



TUGAS AKHIR – MO.141326

**STUDI KEANDALAN EKSTERNAL TURRET *MOORING*  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KONFIGURASI *MOORING*  
*LINE* SECARA *GROUPING* MAUPUN *UNGROUPING***

RIZAL AZIZ PERDANA

NRP. 4312100060

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, PH.D., MRINA

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – MO.141326

**EXTERNAL TURRET MOORING REALIBILITY  
ANALYSIS WITH GROUPING AND UNGROUPING  
CONFIGURATION OF MOORING LINE**

RIZAL AZIZ PERDANA

NRP. 4312100060

Supervisors :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, PH.D., MRINA

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Marine Technology Faculty

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**STUDI KEANDALAN EKSTERNAL TURRET *MOORING*  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KONFIGURASI  
*MOORING LINE* SECARA *GROUPING* MAUPUN  
*UNGROUPING***

**LEMBAR PEGESAHAN**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZAL AZIZ PERDANA**

NRP. 4312 100 060

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, PH.D.; MRJNA (Pembimbing 1)  
.....
2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)  
.....
4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc (Penguji 1)  
.....
5. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Penguji 2)  
.....

**SURABAYA, JULI 2016**

**STUDI KEANDALAN EKSTERNAL TURRET *MOORING*  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KONFIGURASI  
*MOORING LINE* SECARA *GROUPING* MAUPUN  
*UNGROUPING***

**Nama Mahasiswa** : Rizal Aziz Perdana  
**NRP** : 4312 100 060  
**Jurusan** : Teknik Kelautan FTK – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

**Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc**

**ABSTRAK**

FLNG (*Floating Liquefied Natural Gas*) merupakan hasil perkembangan teknologi bangunan apung yang berfungsi sebagai terminal minyak dan gas alam sebelum disalurkan ke darat. Pada penelitian kali ini telah dilakukan studi perbandingan perilaku gerak FLNG ketika ditambah menggunakan *mooring line* secara *grouping* maupun *ungrouping*. Dengan FLNG memiliki *displacement* sebesar 420.000 Ton, yang telah dianalisa pada perairan berkedalaman 600 m terhadap MSL (*Mean Sea Level*). Untuk konfigurasi *mooring line* secara *grouping* maupun *ungrouping* memiliki radius yang sama yaitu 1290 m dan jenis chain yang sama, yang membedakan adalah posisi dari anchor. Analisa perbandingan yang dilakukan pada penelitian kali ini meliputi *offset* FLNG, *mooring line* tension, dan keandalan dari setiap *mooring line*. Dari hasil permodelan yang dilakukan, didapatkan *offset* maksimum untuk konfigurasi *grouping* untuk gerakan x (surge) sebesar 19,76 m dan untuk konfigurasi *ungrouping* sebesar 18,06 m. Selanjutnya didapatkan besar tension untuk masing-masing konfigurasi. Untuk konfigurasi *grouping* mempunyai tension sebesar 4088 kN sedangkan untuk konfigurasi *ungrouping* sebesar 3791 kN. Selanjutnya dilakukan pendekatan untuk mencari keandalan dari setiap *mooring line* menggunakan metode MVFOSM. Dengan menggunakan metode tersebut didapatkan keandalan paling rendah untuk konfigurasi *grouping* adalah sebesar 0,633 sedangkan untuk konfigurasi *ungrouping* sebesar 0,655.

**Kata Kunci:** FLNG, eksternal turret mooring, grouping, ungrouping

***EXTERNAL TURRET MOORING REALIBILTY ANALYSIS  
WITH GROUPING AND UNGROUPING CONFIGURATION  
OF MOORING LINE***

**Name** : Rizal Aziz Perdana

**NRP** : 4312 100 060

**Department** : Teknik Kelautan FTK – ITS

**Supervisor** : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D  
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc

**ABSTRAK**

This Final Project has been analyzed a comparative study of motion FLNG when tethered using a mooring line as grouping or ungrouping configuration. FLNG had 420,000 Ton displacement at a depth of 600 m to the MSL (Mean Sea Level). For the mooring line configuration as grouping or ungrouping have the same radius which is 1290 m and the same chain type, the difference is merely the anchor's position. The comparative analysis in this study including FLNG's offset , mooring line tension, and each mooring line reliability. From the modeling analysis, maximum offset will be obtained for grouping configuration which is 19.76 m for x (surge) movement of and for 18.06 m for ungrouping configuration. Furthermore, a large tension is obtained for each configuration. Grouping configuration has a 4088 kN for tension while 3791 kN for ungrouping configuration. The next approach is to look for the reliability of each mooring line using MVFOSM methods. By using this method obtained the grouping configuration lowest reliability which is 0.633 and 0.655 for ungrouping configuration .

**Key Words:** FLNG, eksternal turret mooring, grouping, ungrouping

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| LEMBAR PEGESAHAN .....  | ii  |
| ABSTRAK .....   | iii |
| ABSTRAK .....   | iv  |
| KATA PENGANTAR .....  | v   |
| UCAPAN TERIMA KASIH .....   | vi  |
| DAFTAR ISI .....  | vii |
| DAFTAR TABEL .....  | ix  |
| DAFTAR SIMBOL .....   | x   |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xii |
| DAFTAR ISTILAH .....  | xv  |
| BAB I .....   | 1   |
| PENDAHULUAN .....   | 1   |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                                      | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....   | 6   |
| 1.3 Tujuan .....  | 6   |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....  | 6   |
| 1.5 Batasan Masalah .....   | 7   |
| 1.6 Sitematika Penelitian .....                                       | 7   |
| BAB II .....  | 9   |
| TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....                                | 9   |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....  | 9   |
| 2.2 Dasar Teori .....   | 11  |
| 2.2.1 Konsep pembebanan .....   | 11  |
| 2.2.2 Dasar Analisis Dinamis .....                                    | 12  |
| 2.2.3 Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang ..... | 13  |
| 2.2.4 Response Amplitude Operator .....                               | 14  |
| 2.2.5 Spektrum Gelombang .....  | 15  |
| 2.2.6 Sistem Tambat .....   | 16  |
| 2.2.6.1 Eksternal Turret Mooring .....                                | 16  |
| 2.2.6.2 Komponen Sistem Tambat .....                                  | 17  |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.6.3 Penentuan Panjang Mooring Line .....                    | 17 |
| 2.2.6.4 Tension Pada Mooring Line.....                          | 19 |
| 2.2.7 Keandalan .....   | 19 |
| 2.2.8 Metode Mean Value First Order Second Moment (MVFOSM)..... | 20 |
| 2.2.9 Indeks Keandalan .....                                    | 20 |
| 2.2.10 Moda kegagalan .....                                     | 21 |
| BAB III.....  | 23 |
| METODOLOGI PENELITIAN .....                                     | 23 |
| 3.1 Langkah Kerja .....   | 23 |
| 3.2 Pengumpulan Data .....                                      | 27 |
| 3.2.1 Data struktur .....                                       | 27 |
| 3.2.2 Data FLNG.....  | 27 |
| 3.2.3 Struktur <i>Mooring</i> .....                             | 28 |
| BAB IV.....   | 33 |
| ANALISA DAN PEMBAHASAN .....                                    | 33 |
| 4.1 Skenario Pemodelan dan Pembebanan.....                      | 33 |
| 4.2 Permodelan Struktur .....                                   | 34 |
| 4.2.1 Permodelan FLNG Menggunakan Software Maxsurf V8i.....     | 34 |
| 4.2.2 Permodelan FLNG Menggunakan Software Moses.....           | 35 |
| 4.2.3 Validasi Permodelan untuk FLNG.....                       | 36 |
| 4.2.4 Permodelan FLNG Tertambat Menggunakan Orcaflex .....      | 37 |
| 4.3 Analisa Gerakan RAO.....                                    | 39 |
| 4.4 Analisa Gerakan FLNG dengan Kondisi <i>Intact</i> .....     | 43 |
| 4.5 Analisa Gerakan FLNG dengan Kondisi <i>Damage</i> .....     | 56 |
| 4.6 Analisa <i>Mooring Line</i> Tension .....                   | 67 |
| 4.7 Keandalan dengan Metode MVFOSM.....                         | 71 |
| BAB V .....   | 75 |
| KESIMPULAN DAN SARAN .....                                      | 75 |
| 5.1 KESIMPULAN .....  | 75 |
| 5.2. SARAN .....  | 77 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 78 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1. 1 Data Dimensi Struktur FLNG (Saipem, 2013).....  | 2  |
|  |    |
| Tabel 3. 1 Data Dimensi Struktur FLNG.....   | 27 |
| Tabel 3. 2 Radius <i>mooring line</i> dan panjang dari setiap <i>segment line</i><br>(saipem,2013) ..... | 30 |
| Tabel 3. 3 Properti dari setiap <i>segment line</i> (saipem,2013) .....                                  | 30 |
| Tabel 3. 4 Data Lingkungan (Omni directional intensity parameters).....                                  | 31 |
| Tabel 3. 5 Ketebalan <i>Marine Growth</i> Terhadap Kedalaman (saipem,2013) .....                         | 31 |
| Tabel 3. 6 Laju Korosi untuk 30 Tahun (saipem,2013).....   | 31 |
|  |    |
| Tabel 4. 1 Skenario Permodelan dan Pembebanan.....   | 33 |
| Tabel 4. 2 Validasi FLNG Data, Maxsurf, dan Moses .....  | 36 |
| Tabel 4. 3 Validasi FLNG Maxsurf dan Moses.....  | 36 |
| Tabel 4. 4 RAO Maksimum FLNG kondisi <i>Free Floating</i> .....  | 43 |
| Tabel 4. 5 Gerakan Maksimum FLNG Akibat <i>Heading 180 (intact)</i> .....                                | 66 |
| Tabel 4. 6 Gerakan Maksimum FLNG Akibat <i>Heading 180 (damage)</i> .....                                | 66 |
| Tabel 4. 7 <i>Mooring Line Tension</i> pada arah 180 <sup>0</sup> pada <i>Intact</i> .....               | 67 |
| Tabel 4. 8 <i>Mooring Line Tension</i> pada arah 90 <sup>0</sup> pada <i>Intact</i> .....                | 68 |
| Tabel 4. 9 <i>Mooring Line Tension</i> pada arah 135 <sup>0</sup> pada <i>Intact</i> .....               | 69 |
| Tabel 4. 10 <i>Mooring Line Tension</i> pada arah 180 <sup>0</sup> Kondisi <i>Damage</i> .....           | 71 |
| Tabel 4. 11 Keandalan <i>Mooring Lines (intact)</i> dengan Konfigurasi <i>Grouping</i> .....             | 72 |
| Tabel 4. 12 Keandalan <i>Mooring Lines (intact)</i> dengan Konfigurasi <i>Ungrouping</i> .....           | 73 |
| Tabel 4. 13 Keandalan <i>Mooring Lines (damage)</i> dengan Konfigurasi <i>Grouping</i> .....             | 73 |
| Tabel 4. 14 Keandalan <i>Mooring Lines (damage)</i> dengan Konfigurasi <i>Ungrouping</i><br>74           | 74 |
|  |    |
| Tabel 5. 1 Summary Gerakan Surge, dan Sway .....   | 75 |
| Tabel 5. 2 Rangkuman <i>Mooring Line Tension</i> .....   | 76 |



