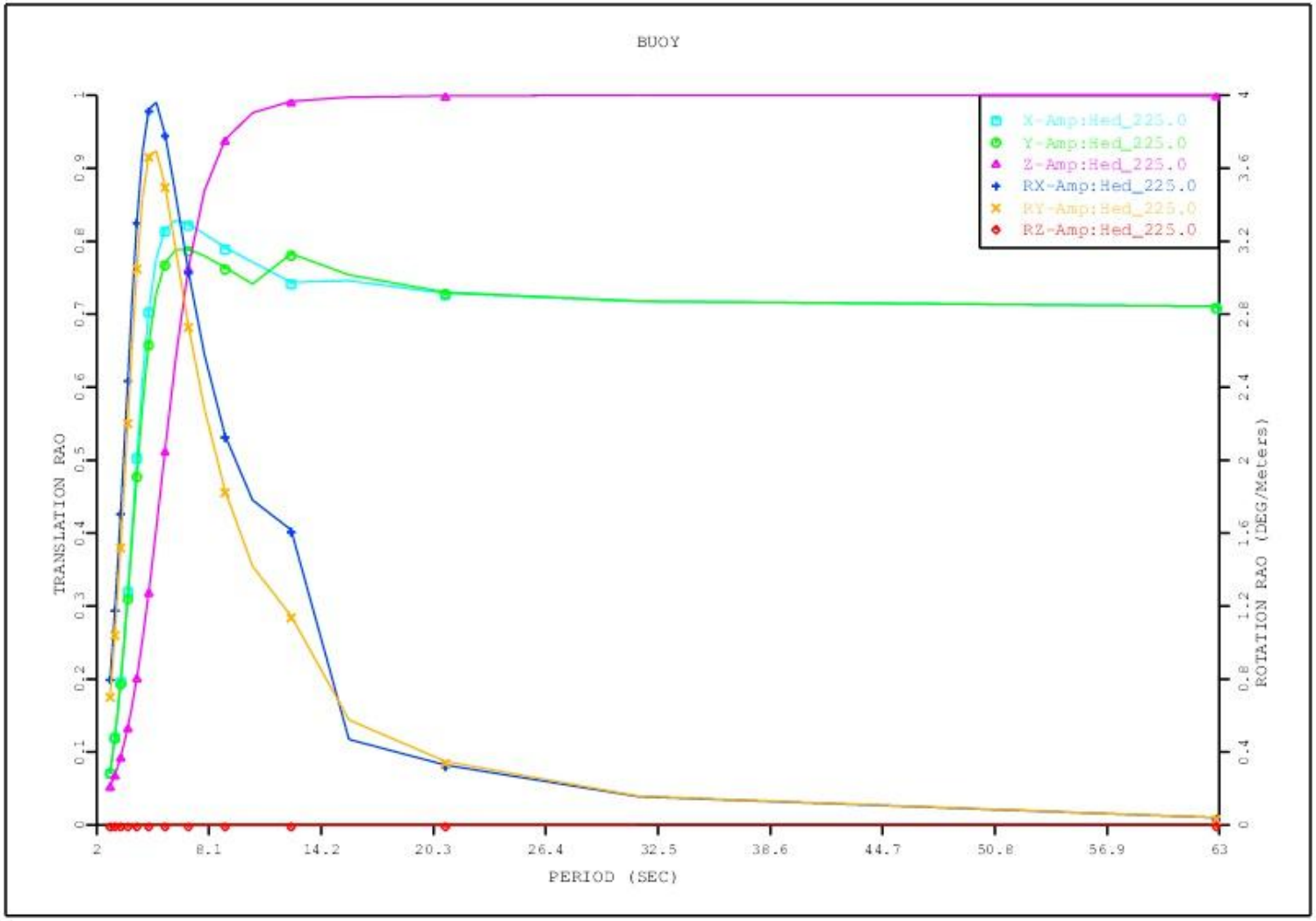
RAO 135º


BUOY
X-Amp:Hed_135.0
Y-Amp:Hed_135.0
Z-Amp:Hed_135.0
RX-Amp:Hed_135.0
RY-Amp:Hed_135.0
RZ-Amp:Hed_135.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0.4
0.8
1.2
1.6
2
2.4
2.8
3.2
3.6
4
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

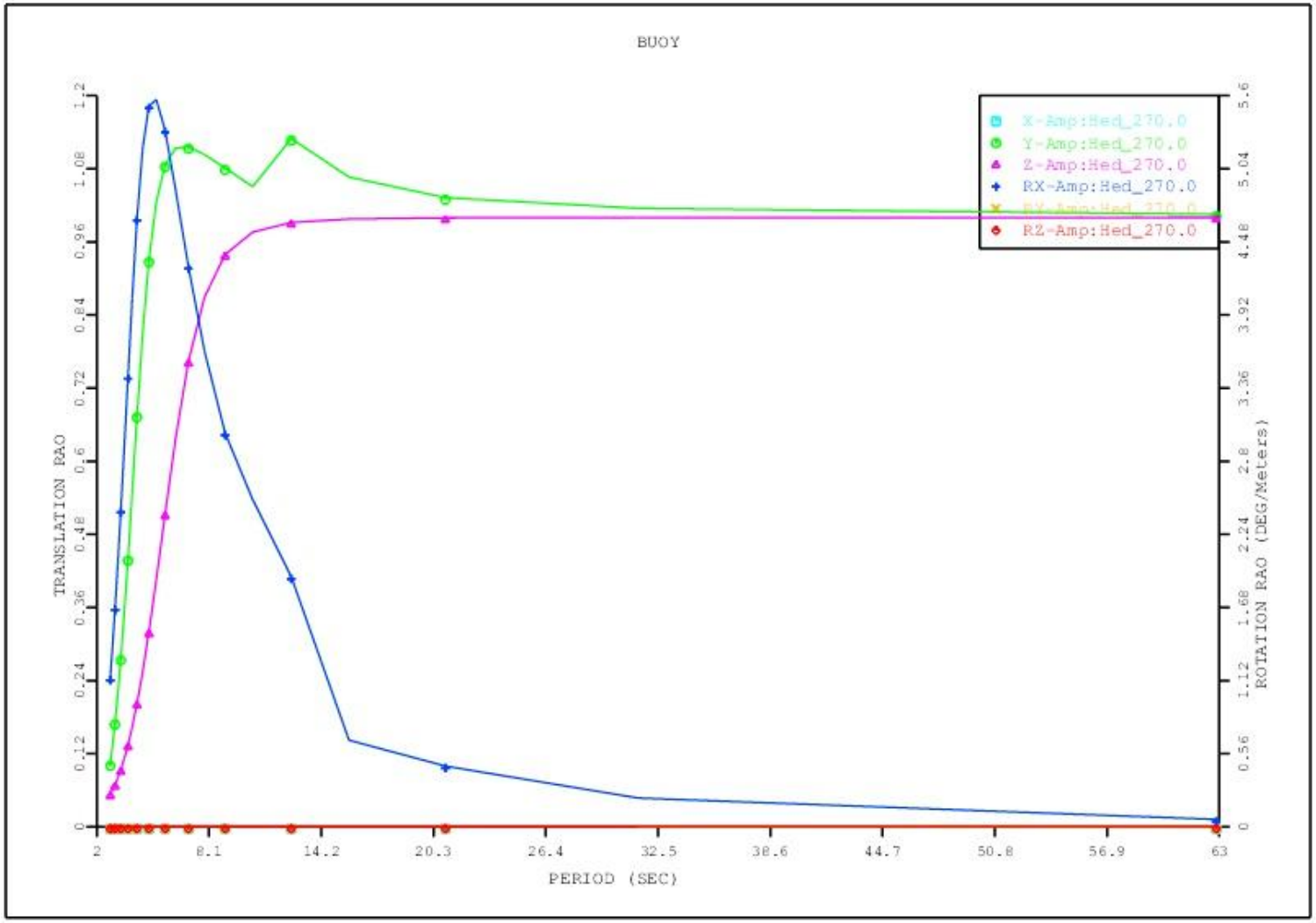
RAO SPM 180º


BUOY
X-Amp:Hed_180.0
Y-Amp:Hed_180.0
Z-Amp:Hed_180.0
RX-Amp:Hed_180.0
RZ-Amp:Hed_180.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
0
0.12
0.24
0.36
0.48
0.6
0.72
0.84
0.96
1.08
1.2
0.53
1.06
1.59
2.12
2.65
3.18
3.71
4.24
4.77
5.3
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

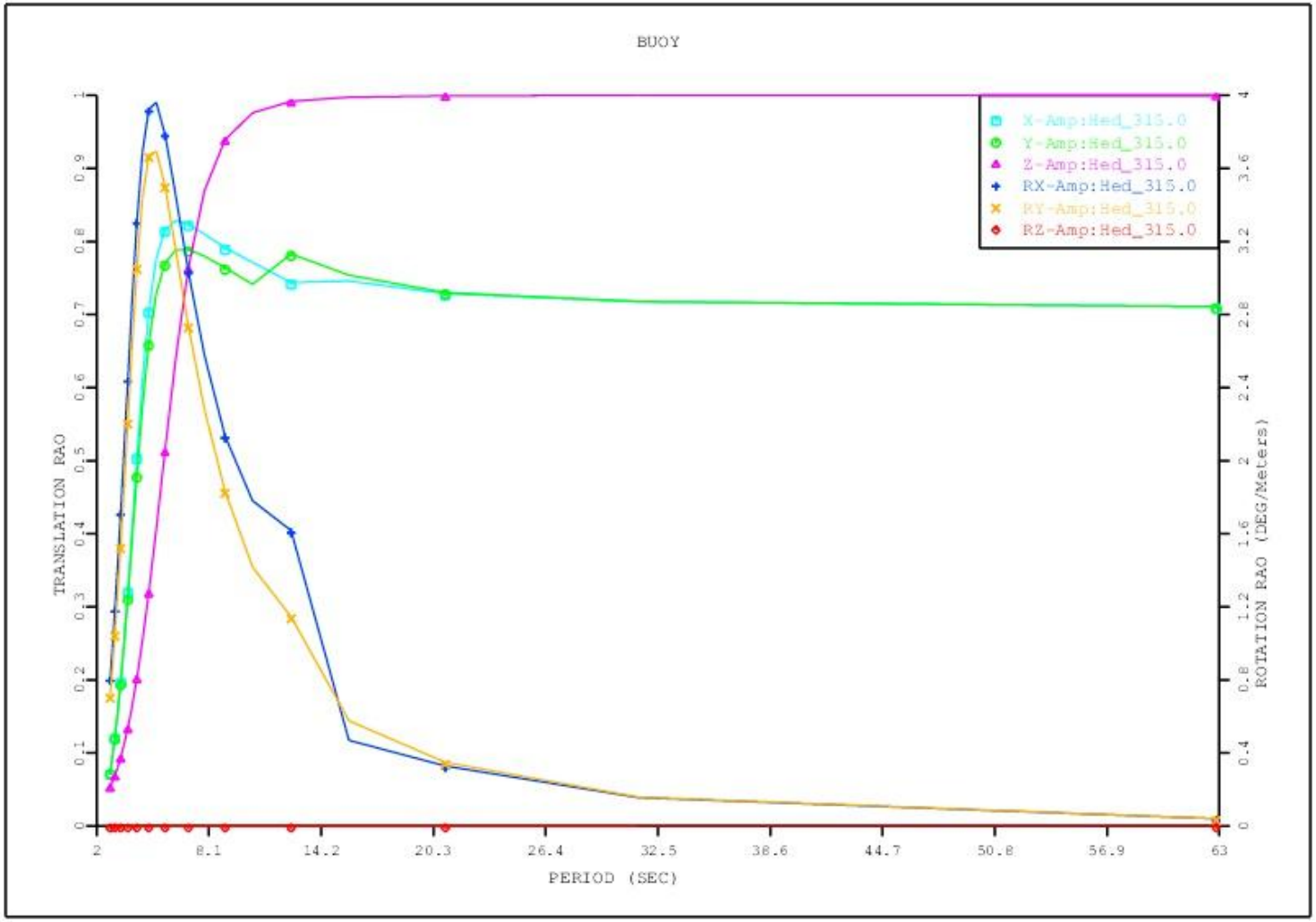
RAO SPM 225º


BUOY
X-Amp:Hed_225.0
Y-Amp:Hed_225.0
Z-Amp:Hed_225.0
RX-Amp:Hed_225.0
RY-Amp:Hed_225.0
RZ-Amp:Hed_225.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