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1. 1 Contoh FLNG (www.sbmoffshore.com).....  | 1  |
| Gambar 1. 2 Jenis-Jenis <i>Turret Mooring System</i> (Dwitasari, 2009).....                           | 3  |
| Gambar 1. 3 <i>Grouping Turret Mooring System</i> (sofec.com).....                                    | 4  |
| Gambar 1. 4 <i>Ungrouping Turret Mooring System</i> (modec.com).....                                  | 4  |
| Gambar 1. 5 Gambar Tampak Atas <i>Eksternal Turret Mooring</i> Konfigurasi<br><i>Grouping</i> .....   | 5  |
| Gambar 1. 6 Gambar Tampak Atas <i>Eksternal Turret Mooring</i> Konfigurasi<br><i>Ungrouping</i> ..... | 5  |
|   |    |
| Gambar 2. 1 Sistem Tambat FPSO (Perwitasari, 2010).....   | 10 |
| Gambar 2. 2 <i>Six Degree of Freedom</i> (Wahyudi,2009).....  | 14 |
| Gambar 2. 3 <i>Typical Eskternal Turret Mooring Arrangement</i> (API RP 2SK, 2005)<br>16              | 16 |
| Gambar 2. 4 <i>Parameter Mooring Line</i> (Faltinsen, 1990).....                                      | 18 |
|   |    |
| Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Pengerjaan Tugas Akhir.....   | 24 |
| Gambar 3. 2 <i>General Arrangement</i> FLNG (saipem, 2013).....                                       | 28 |
| Gambar 3. 3 Konfigurasi <i>Grouping Eksternal Turret Mooring</i> tampak atas.....                     | 29 |
| Gambar 3. 4 Konfigurasi <i>Ungrouping Eksternal Turret Mooring</i> tampak atas.....                   | 29 |
|   |    |
| Gambar 4. 1 Gambaran Arah Pembebanan.....   | 34 |
| Gambar 4. 2 Model FLNG dengan <i>Software Maxsurf</i> .....   | 35 |
| Gambar 4. 3 Model Geometri hull FLNG.....   | 35 |
| Gambar 4. 4 Model Geometri <i>bodyplan</i> FLNG.....  | 35 |
| Gambar 4. 5 Gambar FLNG Tampak Samping.....   | 37 |
| Gambar 4. 6 Gambar FLNG Tampak Atas.....  | 37 |
| Gambar 4. 7 Konfigurasi <i>Grouping</i> Tampak Atas dengan Pembebanan 180 <sup>0</sup> .....          | 38 |
| Gambar 4. 8 Konfigurasi <i>Ungrouping</i> Tampak Atas dengan Pembebanan 180.....                      | 38 |
| Gambar 4. 9 Grafik RAO FLNG Gerakan <i>Surge</i> .....  | 39 |
| Gambar 4. 10 Grafik RAO FLNG Gerakan <i>Sway</i> .....  | 40 |
| Gambar 4. 11 Grafik RAO FLNG Gerakan <i>Heave</i> .....   | 40 |
| Gambar 4. 12 Grafik RAO FLNG Gerakan <i>Roll</i> .....  | 41 |
| Gambar 4. 13 Grafik RAO FLNG Gerakan <i>Pitch</i> .....   | 42 |
| Gambar 4. 14 Grafik RAO FLNG Gerakan <i>Yaw</i> .....   | 43 |
| Gambar 4. 15 Grafik Gerakan <i>Surge</i> FLNG Pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....                 | 44 |
| Gambar 4. 16 Grafik Gerakan <i>Sway</i> FLNG Pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....                  | 44 |
| Gambar 4. 17 Grafik Gerakan <i>Heave</i> FLNG Pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....                 | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4. 18 Grafik Gerakan <i>Roll</i> FLNG Pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....                                       | 45 |
| Gambar 4. 19 Grafik Gerakan <i>Pitch</i> FLNG Pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....                                      | 46 |
| Gambar 4. 20 Grafik Gerakan <i>Yaw</i> FLNG Pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....  | 46 |
| Gambar 4. 21 Grafik Gerakan <i>Surge</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (intact)</i> .....   | 47 |
| Gambar 4. 22 Grafik Gerakan <i>Sway</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (intact)</i> .....    | 47 |
| Gambar 4. 23 Grafik Gerakan <i>Heave</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (intact)</i> .....   | 48 |
| Gambar 4. 24 Grafik Gerakan <i>Roll</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring<br/>Line Grouping (intact)</i> .....   | 48 |
| Gambar 4. 25 Grafik Gerakan <i>Pitch</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (intact)</i> .....   | 49 |
| Gambar 4. 26 Grafik Gerakan <i>Yaw</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring<br/>Line Grouping (intact)</i> .....    | 49 |
| Gambar 4. 27 Grafik Gerakan <i>Surge</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Ungrouping (intact)</i> ..... | 50 |
| Gambar 4. 28 Grafik Gerakan <i>Sway</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Ungrouping (intact)</i> .....  | 50 |
| Gambar 4. 29 Grafik Gerakan <i>Heave</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Ungrouping (intact)</i> ..... | 51 |
| Gambar 4. 30 Grafik Gerakan <i>Roll</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring<br/>Line Ungrouping (intact)</i> ..... | 51 |
| Gambar 4. 31 Grafik Gerakan <i>Pitch</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Ungrouping (intact)</i> ..... | 52 |
| Gambar 4. 32 Grafik Gerakan <i>Yaw</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring<br/>Line Ungrouping (intact)</i> .....  | 52 |
| Gambar 4. 33 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Surge (intact)</i> .....   | 53 |
| Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Sway(intact)</i> .....   | 53 |
| Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Heave (intact)</i> .....   | 54 |
| Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Roll (intact)</i> .....  | 54 |
| Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Pitch (intact)</i> .....   | 55 |
| Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Yaw(intact)</i> .....  | 55 |
| Gambar 4. 39 Grafik Gerakan <i>Surge</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (damage)</i> .....   | 56 |
| Gambar 4. 40 Grafik Gerakan <i>Sway</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (damage)</i> .....    | 57 |
| Gambar 4. 41 Grafik Gerakan <i>Heave</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi<br><i>Mooring Line Grouping (damage)</i> .....   | 57 |
| Gambar 4. 42 Grafik Gerakan <i>Roll</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring<br/>Line Grouping (damage)</i> .....   | 58 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4. 43 Grafik Gerakan <i>Pitch</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Grouping (damage)</i> .....   | 58 |
| Gambar 4. 44 Grafik Gerakan <i>Yaw</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Grouping (damage)</i> .....     | 59 |
| Gambar 4. 45 Grafik Gerakan <i>Surge</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Ungrouping (damage)</i> ..... | 60 |
| Gambar 4. 46 Grafik Gerakan <i>Sway</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Ungrouping (damage)</i> .....  | 60 |
| Gambar 4. 47 Grafik Gerakan <i>Heave</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Ungrouping (damage)</i> ..... | 61 |
| Gambar 4. 48 Grafik Gerakan <i>Roll</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Ungrouping (damage)</i> .....  | 61 |
| Gambar 4. 49 Grafik Gerakan <i>Pitch</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Ungrouping (damage)</i> ..... | 62 |
| Gambar 4. 50 Grafik Gerakan <i>Yaw</i> FLNG Ditambat dengan Konfigurasi <i>Mooring Line Ungrouping (damage)</i> .....   | 62 |
| Gambar 4. 51 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Surge (damage)</i> .....  | 63 |
| Gambar 4. 52 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Sway (damage)</i> .....   | 63 |
| Gambar 4. 53 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Heave (damage)</i> .....  | 64 |
| Gambar 4. 54 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Roll (damage)</i> .....   | 64 |
| Gambar 4. 55 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Pitch (damage)</i> .....  | 65 |
| Gambar 4. 56 Grafik Perbandingan Gerakan <i>Yaw (damage)</i> .....  | 65 |

## DAFTAR SIMBOL

|          |  |
|----------|--|
| $F_{cx}$ | = Gaya arus pada <i>bow</i> (N)  |
| $F_{cy}$ | = Gaya arus pada <i>beam</i> (N)   |
| $C_{cx}$ | = Koefisien gaya arus pada <i>bow</i>  |
| $C_{cy}$ | = Koefisien gaya arus pada <i>bow</i>  |
| $S$      | = Luas penampang pada lambung kapal yang terendam ( $m^2$ )                              |
| $V_c$    | = Kecepatan arus desain (m/sec)  |
| $F_w$    | = gaya angin (N)   |
| $C_s$    | = koefisien bentuk   |
| $\rho_a$ | = massa jenis udara ( $kg/m^3$ )   |
| $A$      | = luas area vertikal yang terkena angin ( $m^2$ )  |
| $V_C$    | = kecepatan partikel air (m/s)   |
| $V_W$    | = kecepatan angin, knots (m/s)   |
| $V_{10}$ | = kecepatan angin pada ketinggian 10 m, knots (m/s)                                      |
| $x$      | = Intensitas objek/ parameter yang ditinjau, misalnya<br>tinggi gelombang sehingga $x=H$ |
| $\tau$   | = parameter bentuk ( <i>shape parameter</i> )  |
| $T_p$    | = periode puncak spektra (s)   |
| $H_s$    | = tinggi gelombang signifikan (m)  |
| $\alpha$ | = kemungkinan kejadian yang tidak terjadi pada saat perancangan (<br>1% - 5%)            |
| $l$      | = panjang minimum dari <i>chain line</i> (m)   |
| $h$      | = $h_m + h_c$  |

|                     |  |
|---------------------|--|
| $h_m$               | = kedalaman air (m)  |
| $h_c$               | = tinggi <i>fairlead</i> diatas permukaan air (m)                |
| $p$                 | = berat <i>chain line</i> didalam air persatuan panjang (T/m)    |
| $F_H$               | = gaya horizontal <i>chain line</i> pada <i>fairlead</i> (N)     |
| $T$                 | = <i>tension</i> dari <i>chain line</i> pada <i>fairlead</i> (N) |
| $D$                 | = <i>length resting on the seabed</i> (m)                        |
| $T_{\text{mean}}$   | = <i>mean tension</i>  |
| $T_{\text{max}}$    | = <i>maximum tension</i>   |
| $T_{\text{wfmmax}}$ | = <i>maximum wave frequency tension</i>                          |
| $T_{\text{wfsig}}$  | = <i>significant wave frequency tension</i>                      |
| $T_{\text{lfmax}}$  | = <i>maximum low-frequency tension</i>                           |
| $T_{\text{lfsig}}$  | = <i>significant low-frequency tension</i>                       |
| $\beta$             | = indeks keandalan   |
| $\mu_x$             | = Tegangan Kapasitas <i>Mooring Line</i> (kN)                    |
| $\mu_y$             | = Tegangan <i>Mooring line</i> (kN)                              |
| $\sigma_x$          | = Standar deviasi kekuatan <i>mooring line</i>                   |
| $\sigma_y$          | = standar deviasi <i>tension mooring line</i>                    |
| $\rho_f$            | = Probability of Failure   |
| $K$                 | = Keandalan  |

## DAFTAR ISTILAH

- Bearing System* : *bearing system* adalah sebuah sistem yang terdapat di dalam *eksternal turret mooring*, yang berfungsi untuk membuat kapal berputar mengikuti arah dominan dari beban lingkungan.
- Damage* : kondisi dimana terdapat satu *mooring line* yang putus
- Eksternal Turret* : sistem tambat yang peletakannya berpusat didepan haluan kapal, sistem ini memiliki *bearing system* yang mampu membuat kapal menjadi *weathervaning*
- FLNG* : *Floating Liquefied Natural Gas*, sebuah bangunan terapung yang berfungsi sebagai terminal atau tempat penyimpanan sementara LNG yang akan didistribusikan pada kapal-kapal lain seperti *LNG Carrier*
- Grouping* : sebuah konfigurasi *mooring lines*, dimana dalam konfigurasi tersebut terdapat beberapa kelompok *mooring lines*. Dan setiap kelompok *mooring line* terdiri dari beberapa *mooring line*
- Heave* : gerakan translasional kapal pada sumbu z
- Intact* : kondisi dimana *mooring line* tidak ada yang putus
- Mooring lines* : sebuah sistem yang berfungsi untuk menahan kapal agar tetap pada posisinya, ujung atas tersambung dengan *fairlead*, dan ujung bawah pada *anchor* di *seabed*
- Offset* : Jarak gerakan kapal dari posisi awal ke posisi baru, pada saat sudah ditambat
- Pitch* : gerakan rotasional kapal pada sumbu y
- RAO* : *response amplitude operator*. Gerakan kapal akibat gelombang *reguler* tiap satu meter
- Roll* : gerakan rotasional kapal pada sumbu x

*Single Point Mooring* : sistem tambat tunggal yang berfungsi untuk menahan gerakan kapal, dan mengurangi beban lingkungan yang mengenai kapal. Terdapat banyak variasi contohnya *turret mooring*, *calm mooring*, dan *salm mooring*.