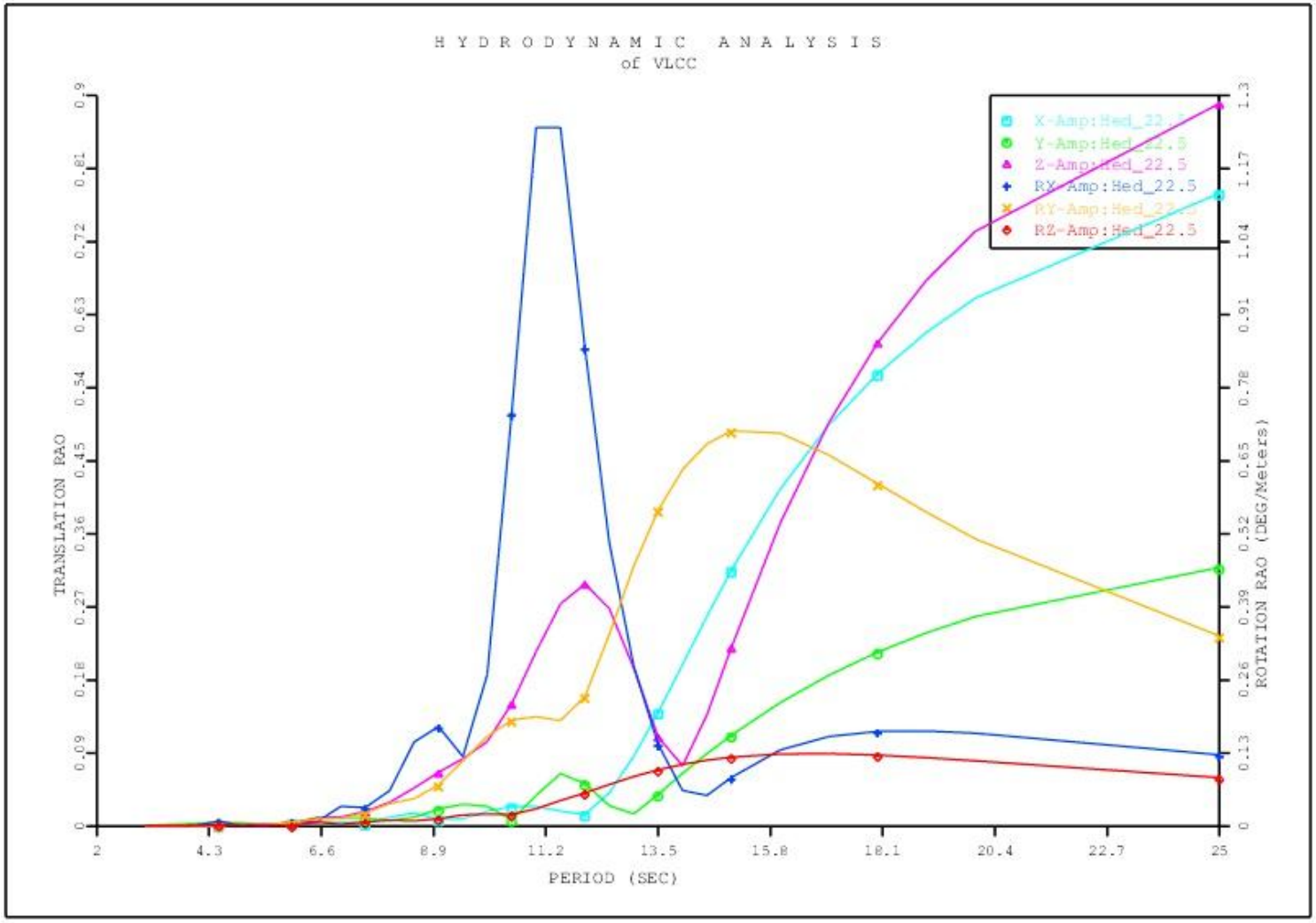
RAO SPM 270º


BUOY
X-Amp:Hed_270.0
Y-Amp:Hed_270.0
Z-Amp:Hed_270.0
RX-Amp:Hed_270.0
RY-Amp:Hed_270.0
RZ-Amp:Hed_270.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
0
0.12
0.24
0.36
0.48
0.6
0.72
0.84
0.96
1.08
1.2
0.56
1.12
1.68
2.24
2.8
3.36
3.92
4.48
5.04
5.6
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

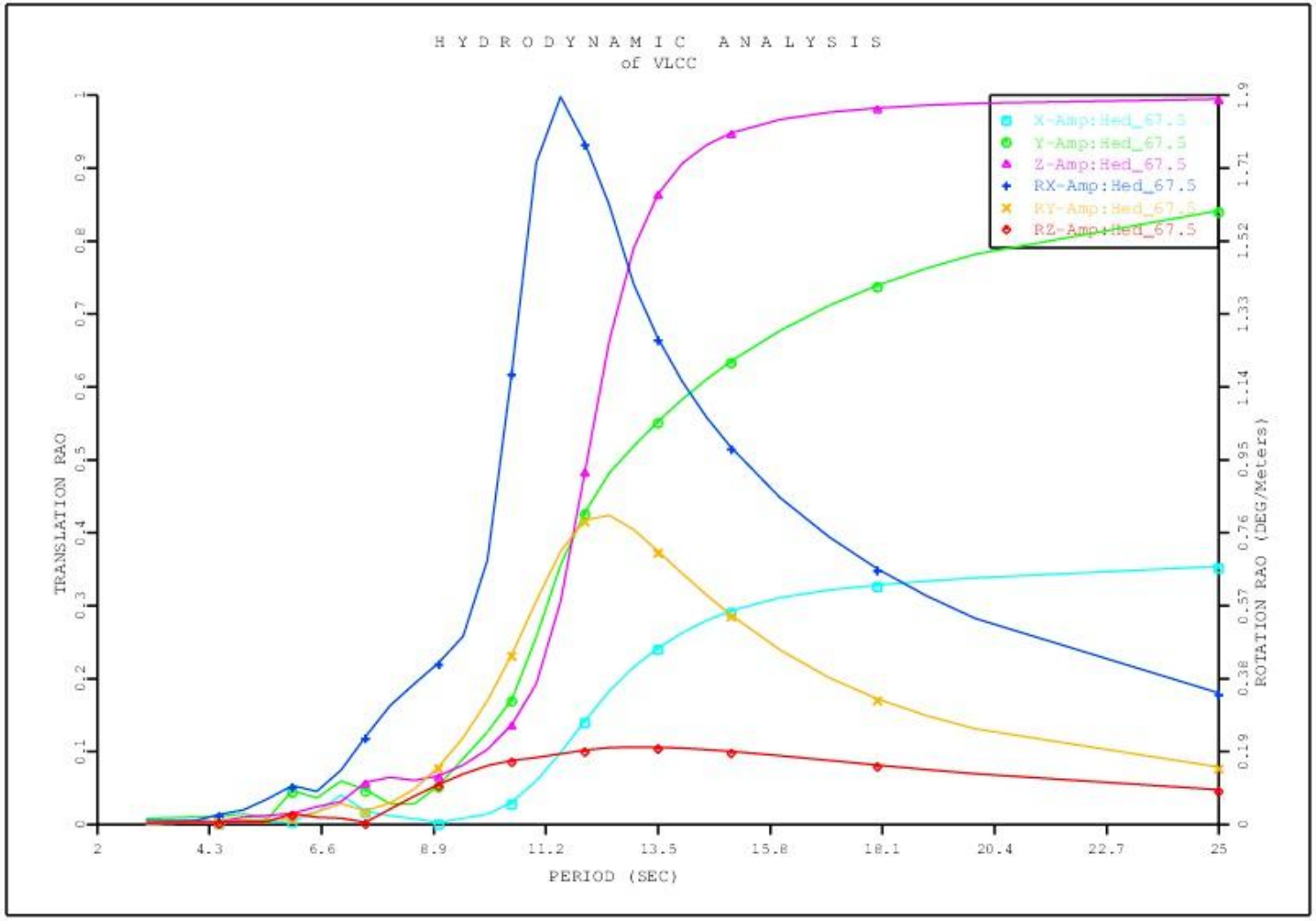
RAO SPM 315º


BUOY
X-Amp:Hed_315.0
Y-Amp:Hed_315.0
Z-Amp:Hed_315.0
RX-Amp:Hed_315.0
RY-Amp:Hed_315.0
RZ-Amp:Hed_315.0
TRANSLATION RAO
ROTATION RAO (DEG/Meters)
PERIOD (SEC)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0.4
0.8
1.2
1.6
2
2.4
2.8
3.2
3.6
4
2
8.1
14.2
20.3
26.4
32.5
38.6
44.7
50.8
56.9
63