*Spread Mooring* : sistem tambat yang berfungsi untuk menahan kapal agar tidak berpindah tempat. Biasanya *mooring line* yang terpasang terdapat pada ujung-ujung kapal

*Surge* : gerakan translasional kapal pada sumbu x

*Sway* : gerakan translasional kapal pada sumbu y

*Tension* : gaya pada *mooring lines*, akibat tarikan dari *gaya drift force* kapal

*Time domain* : analisa gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu, pendekatan yang dilakukan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history*

*Ungrouping* : konfigurasi *mooring line*, dimana *mooring line* satu dengan *mooring line* lainnya terpisahkan dengan sudut yang sama besar.

*Weathervaning* : kemampuan kapal untuk bergerak mengikuti arah beban lingkungan yang dominan

*Yaw* : gerakan rotasional kapal pada sumbu z







# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dengan berkembangnya teknologi di industri minyak dan gas bumi, telah ditemukan *field-field* baru yang terdapat kandungan hidrokarbon yang melimpah. Namun dikarenakan lokasi dari *field* tersebut berada di laut dalam maka diperlukan fasilitas pendukung untuk mengeksplorasi *field* tersebut. *Fixed platform* sudah tidak ekonomis jika digunakan untuk operasi laut dalam, maka untuk mengeksplorasi laut dalam diperlukan anjungan terapung (*floating platform*). Selain bisa menjadi *storage* dalam jumlah besar, struktur ini bisa berpindah tempat sehingga mempermudah proses eksplorasi dan operasi. Oleh karena itu, suatu *floating platform* mempunyai peranan yang sangat penting dalam pengembangan ladang minyak di perairan dalam atau menengah dan menjadi suatu alternatif yang banyak dipilih daripada *fixed platform*.

Diantara banyak *floating platform* yang bisa menunjang proses kegiatan eksplorasi tersebut salah satu yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah FLNG (*Floating Liquefied Natural Gas*). Dalam proses perancangan *floating platform* perlu mempertimbangkan aspek-aspek yang berkaitan dengan biaya produksi, *reliability*, potensi ladang minyak, dan perilaku hidrodinamisnya.



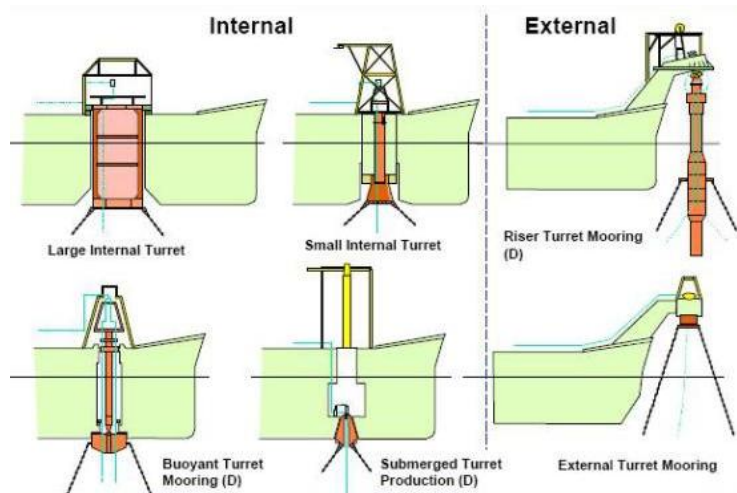
**Gambar 1. 1** Contoh FLNG ([www.sbmoffshore.com](http://www.sbmoffshore.com))

Untuk mendukung proses operasional, FLNG harus bisa menahan *motion* yang terjadi akibat beban lingkungan (arus, angin, dan gelombang) yang bekerja pada FLNG tersebut. Untuk menjaga FLNG agar tetap pada posisinya, maka dibutuhkan sistem tambat yang berguna sebagai pengikat FLNG. Dengan adanya gerakan-gerakan FLNG, maka akan menyebabkan adanya gaya yang bekerja pada sistem tambat tersebut (*tension force*, *restoring force* dan *damping*) pada *mooring system* (Pramudyo, 2013).

**Tabel 1. 1** Data Dimensi Struktur FLNG (Saipem, 2013)

| <b>Parameter</b> | <b>Ukuran</b> | <b>Satuan</b> |
|------------------|---------------|---------------|
| Loa              | 420           | m             |
| B                | 70            | m             |
| H                | 36            | m             |
| T                | 15,5          | m             |
| Displacement     | 424915        | ton           |
| LCG              | 209,5         | m             |
| KG               | 25,49         | m             |

Ada beberapa jenis sistem tambat untuk menahan *motion* dari FLNG ketika beroperasi, diantaranya adalah konfigurasi sistem tambat menyebar (*spread mooring type*) dan sistem tambat titik tunggal (*single point mooring system*). Salah satu jenis *single point mooring* adalah sistem tambat *turret*. (*turret mooring*) (API RP 2SK).



**Gambar 1. 2** Jenis-Jenis *Turret Mooring System* (Dwitasari, 2009)

Sistem *turret mooring* didefinisikan sebagai sistem tambat dimana jumlah kaki *catenary mooring* yang dipasang pada turret merupakan bagian penting dari FLNG yang ditambat. *Turret* terdiri atas bearings yang menyebabkan kapal bisa berputar di sekitar kaki jangkar. Sistem *turret* ini memberikan kemampuan kepada FLNG terhadap *weathervaning* (kapal bisa merubah posisi sesuai dengan arah angin, gelombang dan arus agar tegangan yang terjadi bisa diperkecil) di sekitar *mooring* (Sabana, 2012).

Mengingat FLNG beroperasi di laut terbuka, maka akan ada beban dinamis yang bekerja pada struktur ini. Dengan adanya beban tersebut yang bersifat siklis, maka akan ada kemungkinan terjadi kegagalan sistem pada sistem tambat. Demi menghindari hal-hal yang tidak diinginkan maka, diperlukan keandalan yang tinggi pada setiap *mooring line* yang bekerja untuk menunjang proses operasi dari FLNG ini. Apabila *mooring line* memiliki keandalan yang kecil maka struktur tersebut mempunyai peluang mengalami kegagalan yang besar.

Tugas akhir ini akan menganalisa perbedaan sistem tambat *turret* antara *grouping* dengan *ungrouping* akibat gerakan FLNG itu sendiri yang disebabkan oleh beban lingkungan dengan berbasis ranah waktu (*time domain*) dan mencari konfigurasi *mooring line* yang paling optimal. Yang

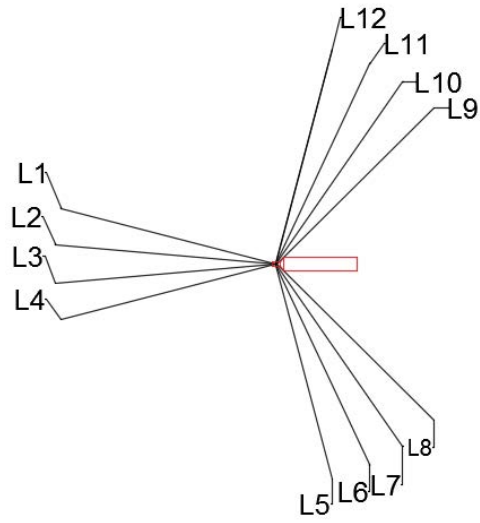
dimaksud *grouping* pada sistem *turret* adalah posisi dari *mooring line* yang hanya ada di beberapa sisi dari sistem *turret* tersebut. Sedangkan kondisi *ungrouping* adalah ketika posisi penempatan antar *mooring line* memiliki sudut yang sama.



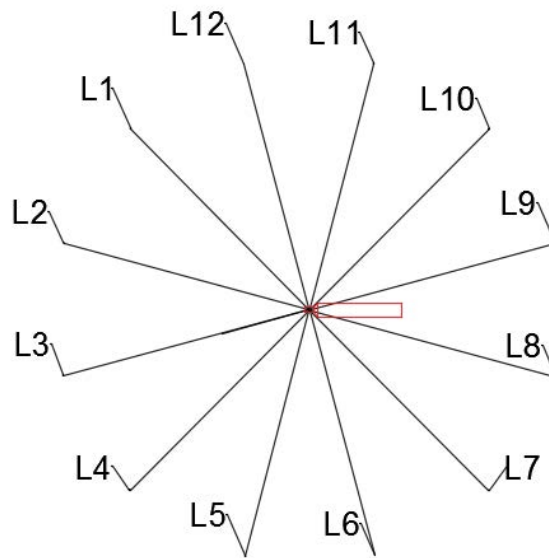
**Gambar 1. 3** *Grouping Turret Mooring System* (sofec.com)



**Gambar 1. 4** *Ungrouping Turret Mooring System* (modec.com)



**Gambar 1. 5** Gambar Tampak Atas *Eksternal Turret Mooring* Konfigurasi *Grouping*



**Gambar 1. 6** Gambar Tampak Atas *Eksternal Turret Mooring* Konfigurasi *Ungrouping*

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana RAO *free floating* dari FLNG yang dikaji ?
2. Bagaimana perbandingan offset dari FLNG ketika ditambah dengan *eksternal turret mooring system*, secara *grouping* maupun *ungrouping* , pada kondisi *intact* dan *damage*?
3. Bagaimana perbandingan *mooring line tension* dari FLNG ketika ditambah dengan *eksternal turret mooring system*, secara *grouping* maupun *ungrouping* , pada kondisi *intact* dan *damage*?
4. Bagaimana keandalan dari masing-masing konfigurasi *mooring line* pada *eksternal turret mooring system*, secara *grouping* dan *ungrouping*, pada kondisi *intact* dan *damage*?

## 1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui RAO *free floating* dari FLNG yang dikaji ?
2. Untuk mengetahui perbandingan offset dari FLNG ketika ditambah dengan *eksternal turret mooring system*, secara *grouping* maupun *ungrouping* , pada kondisi *intact* dan *damage*?
3. Untuk mengetahui perbandingan *mooring line tension* dari FLNG ketika ditambah dengan *eksternal turret mooring system*, secara *grouping* maupun *ungrouping* , pada kondisi *intact* dan *damage*?
4. Untuk mengetahui keandalan dari masing-masing konfigurasi *mooring line* pada *eksternal turret mooring system*, secara *grouping* dan *ungrouping*, pada kondisi *intact* dan *damage*?

## 1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan bisa memberi pemahaman yang baik tentang pengaruh FLNG terhadap perbedaan *motion* dan *tension* ketika ditambah dengan menggunakan *eksternal turret mooring system* secara *grouping* maupun *ungrouping* dan mengetahui keandalan dari setiap konfigurasi untuk diaplikasikan pada FLNG.

## 1.5 Batasan Masalah

1. Semua peralatan dan perlengkapan diatas FLNG tidak dimodelkan
2. Arah pembebanan lingkungan yang diperhitungkan dari  $180^0$
3. Riser tidak dimodelkan
4. Analisa dilakukan pada kondisi *linear*
5. Tinggi sarat yang ditinjau adalah sarat *full load*
6. Permukaan *seabed* diasumsikan datar

## 1.6 Sitematika Penelitian

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Dalam bab I menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini serta sistematika penulisan.

Bab II berisi tinjauan pustaka, yakni apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dasar teori, persamaan-persamaan, dan *codes* yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

Pada Bab III berisi tentang metodologi penelitian yang menjelaskan bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan.

Pada Bab IV berisi tentang analisa dan pembahasan pemodelan struktur dan *eksternal turret mooring system* dengan menerapkan *software moses* untuk pemodelan dan analisis gerakan kapal, sedangkan *software orcaflex* untuk pemodelan pada *eksternal turret mooring system*. Selain itu membahas hasil dari analisis-analisis yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisis hasil serta pembahasan hasil.



Sedangkan pada bab V berisi tentang kesimpulan dan saran. Isi dari kesimpulan berkaitan tentang perbedaan *eksternal turret mooring* secara *grouping* dan *ungrouping* dan dapat memilih konfigurasi *mooring line* yang paling optimal untuk FLNG . serta untuk menjawab permasalahan yang diajukan atau dirumuskan. Selain itu saran juga diperlukan dalam bab ini, dengan tujuan sebagai masukan-masukan pada penelitian-penelitian berikutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

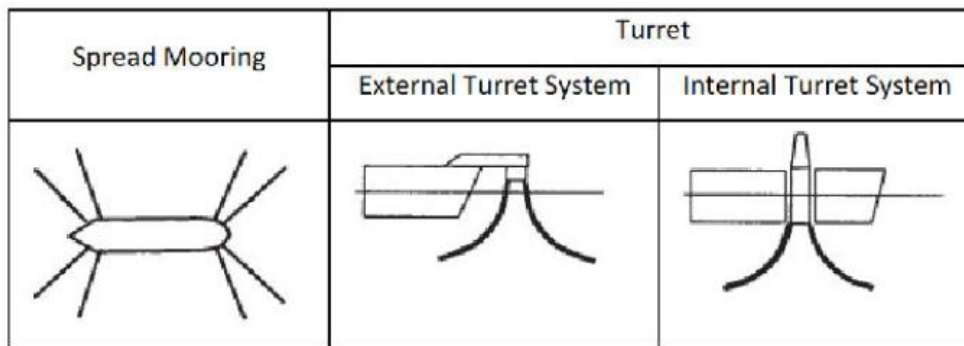
Secara garis besar, konstruksi bangunan lepas pantai dapat dikelompokkan menjadi beberapa golongan. Dan salah satu jenis konstruksi yang bisa menjadi alternatif untuk produksi, penyimpanan serta offloading gas di laut dalam adalah dengan menggunakan bangunan laut terapung yakni FLNG (Floating Liquefied Natural Gas).

Floating Liquefied Natural Gas (FLNG) adalah sebuah bangunan terapung yang berfungsi sebagai terminal atau tempat penyimpanan sementara LNG yang akan didistribusikan pada kapal-kapal lain seperti LNG Carrier. Pada awalnya, terminal penyimpanan LNG dibangun di daratan. Seiring berjalannya waktu, teknologi terus berkembang hingga dibuat terminal terapung yang disebut sebagai FLNG tersebut

Menurut Aryawan (2005), pemilihan jenis kapal juga didasarkan pada kemudahannya dalam berpindah tempat sehingga sangat menguntungkan secara ekonomis bila ditempatkan pada daerah marjinal. Kapal merupakan sebuah struktur terapung berupa bangunan baru atau hasil modifikasi kapal yang sudah ada atau yang dialih fungsikan. Dibuatnya bangunan terapung ini dianggap lebih efisien, karena dalam proses pengiriman LNG, perusahaan yang berkepentingan tidak perlu menyimpan LNG ke terminal yang di daratan dan kemudian ditransfer kembali ke tempat tujuannya.

FLNG sebagai fasilitas penyimpanan harus tetap dalam posisinya agar tidak mengganggu aktifitas eksplorasi yang sedang berlangsung. Dengan karakteristik gerak FLNG yang dipengaruhi oleh beban lingkungan yang bekerja didaerah operasi, maka diperlukan sistem tambat yang handal dan bisa menahan gerakan dari FLNG tersebut.

Menurut Prasiwi (2014), konfigurasi sistem tambatnya bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring*) dan jenis tambat titik tunggal (*single point mooring*). *Spread mooring* adalah jenis sistem tambat yang posisi penambatnya berada di ujung-ujung struktur untuk mempertahankan posisi struktur akibat beban lingkungan. Untuk *single point mooring* ada beberapa jenis sistem tambat seperti *turret mooring*, *calm mooring* (*catenari anchor leg mooring*), dan *salm* (*single anchor leg mooring*). Untuk *turret mooring* terdiri dari dua tipe, yakni *eksternal turret mooring system* dan *internal turret mooring system* (API RP 2SK, 2005)



**Gambar 2. 1** Sistem Tambat FPSO (Perwitasari, 2010)

Menurut penelitian Hang Shoon dan Choi (2013), turret merupakan salah satu jenis sistem tambat yang banyak digunakan untuk FPSO. *Turret* digunakan untuk menjaga gerakan FPSO dari kondisi lingkungan yang ekstrim. Dan kegunaan yang paling penting dari *turret mooring* adalah untuk *berweathervaning* (kemampuan kapal untuk berputar sehingga didapatkan sebuah posisi dimana beban-beban lingkungan seperti arus, gelombang dan angin yang bekerja di sekitar *mooring* menjadi kecil).