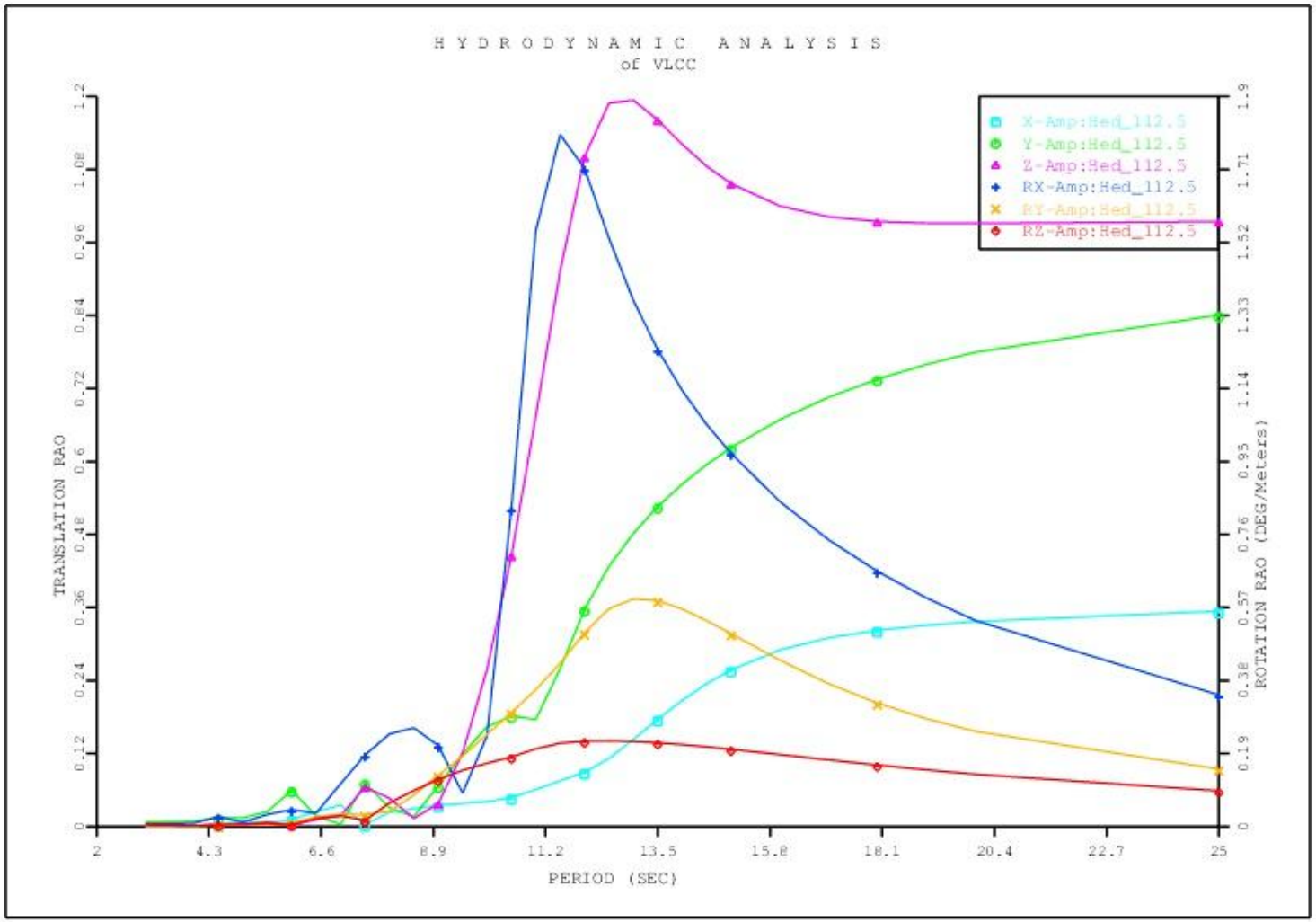
RAO VLCC 22.5º



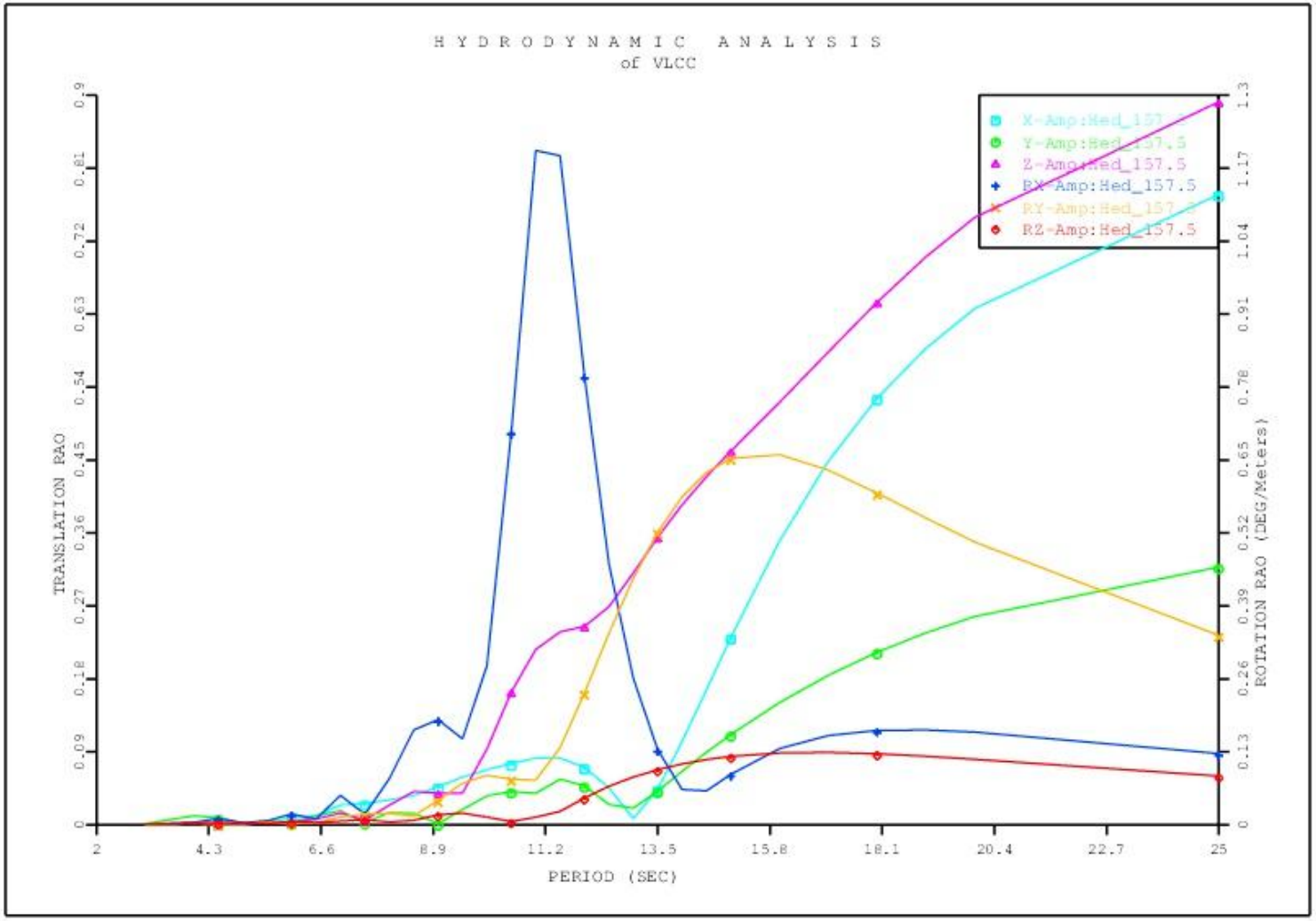
RAO VLCC 67.5º



RAO VLCC 112.5º



RAO VLCC 157.5º



HIDROSTATIS SPM

+++HYDROSTATIC PROPERTIES+++

For Body BUOY

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, KN, and MPA Unless Stated

| /--- Condition ---/ | | | /- Displac-/ | /-- Center Of Buoyancy --/ | | | / W.P. / | /C. Flotation / | | /---- Metacentric Heights ----/ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Draft | Trim | Roll | KN | ---X--- | ---Y--- | ---Z--- | Area | ---X--- | ---Y--- | -KMT- | -KML- | -BMT- | -BML- |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -3.24 | -0.00 | -0.00 | 47.456 | -2.33 | -0.00 | 9999.99 | 9999.99 | 9999.99 | 9999.99 |
| 1.00 | 0.00 | 0.00 | 954.61 | -0.00 | -0.00 | 0.50 | 129.064 | -0.98 | -0.00 | 15.80 | 13.46 | 15.30 | 12.96 |
| 2.00 | 0.00 | 0.00 | 2272.28 | -0.00 | 0.00 | 1.05 | 94.913 | -0.00 | -0.00 | 4.22 | 4.22 | 3.17 | 3.17 |

+++HYDROSTATIC COEFFICIENTS+++

For Body BUOY

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, KN, and MPA Unless Stated

| /--- Condition ---/ | | | Displacement | Wetted Surface | Load To Change Draft 1 MM | /--- For KG = KB ----/ Moment To Change .01 Deg | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Draft | Trim | Roll | ---------- | --------- | ---------- | --- Heel --- | --- Trim --- |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.5 | 0.48 | 0.63 | 0.18 |
| 1.00 | 0.00 | 0.00 | 954.61 | 163.6 | 1.30 | 2.55 | 2.16 |
| 2.00 | 0.00 | 0.00 | 2272.28 | 281.3 | 0.95 | 1.26 | 1.26 |