Dalam perancangannya *eksternal turret system*, perancang harus mampu memperhitungkan desain dari *mooring line* sehingga *mooring line* yang terpasang mampu menahan beban lingkungan yang bekerja pada objek tersebut. Variasi *mooring line* bisa dirancang secara *grouping* maupun *ungrouping*. Untuk mengetahui perbedaan yang timbulkan dari kedua variasi *mooring line* tersebut, maka dilakukan penelitian kali ini.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Konsep pembebanan

Dalam proses perancangan struktur lepas pantai (*offshore structure*), penentuan kemampuan kerja struktur dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut. Perancang harus menentukan akurasi beban yang akan dipakai dalam perancangan *offshore structure* terlebih dahulu. Beban-beban yang harus dipertimbangkan oleh perancang dalam perancangan *offshore structure* adalah sebagai berikut (Murdjito, 2005):

a. Beban mati (*dead load*)

Beban mati adalah beban dari semua komponen kering serta peralatan, perlengkapan, dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi: berat struktur, berat peralatan, dan berat permesinan yang digunakan.

b. Beban hidup (*live load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada struktur selama dipakai dan berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain.

c. Beban akibat kecelakaan (*accidental load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada struktur, misalnya tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, dan kebakaran.

d. Beban lingkungan (*environmental load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu struktur lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang digunakan dalam perancangan adalah beban gelombang dan beban arus.

### 2.2.2 Dasar Analisis 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*.

#### 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 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.

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

### 2.2.3 Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai enam mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu tiga mode gerakan *translational* dan tiga mode gerakan *rotasional*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, berikut ini adalah penjelasan dari mode gerakan tersebut :

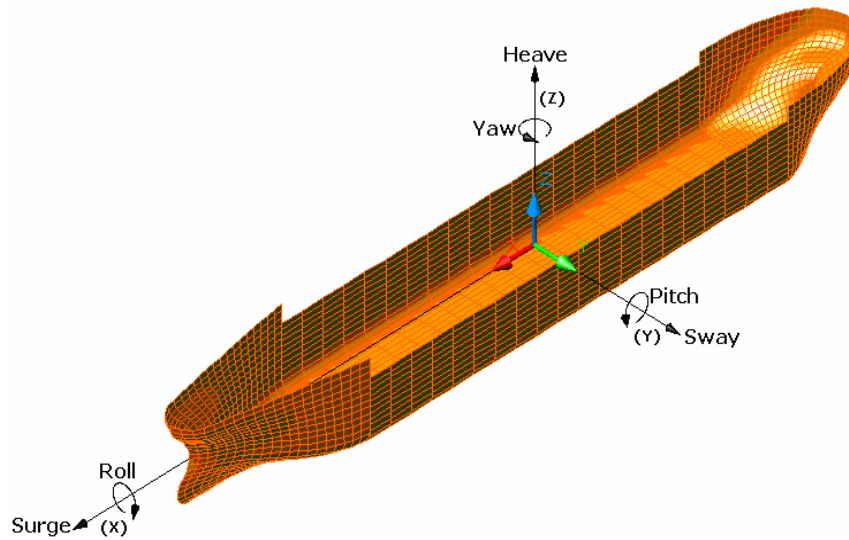
#### 1. Mode gerak translasional

- *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

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan gambar. 2.4. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x,y dan z.



**Gambar 2. 2** *Six Degree of Freedom* (Wahyudi,2009)

#### 2.2.4 Response Amplitude Operator

*Response Amplitude Operator* (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur (Djarmiko,2012)

RAO memuat informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu. Menurut Chakrabarti (1987) persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} \quad (\text{m/m}) \quad (2.1)$$

Dimana :

$\zeta_{k0}(\omega)$  = amplitudo struktur

$\zeta_0(\omega)$  = amplitudo gelombang

*Spektrum respons* didefinisikan sebagai *respons* kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. *Spektrum respons* merupakan perkalian antara *spektrum* gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.2)$$

Dimana :

$S_R$  = spektrum respons (m<sup>2</sup>-sec)

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

$RAO(\omega)$  = transfer function

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

### 2.2.5 Spektrum Gelombang

*Spektrum* energi gelombang mendeskripsikan energi yang terkandung dari gelombang dan itu didistribusikan keseluruhan jangkauan frekuensi pada gelombang acak. Oleh karena itu. Metode gelombang acak mungkin berguna khususnya pada tahap perencanaan bangunan terapung. (Chakrabakti. 1972) Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Bila tidak ada maka dapat digunakan model *spektrum* yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. (Azhar, 2013)

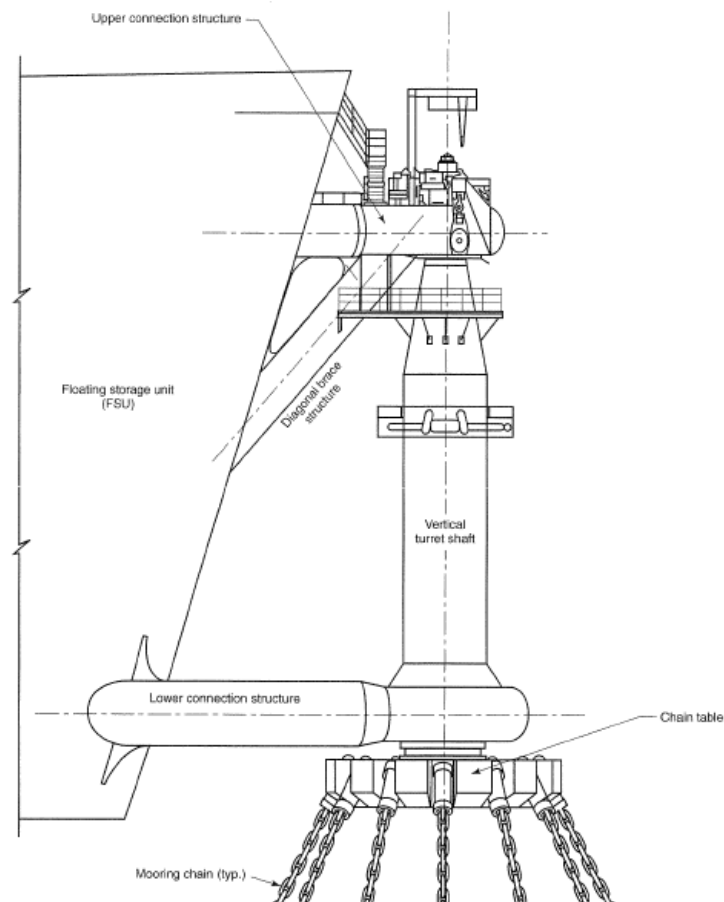
*Spektrum* gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP Spektrum gelombang JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) merupakan salah satu jenis spektrum yang sering dipakai dalam perhitungan gelombang. Karena spektrum gelombang JONSWAP mewakili perairan tertutup. Berikut persamaan dari spektrum JONSWAP:



## 2.2.6 Sistem Tambat

### 2.2.6.1 Eksternal Turret Mooring

*Eksternal turret mooring* terdiri dari struktur baja dengan jarak dari haluan atau buritan yang tetap ataupun bisa ditambah. Fungsi sistem tambat ini adalah untuk meminimalkan beban lingkungan yang bekerja pada struktur dan membatasi gerak kapal agar tetap pada tempatnya. Secara umum, ada dua kategori dalam sistem tambat, yaitu *weathervaning* dan *non-weathervaning*. Jika system tambat menggunakan *weathervaning* maka *respons* gerak dari kapal bebas berputar mengikuti beban lingkungan yang datang bekerja pada kapal. Jika system tambat menggunakan *non-weathervaning* maka respons kapal tidak akan bisa berputar bebas, dikarenakan adanya system tambat yang diletakkan disudut-sudut kapal untuk menahan beban lingkungan yang bekerja. Salah satu contoh dari sistem tambat *weathervaning* adalah *turret system*.