HIDROSTATIS VLCC

+++HYDROSTATIC PROPERTIES+++

==========

For Body VLCC

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, KN, and MPA Unless Stated

| /--- Condition | | | ---//- Displac-/ | /-- Center Of Buoyancy --/ | | | / W.P. / | /C. Flotation / | / | /---- Metacentric Heights ----/ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Draft | Trim | Roll | KN | ---X--- | ---Y--- | ---Z--- | Area | ---X--- | ---Y--- | -KMT- | -KML- | -BMT- | -BML- |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 69.94 | 75.84 | -0.00 | 11487.398 | 149.25 | 0.00 | 9999.99 | 9999.99 | 9999.99 | 9999.99 |
| 0.50 | 0.00 | 0.00 | 60978.10 | 148.65 | 0.00 | 0.25 | 12546.543 | 148.82 | 0.00 | 437.59 | 9927.29 | 437.34 | 9927.03 |
| 1.00 | 0.00 | 0.00 | 125684.13 | 148.84 | 0.00 | 0.51 | 13155.747 | 149.22 | 0.00 | 235.35 | 5263.03 | 234.84 | 5262.52 |
| 1.50 | 0.00 | 0.00 | 193142.72 | 149.02 | 0.00 | 0.77 | 13666.779 | 149.50 | 0.00 | 167.60 | 3653.64 | 166.83 | 3652.87 |
| 2.00 | 0.00 | 0.00 | 263095.41 | 149.18 | 0.00 | 1.03 | 14149.479 | 149.74 | 0.00 | 134.06 | 2836.96 | 133.03 | 2835.92 |
| 2.50 | 0.00 | 0.00 | 335407.69 | 149.33 | 0.00 | 1.29 | 14587.428 | 149.96 | 0.00 | 113.64 | 2335.87 | 112.35 | 2334.58 |
| 3.00 | 0.00 | 0.00 | 409266.44 | 149.46 | 0.00 | 1.56 | 14754.135 | 150.19 | -0.00 | 95.48 | 1967.24 | 93.92 | 1965.68 |
| 3.50 | 0.00 | 0.00 | 483736.12 | 149.59 | 0.00 | 1.82 | 14861.358 | 150.41 | -0.00 | 82.24 | 1694.16 | 80.42 | 1692.35 |
| 4.00 | 0.00 | 0.00 | 558728.69 | 149.71 | 0.00 | 2.08 | 14962.447 | 150.63 | -0.00 | 72.51 | 1491.35 | 70.43 | 1489.28 |
| 4.50 | 0.00 | 0.00 | 634218.12 | 149.84 | 0.00 | 2.34 | 15059.744 | 150.87 | -0.00 | 65.06 | 1334.99 | 62.73 | 1332.66 |
| 5.00 | 0.00 | 0.00 | 710191.19 | 149.96 | 0.00 | 2.59 | 15153.689 | 151.11 | -0.00 | 59.20 | 1210.81 | 56.60 | 1208.22 |
| 5.50 | 0.00 | 0.00 | 786621.25 | 150.09 | 0.00 | 2.85 | 15239.863 | 151.39 | -0.00 | 54.44 | 1108.95 | 51.58 | 1106.10 |
| 6.00 | 0.00 | 0.00 | 863436.12 | 150.22 | 0.00 | 3.11 | 15309.426 | 151.76 | -0.00 | 50.46 | 1022.13 | 47.35 | 1019.02 |
| 6.50 | 0.00 | 0.00 | 940600.06 | 150.36 | 0.00 | 3.37 | 15378.331 | 152.15 | -0.00 | 47.15 | 949.31 | 43.78 | 945.94 |
| 7.00 | 0.00 | 0.00 | 1018105.69 | 150.51 | 0.00 | 3.62 | 15447.041 | 152.56 | -0.00 | 44.36 | 887.44 | 40.73 | 883.82 |
| 7.50 | 0.00 | 0.00 | 1095960.25 | 150.67 | 0.00 | 3.88 | 15516.567 | 152.99 | 0.00 | 41.98 | 834.46 | 38.10 | 830.58 |
| 8.00 | 0.00 | 0.00 | 1174173.25 | 150.84 | 0.00 | 4.14 | 15588.232 | 153.44 | 0.00 | 39.94 | 788.89 | 35.80 | 784.75 |
| 8.50 | 0.00 | 0.00 | 1252735.38 | 151.02 | 0.00 | 4.40 | 15656.546 | 153.96 | -0.00 | 38.16 | 748.61 | 33.76 | 744.21 |
| 9.00 | 0.00 | 0.00 | 1331649.50 | 151.21 | 0.00 | 4.66 | 15729.855 | 154.54 | -0.00 | 36.62 | 713.84 | 31.96 | 709.18 |
| 9.50 | 0.00 | 0.00 | 1410960.38 | 151.42 | 0.00 | 4.91 | 15812.563 | 155.19 | -0.00 | 35.27 | 684.45 | 30.35 | 679.54 |
| 10.00 | 0.00 | 0.00 | 1490703.25 | 151.64 | 0.00 | 5.17 | 15900.604 | 155.88 | -0.00 | 34.08 | 658.95 | 28.91 | 653.78 |
| 10.50 | 0.00 | 0.00 | 1570886.38 | 151.87 | 0.00 | 5.43 | 15990.258 | 156.57 | -0.00 | 33.03 | 636.21 | 27.60 | 630.78 |
| 11.00 | 0.00 | 0.00 | 1651524.25 | 152.12 | 0.00 | 5.69 | 16080.479 | 157.28 | -0.00 | 32.11 | 615.70 | 26.41 | 610.01 |
| 11.50 | 0.00 | 0.00 | 1732621.50 | 152.38 | 0.00 | 5.95 | 16173.092 | 158.00 | 0.00 | 31.29 | 597.30 | 25.34 | 591.35 |
| 12.00 | 0.00 | 0.00 | 1814197.25 | 152.65 | 0.00 | 6.21 | 16269.990 | 158.75 | 0.00 | 30.57 | 581.03 | 24.36 | 574.82 |
| 12.50 | 0.00 | 0.00 | 1896264.50 | 152.93 | 0.00 | 6.47 | 16369.623 | 159.52 | 0.00 | 29.92 | 566.51 | 23.45 | 560.04 |
| 13.00 | 0.00 | 0.00 | 1978849.75 | 153.22 | 0.00 | 6.74 | 16474.338 | 160.31 | 0.00 | 29.35 | 553.82 | 22.62 | 547.09 |
| 13.50 | 0.00 | 0.00 | 2061965.75 | 153.52 | 0.00 | 7.00 | 16578.756 | 161.15 | 0.00 | 28.84 | 542.13 | 21.85 | 535.14 |
| 14.00 | 0.00 | 0.00 | 2145619.50 | 153.83 | 0.00 | 7.26 | 16690.873 | 161.89 | 0.00 | 28.40 | 532.08 | 21.14 | 524.82 |
| 14.50 | 0.00 | 0.00 | 2229843.25 | 154.15 | 0.00 | 7.53 | 16803.408 | 162.64 | -0.00 | 28.01 | 522.85 | 20.48 | 515.32 |

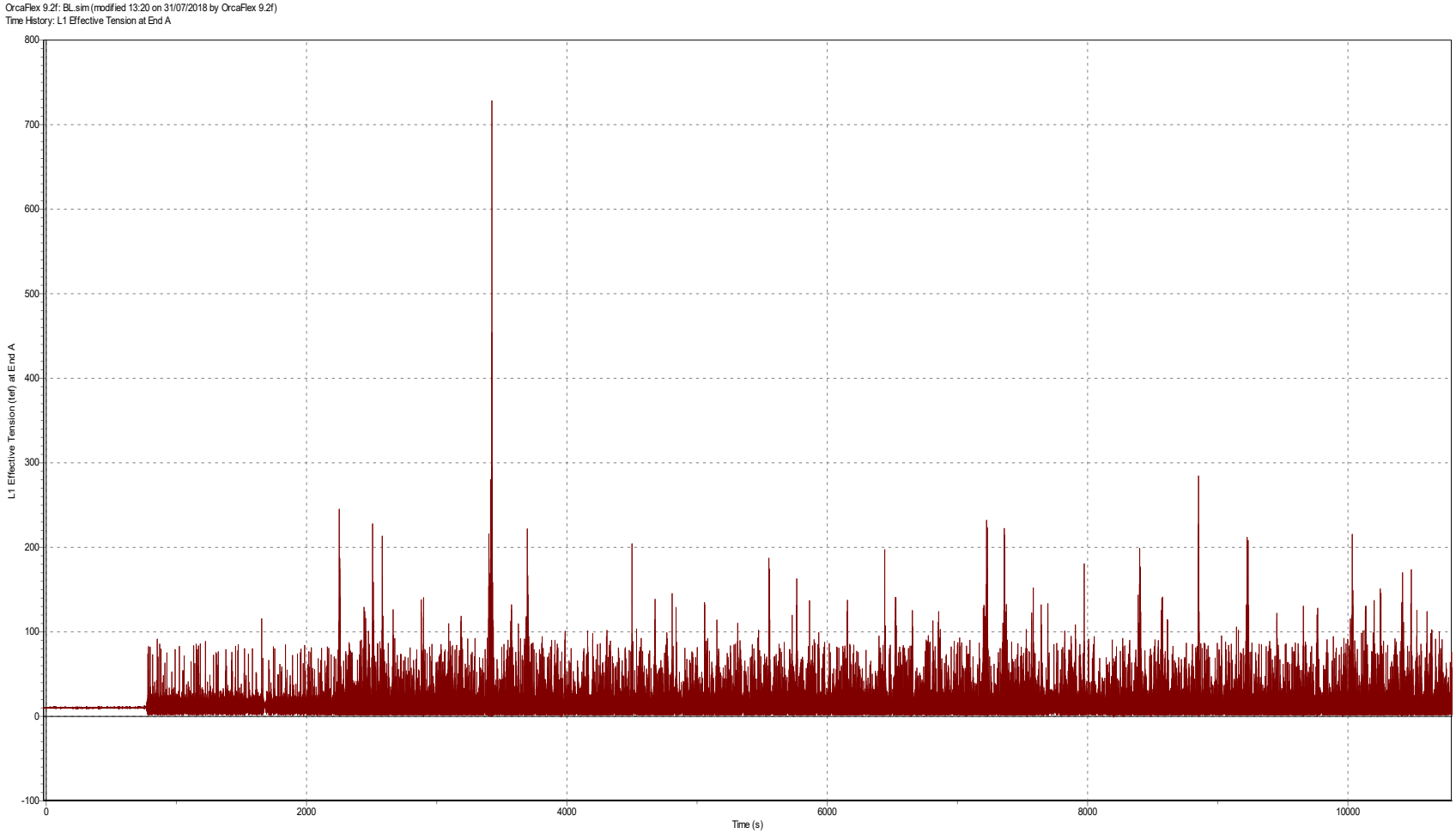
+++HYDROSTATIC COEFFICIENTS+++

For Body VLCC

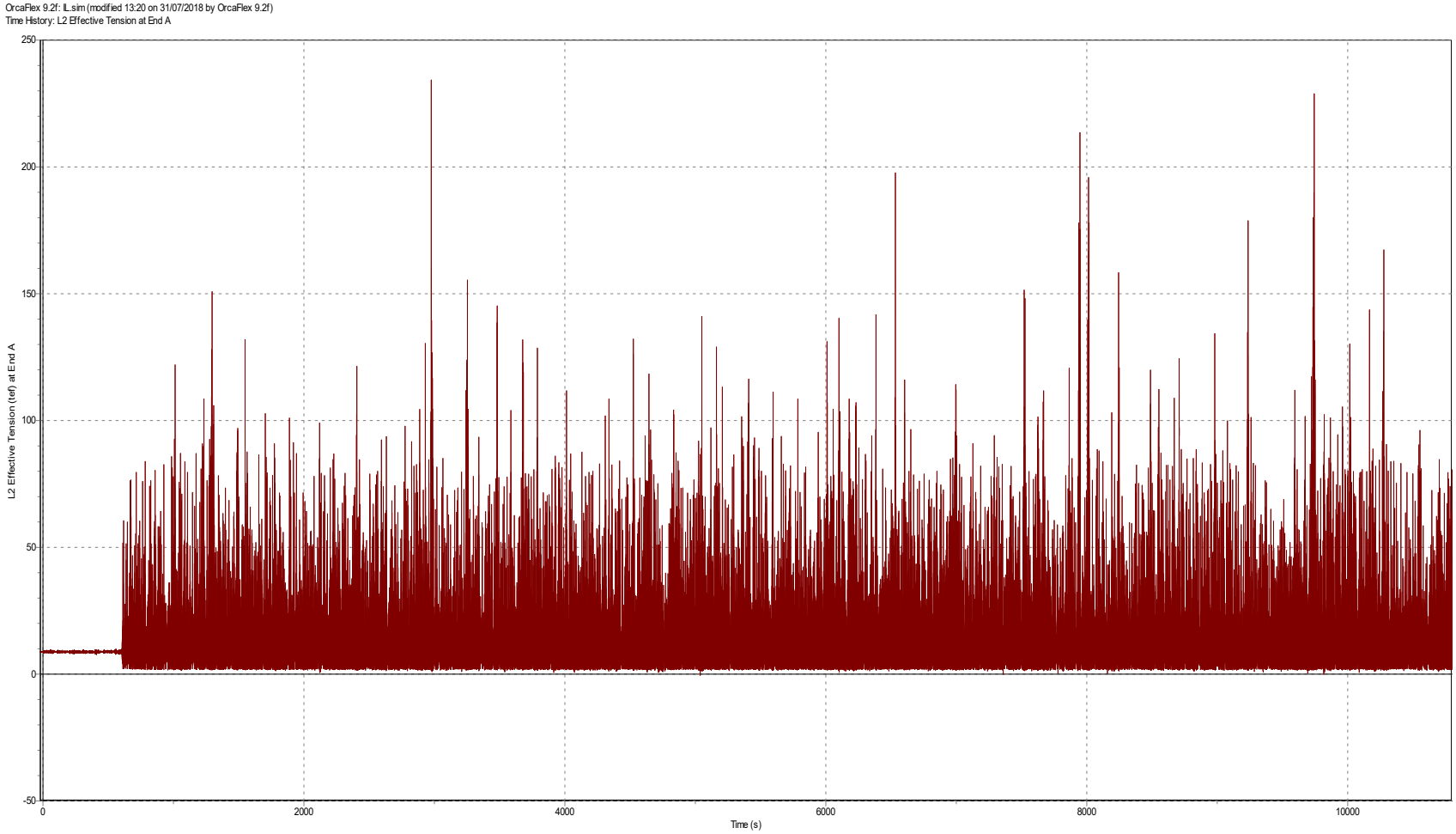
Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, KN, and MPA Unless Stated

| /--- Condition ---/ | | | Displacement | Wetted Surface | Load To Change Draft 1 MM | /--- For KG = KB ----/ Moment To Change .01 Deg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Draft | Trim | Roll | --- Heel --- | | | --- Trim --- |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11487.4 | 115.54 | 3991.74 | 86468.29 |
| 0.50 | 0.00 | 0.00 | 60978.10 | 12621.7 | 126.19 | 4654.43 | 105650.32 |
| 1.00 | 0.00 | 0.00 | 125684.13 | 13322.2 | 132.32 | 5151.40 | 115438.87 |
| 1.50 | 0.00 | 0.00 | 193142.72 | 13934.4 | 137.46 | 5623.73 | 123137.59 |
| 2.00 | 0.00 | 0.00 | 263095.41 | 14524.2 | 142.31 | 6108.69 | 130222.34 |
| 2.50 | 0.00 | 0.00 | 335407.69 | 15084.8 | 146.72 | 6576.89 | 136665.55 |
| 3.00 | 0.00 | 0.00 | 409266.44 | 15490.4 | 148.39 | 6708.69 | 140409.55 |
| 3.50 | 0.00 | 0.00 | 483736.12 | 15860.5 | 149.47 | 6790.01 | 142881.36 |
| 4.00 | 0.00 | 0.00 | 558728.69 | 16229.1 | 150.49 | 6868.01 | 145229.11 |
| 4.50 | 0.00 | 0.00 | 634218.12 | 16597.5 | 151.47 | 6943.58 | 147514.36 |
| 5.00 | 0.00 | 0.00 | 710191.19 | 16965.9 | 152.41 | 7016.14 | 149760.50 |
| 5.50 | 0.00 | 0.00 | 786621.25 | 17333.1 | 153.28 | 7081.95 | 151858.11 |
| 6.00 | 0.00 | 0.00 | 863436.12 | 17695.7 | 153.98 | 7135.16 | 153564.81 |
| 6.50 | 0.00 | 0.00 | 940600.06 | 18058.4 | 154.67 | 7186.97 | 155291.36 |
| 7.00 | 0.00 | 0.00 | 1018105.69 | 18421.7 | 155.36 | 7237.59 | 157047.91 |
| 7.50 | 0.00 | 0.00 | 1095960.25 | 18786.3 | 156.06 | 7287.24 | 158874.17 |
| 8.00 | 0.00 | 0.00 | 1174173.25 | 19152.6 | 156.78 | 7335.89 | 160820.78 |
| 8.50 | 0.00 | 0.00 | 1252735.38 | 19521.1 | 157.47 | 7381.63 | 162717.69 |
| 9.00 | 0.00 | 0.00 | 1331649.50 | 19892.9 | 158.21 | 7427.93 | 164825.70 |
| 9.50 | 0.00 | 0.00 | 1410960.38 | 20270.8 | 159.04 | 7474.22 | 167342.72 |
| 10.00 | 0.00 | 0.00 | 1490703.25 | 20652.0 | 159.92 | 7520.70 | 170097.47 |
| 10.50 | 0.00 | 0.00 | 1570886.38 | 21033.7 | 160.83 | 7567.04 | 172941.59 |
| 11.00 | 0.00 | 0.00 | 1651524.25 | 21416.2 | 161.73 | 7613.72 | 175832.06 |
| 11.50 | 0.00 | 0.00 | 1732621.50 | 21800.1 | 162.66 | 7662.36 | 178823.06 |
| 12.00 | 0.00 | 0.00 | 1814197.25 | 22186.7 | 163.64 | 7711.86 | 182008.06 |
| 12.50 | 0.00 | 0.00 | 1896264.50 | 22575.4 | 164.64 | 7761.36 | 185351.59 |
| 13.00 | 0.00 | 0.00 | 1978849.75 | 22968.5 | 165.69 | 7811.60 | 188950.70 |
| 13.50 | 0.00 | 0.00 | 2061965.75 | 23367.4 | 166.74 | 7862.15 | 192585.34 |
| 14.00 | 0.00 | 0.00 | 2145619.50 | 23760.9 | 167.87 | 7915.94 | 196536.33 |
| 14.50 | 0.00 | 0.00 | 2229843.25 | 24156.4 | 169.00 | 7970.27 | 200554.50 |
| 15.00 | 0.00 | 0.00 | 2314619.75 | 24552.1 | 170.12 | 8024.62 | 204546.91 |