**Gambar 2. 3** *Typical Eksternal Turret Mooring Arrangement (API RP 2SK, 2005)*

Adapun pertimbangan turret *mooring* adalah adanya kondisi lingkungan yang ekstrim, kemudahan memelihara dan faktor keselamatan. Namun jika kondisi lingkungan tidak terlalu ekstrim maka *owner* lebih memilih menggunakan *eksternal turret mooring* daripada *internal turret mooring* adalah faktor biaya. Ketika beroperasi, FLNG akan ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan rantai dari *turret system*.

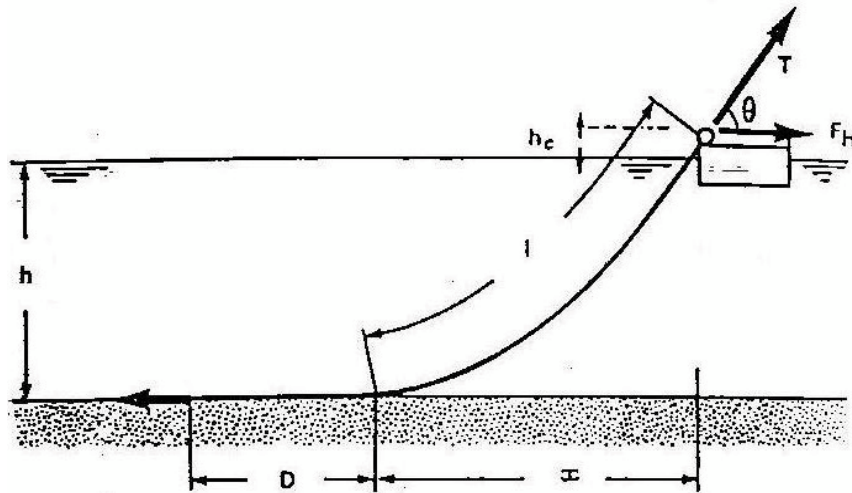
#### **2.2.6.2 Komponen Sistem Tambat**

Untuk komponen system *mooring* sendiri dibedakan menjadi dua, yaitu:

- *Wire rope* : sistem kabel lebih ringan dibanding sistem rantai oleh karena itu pada umumnya tali tambat terdapat gaya pengembali yang lebih baik pada laut dalam dibanding rantai dan membutuhkan tegangan awal yang kecil.
- *Chain* (Rantai) : sistem rantai telah terbukti untuk daya tahan pada operasi di lepas pantai. Rantai lebih baik untuk pencegahan abrasi pada dasar laut dan memberikan kontribusi yang signifikan pada daya cengkram jangkar.

#### **2.2.6.3 Penentuan Panjang Mooring Line**

Penentuan panjang *chain line* berfungsi agar buoy pada penambatannya memiliki posisi yang tepat dan *chain line* sendiri memiliki panjang dan *pretension* yang sesuai.



Gambar 2. 4 Parameter Mooring Line (Faltinsen, 1990)

Panjang *minimum* dari mooring line (Basic equation)

:

$$\frac{1}{h} = \sqrt{\frac{2T}{ph} - 1} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{1}{h} = \sqrt{\frac{2T}{ph} - 1} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- $l$  = panjang *minimum* dari *chainline* (m)
- $h$  =  $h_m + h_c$  (m)
- $h_m$  = kedalaman air (m)
- $h_c$  = tinggi *fairlead* di atas permukaan air (m)
- $p$  = berat *chain line* didalam air persatuan panjang (kg/m)
- $F_H$  = gaya horizontal *chain line* pada *fairlead* (kN)
- $T$  = *tension* dari *chain line* pada *fairlead* (kN)
- $D$  = *length resting on the seabed* (m)

Harga  $D$  dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari *mooring line*, yaitu:

- a. 200 s/d 300 m untuk *mooring line* yang memiliki konfigurasi *wire rope anchor lines*.
- b. 50 s/d 100 m untuk *mooring line* yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*.

#### **2.2.6.4 Tension Pada Mooring Line**

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

##### **1. Meantension.**

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

##### **2. Maximum tension.**

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

#### **2.2.7 Keandalan**

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang dari komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid, 2007). Peluang dalam analisa keandalan berupa presentase atau angka numerik antara 0 dan 1. Ada 3 kemungkinan peluang yang akan terjadi yaitu :

- a. 100% atau 1 ; yang artinya komponen tersebut tidak akan pernah gagal dalam kurun waktu yang ditetapkan, bisa dikatakan bahwa peluang kegagalannya adalah 0
- b. Kurang dari 100% dan lebih dari 0, misal 95% ; berarti peluang kegagalan komponen tersebut dalam waktu yang ditentukan adalah 100%-95%
- c. 0% atau 0; yang artinya komponen pasti gagal dalam kurun waktu yang ditetapkan

Dalam analisa keandalan hanya satu kriteria yang akan diambil dari banyak kriteria yang harus dipertimbangkan seperti berat, ukuran, produksi, operasi, pemeliharaan dll.

### 2.2.8 Metode Mean Value First Order Second Moment (MVFOSM)

Metode ini dipakai untuk memperkirakan keandalan komponen yang tidak diperoleh secara reliability life testing, namun diperkirakan langsung dengan memperhatikan fungsi kerapatan peluang perubah-perubah acak yang mengatur perilaku kegagalan komponen tersebut. Metode ini lazim dipakai dalam analisis keandalan struktur; efek pembebanan dan kekuatan (komponen) struktur yang dinyatakan dalam sebuah fungsi kinerja komponen diperlakukan sebagai peruba-perubah acak.

Dalam metode ini , masukan yang diperlukan dalam perhitungan adalah harga rata-rata (*mean value* atau *first moment*) dan simpangan baku (*standard deviation* atau *second moment*) dari perubah-perubah acak tersebut. Jadi distribusi atau fungsi kerapatan peluang fkp perubah-perubah tersebut tidak diperlukan secara langsung.

### 2.2.9 Indeks Keandalan

Cara lain untuk mengukur keandalan adalah dengan cara menggunakan indeks keandalan  $\beta$ , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai rata-rata dan nilai simpangan baku dari margin keselamatan, S, yaitu :

$$\beta = \mu_s / \sigma_s$$

Jika menggunakan nilai kritis margin keselamatan,  $S = 0$ , dan jaraknya dengan nilai rata-rata margin keamanan  $\mu_s$ , maka indeks keandalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku ts pada jarak ini. Artinya, jarak antara  $s=0$  dengan  $\mu_s$  ini dapat dibagi menjadi berapa simpangan baku. Semakin panjang , relatif terhadap simpangan baku, maka semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keamanan, atau dapat di tulis  $\beta = 1 / VS$

Untuk menghasilkan ekspresi yang lebih umum atas indeks keandalan dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu_s = \mu_x - \mu_y$$

$$\sigma_s^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$$

$$\beta = (\mu_x - \mu_y) / (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}$$

#### 2.2.10 Moda kegagalan

Penentuan moda kegagalan merupakan unsur penting dalam analisa keandalan dari suatu struktur. Pada analisa keandalan pada *mooring line*, moda kegagalan yang akan ditinjau disebabkan karena *tension* yang terjadi pada *mooring line*. Jadi *mooring line* dikatakan gagal apabila total *tension* yang terjadi pada chain melebihi besarnya nilai *limit breaking strength*.