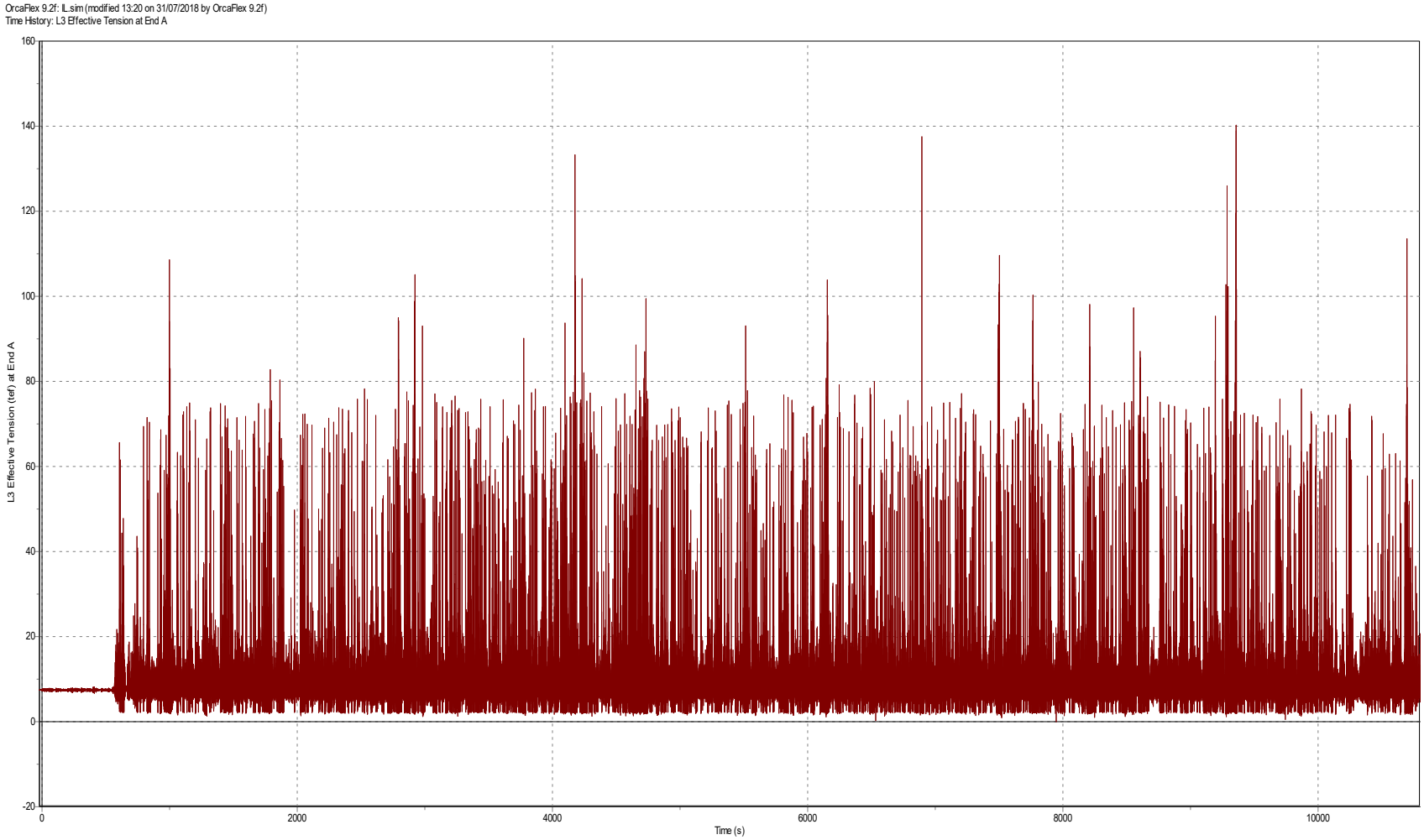
# TIME HISTORY IN LINE – L1



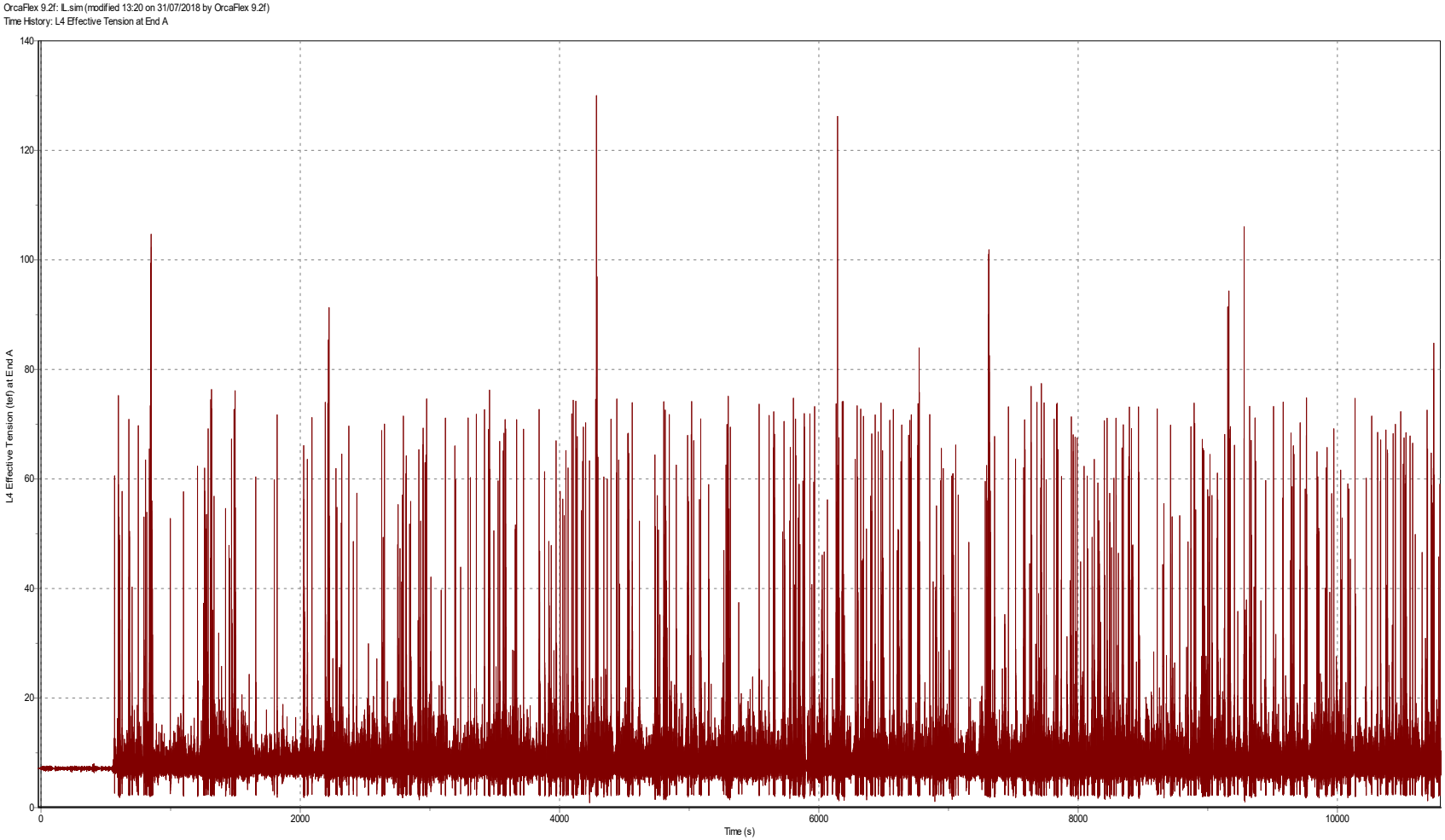
# TIME HISTORY IN LINE – L2



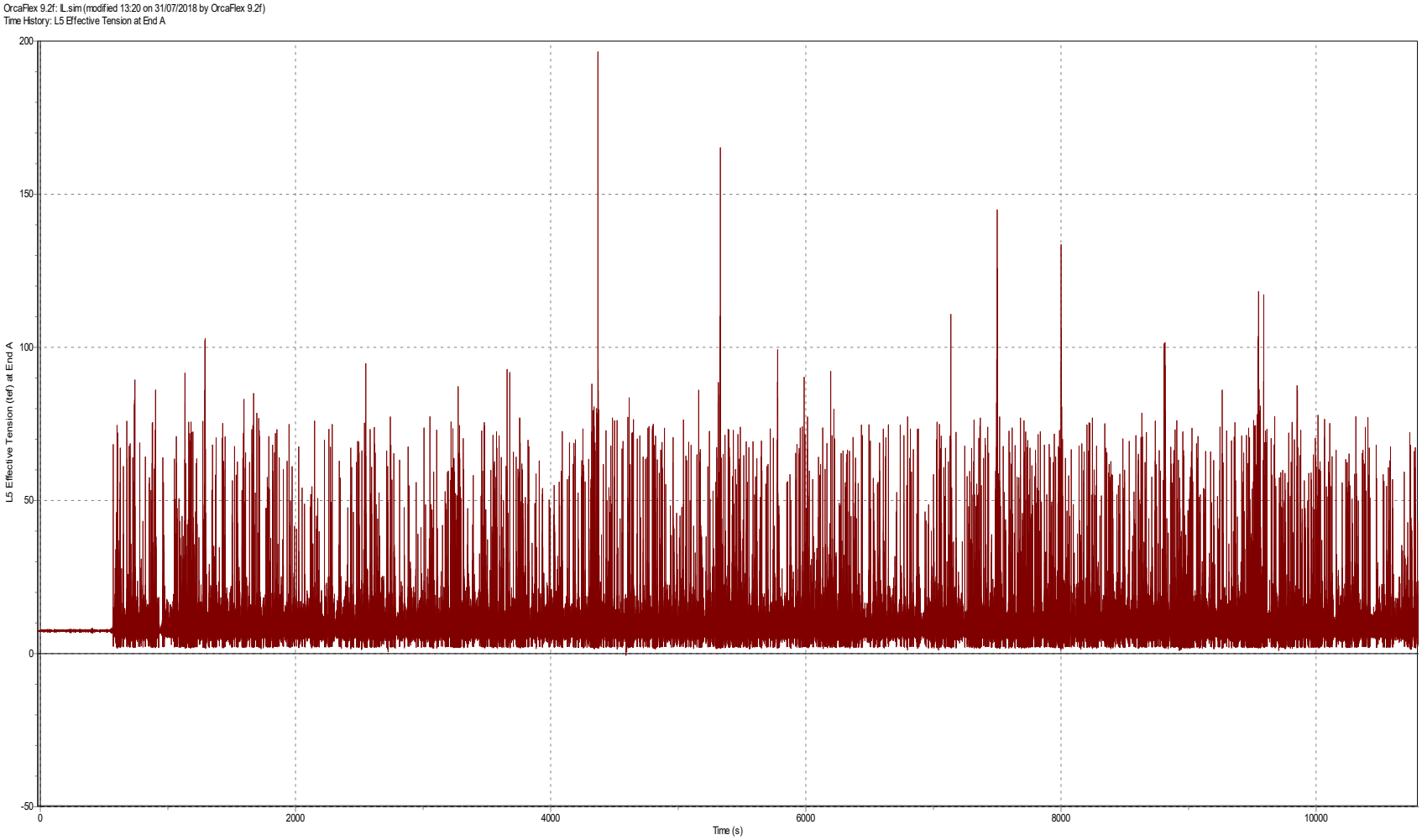
# TIME HISTORY IN LINE – L3



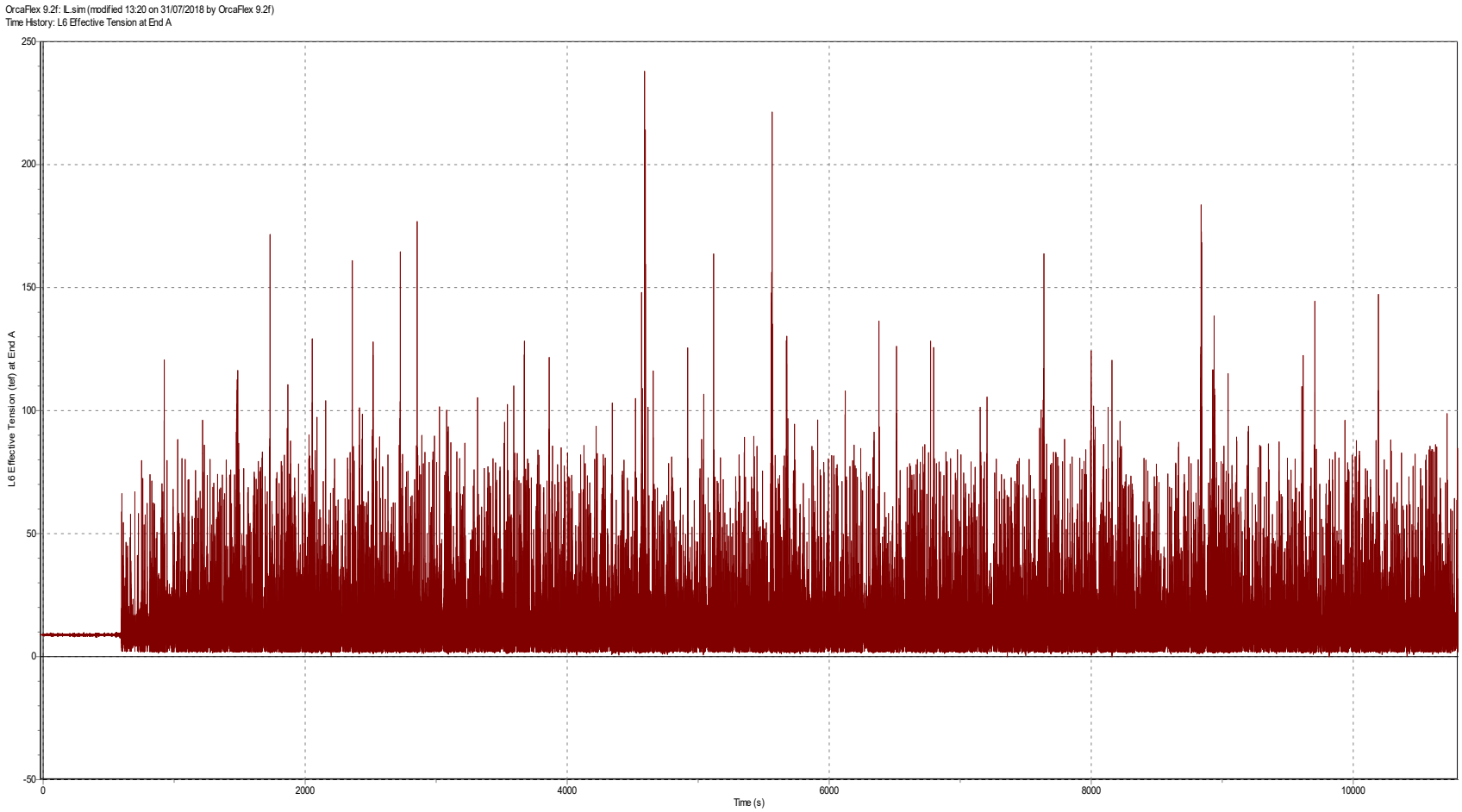
# TIME HISTORY IN LINE – L4



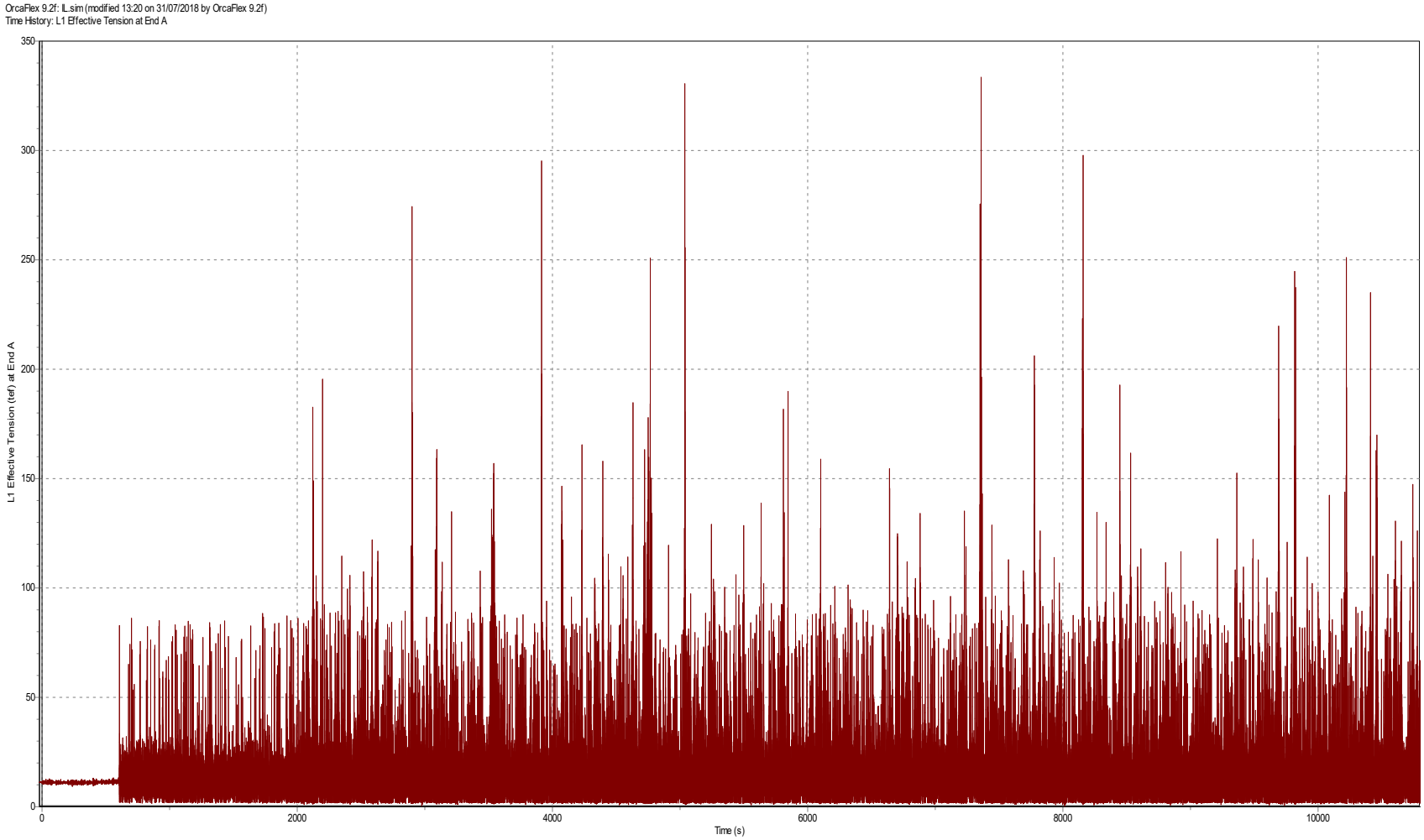
# TIME HISTORY IN LINE – L5



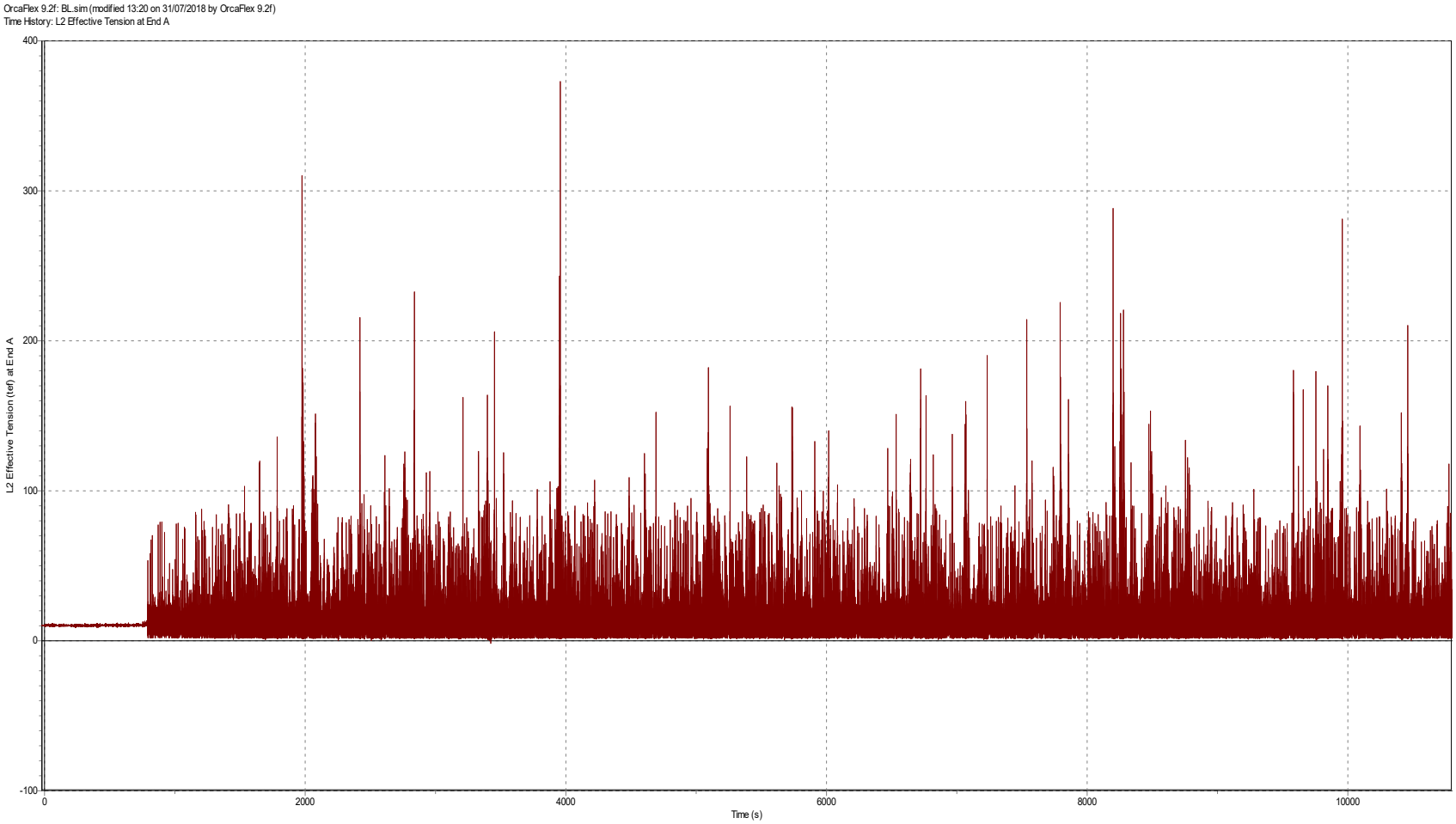
# TIME HISTORY IN LINE – L6



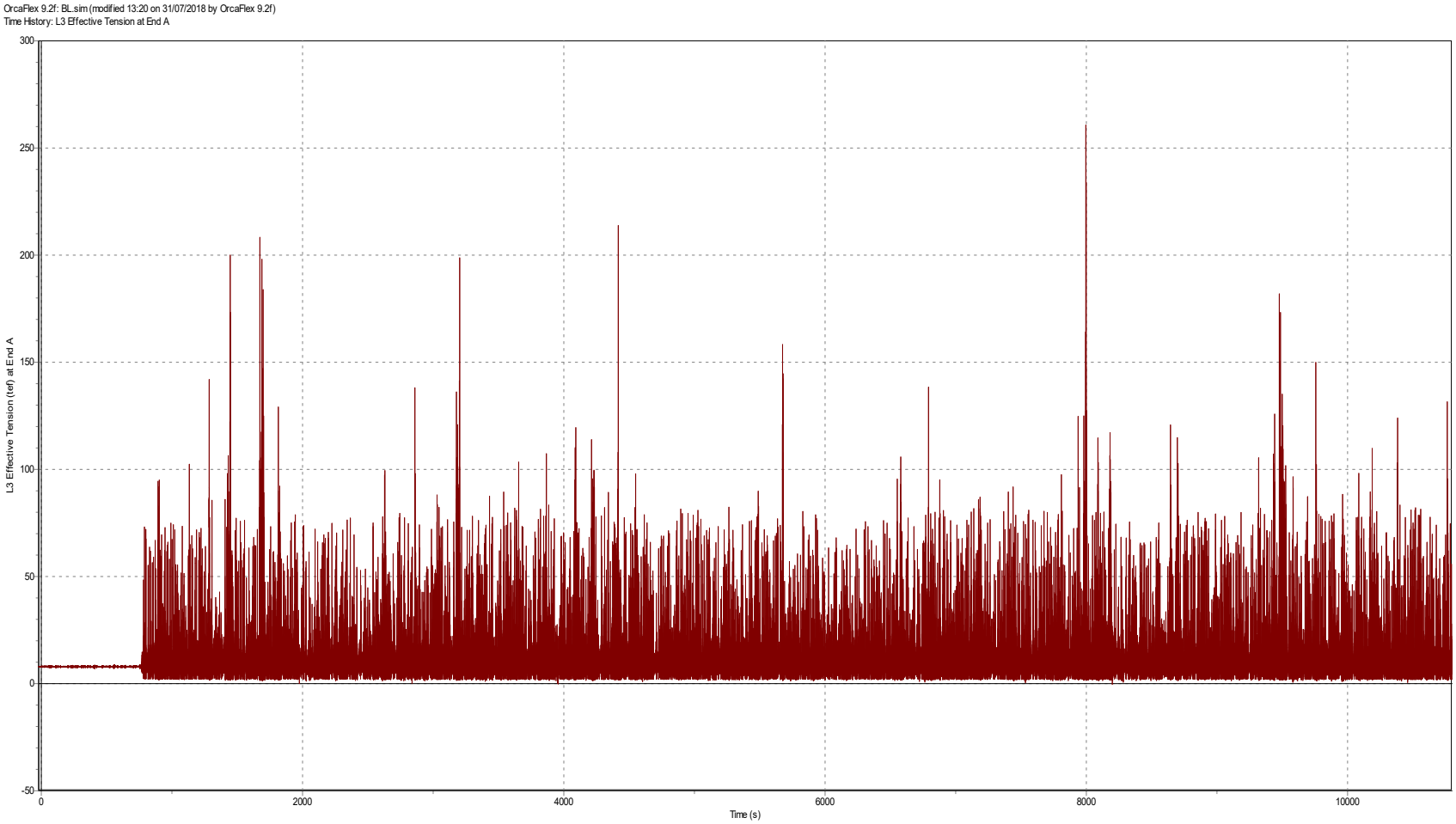
# TIME HISTORY BETWEEN LINE – L1



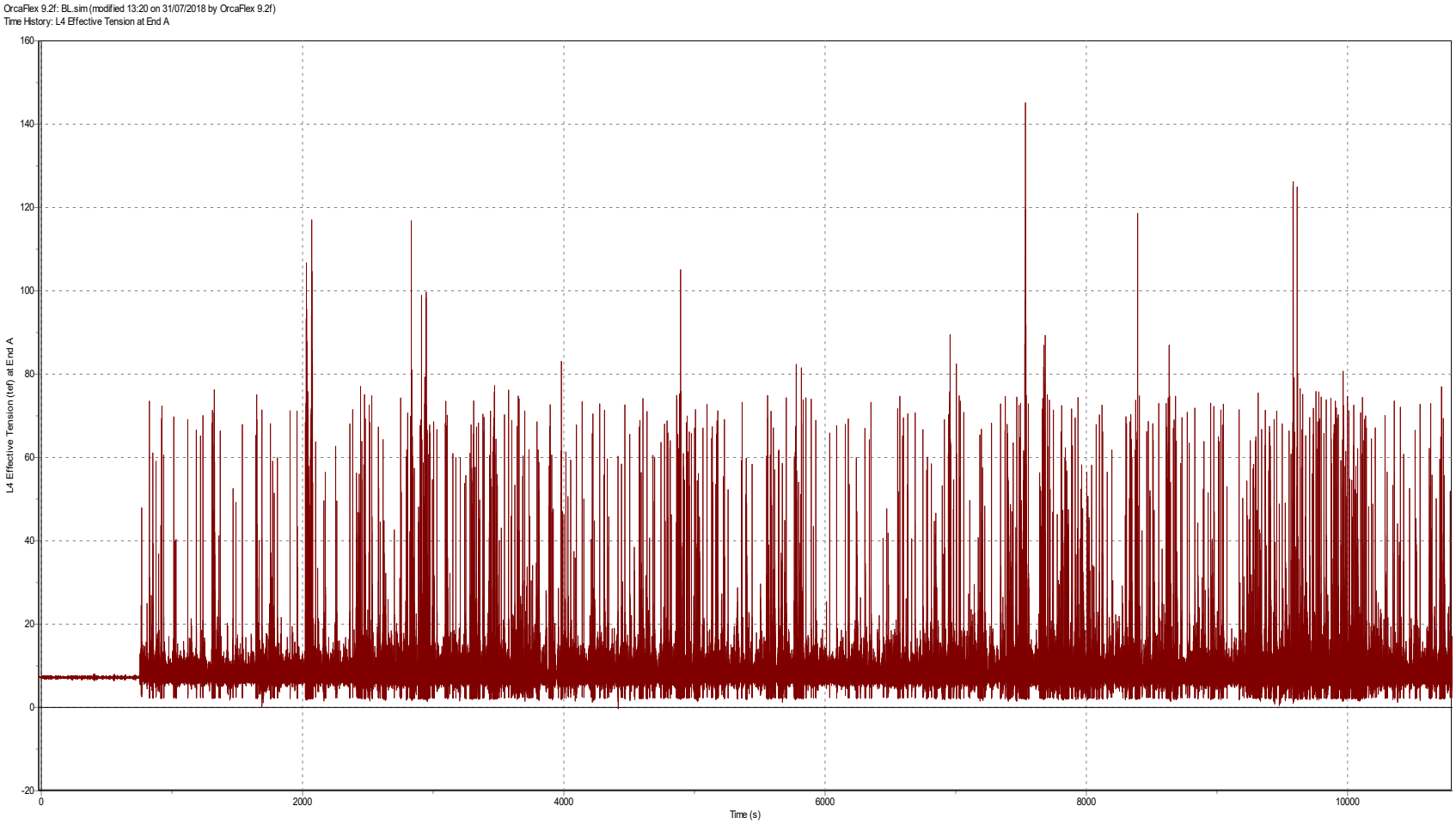
# TIME HISTORY BETWEEN LINE – L2



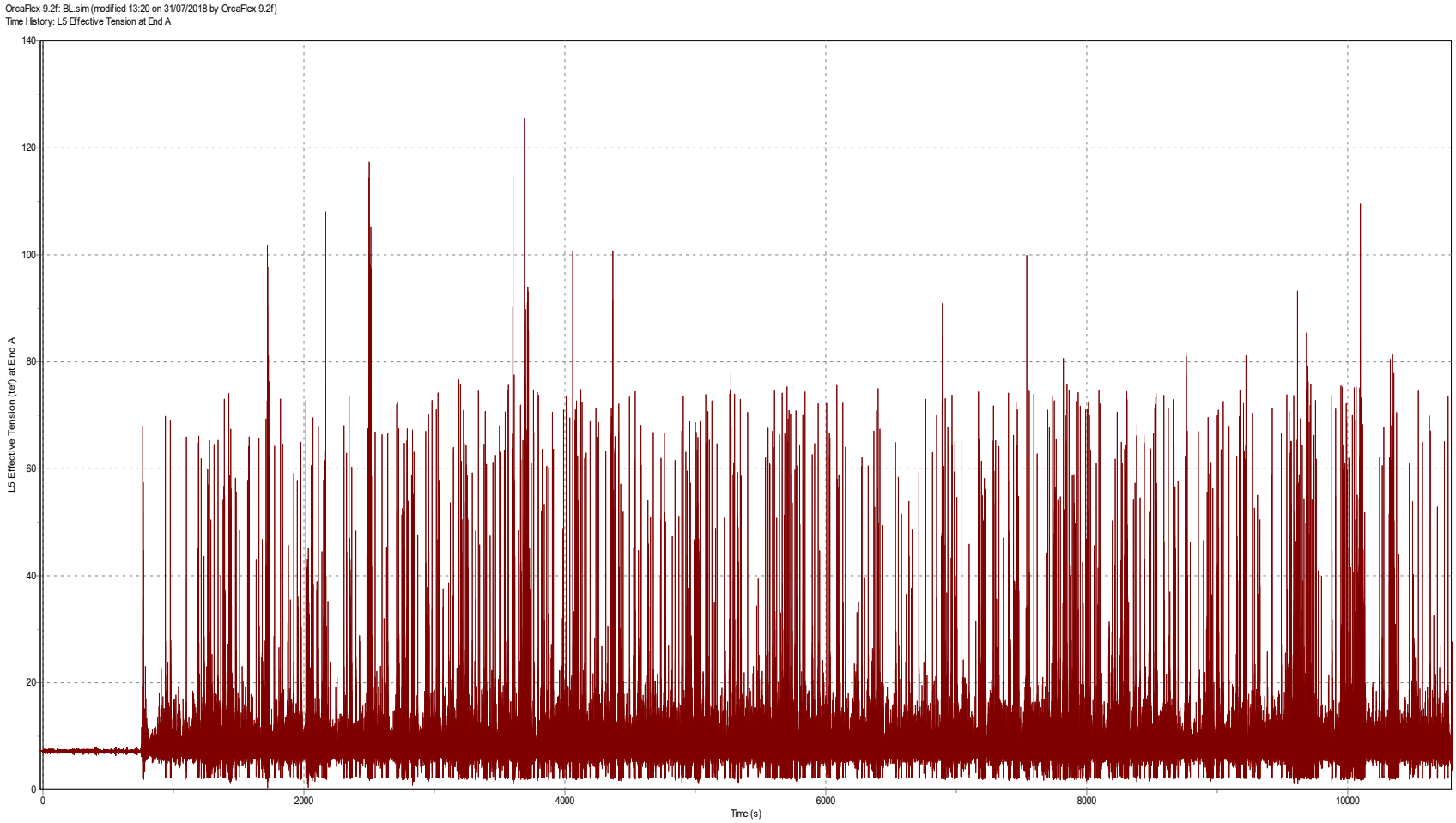
# TIME HISTORY BETWEEN LINE – L3



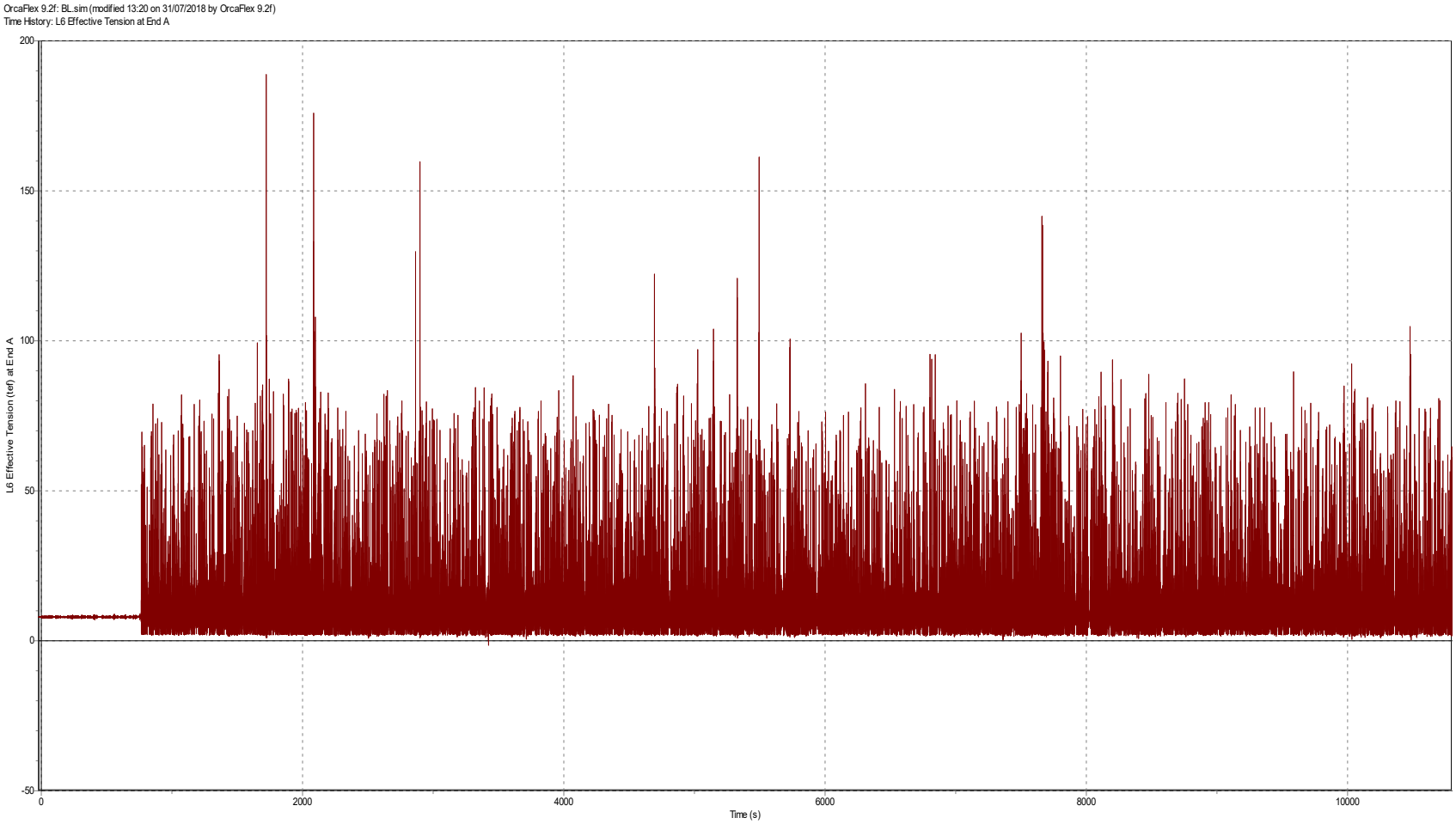
# TIME HISTORY BETWEEN LINE – L4



# TIME HISTORY BETWEEN LINE – L5



# TIME HISTORY BETWEEN LINE – L6



# BIODATA PENULIS

Bin Hariyanto lahir di Madiun, 21 Maret 1992. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDK St. Bernardus Madiun pada tahun 2004 dan SMPK St. Bernardus Madiun pada tahun 2007. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 6 Madiun pada tahun 2010. Setelah lulus jenjang Pendidikan Menengah Atas, penulis melanjutkan pendidikan Perguruan Tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada program studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan.

Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan, juga dalam berbagai pelatihan, seminar dan kegiatan lainnya. Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis pernah menjadi staf Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS periode 2011-2012 dan menjadi Staf Ahli Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS periode 2012-2013. Penulis pernah berkesempatan untuk menjalankan Kerja Praktik selama 2 bulan di 2 tempat yaitu di PT. Pertamina Jakarta dan di PT. Meratus Line Surabaya. Dari kerja praktik tersebut, penulis tertarik dengan bidang hidrodinamika dan ingin mendalaminya. Penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan mengambil bidang keahlian Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai. Judul Tugas Akhir penulis berjudul "Analisis Tegangan *Mooring Line* Pada *Single Buoy Mooring* Cilacap".