Dimana  $\rho_{xy}$  adalah koefisien korelasi di antara kapasitas dan beban (tuntutan). Oleh karena itu, indeks keandalan adalah masimum jika  $\rho_{XY} = +1$  dan minimum jika  $\rho_{XY} = -1$ . Untuk X dan Y terdistriubsi normal, maka peluang kegagalan adalah :

$$K = 1 - \Phi(\beta)$$

$$\beta = (\mu_x - \mu_y) / (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}$$

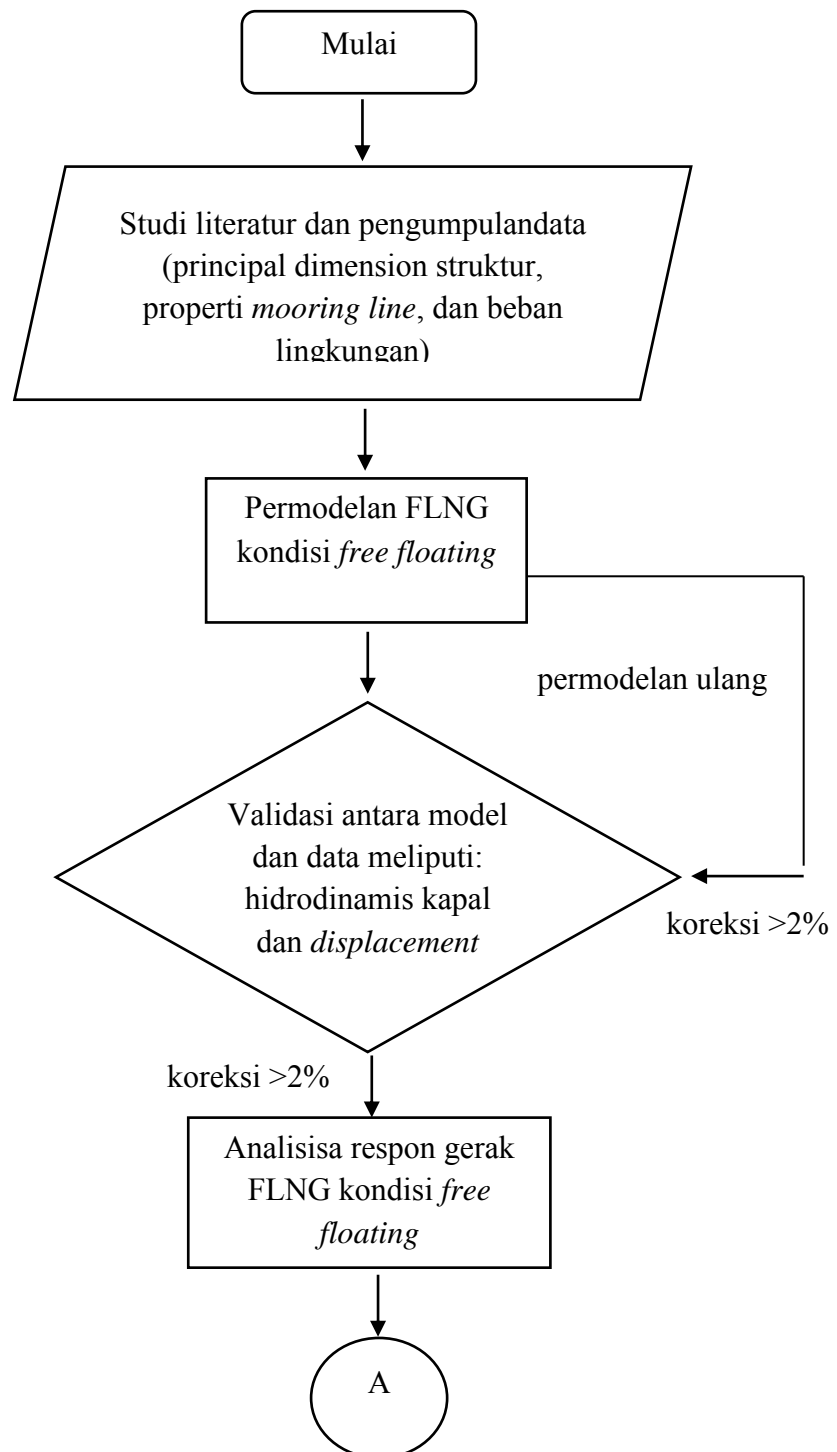
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III

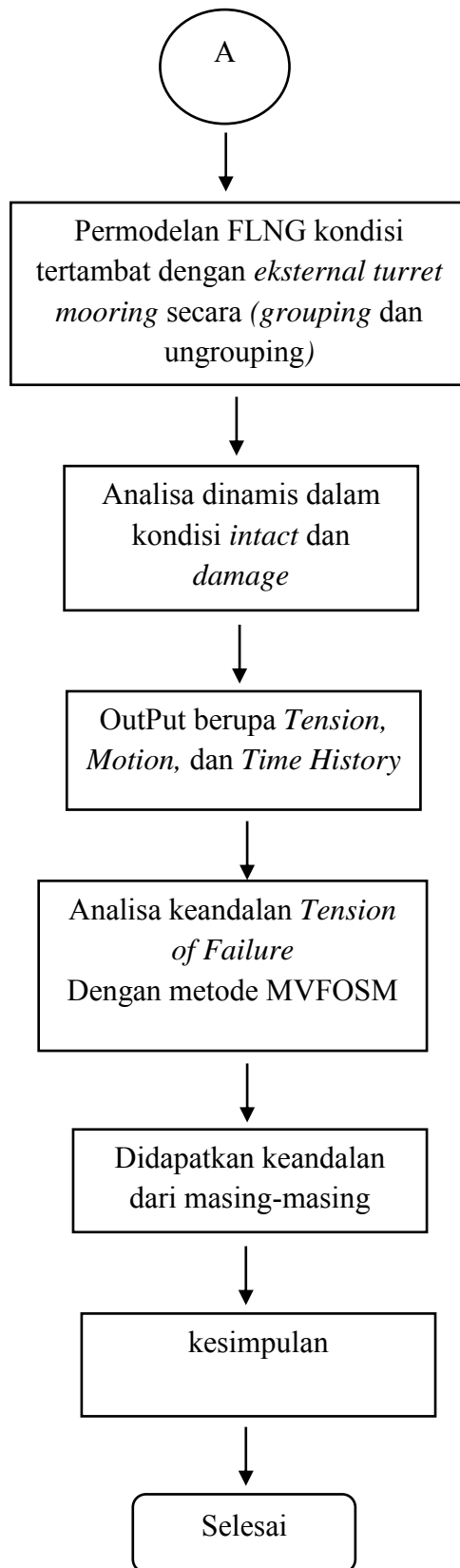
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Langkah Kerja

Secara sistematis langkah-langkah penelitian dalam tugas akhir ini disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.1 dibawah ini.







**Gambar 3. 1** Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir

Langkah-langkah yang digunakan dalam metode penelitian kali ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Pada tahap Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai acuan seperti jurnal, buku, dan referensi lain seperti tugas akhir terdahulu dan artikel di internet. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisa permasalahan pada penelitian ini. Selain itu juga dilakukan pencarian literatur untuk mendapatkan data struktur kapal yang digunakan dan mencari data dari *eksternal turret mooring* yang akan di analisa. Dan dalam penelitian kali ini data struktur yang akan digunakan didapatkan dari perusahaan Saipem.
2. Pada tahap permodelan struktur kondisi free floating dalam tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Mosses*. Kapal beserta *eksternal turret mooring* akan dimodelkan berdasarkan data-data yang telah didapatkan, hal ini digunakan untuk mendapatkan keadaan kapal pada saat belum tertambat.
3. Validasi Model struktur kapal yang telah dimodelkan diperiksa kesesuaiannya dengan data struktur yang sudah ada dengan lapangan. Untuk validasi model dilakukan analisa hidrostatis dengan bantuan perangkat lunak Maxsurf.
4. Pada tahap Permodelan Struktur Tertambat dengan *eksternal turret mooring* ini akan dilakukan permodelan kapal dengan kondisi tertambat secara *grouping* dan *ungrouping* dengan bantuan software Orcflex. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, *grouping* adalah kondisi persebaran dari *mooring line* dibeberapa sisi. Sedangkan untuk keadaan *ungrouping* adalah kondisi persebaran dari *mooring line* membentuk sudut yang simetris.
5. Pada tahap analisa dinamis pada struktur, akan dilakukan analisa untuk mengetahui *motion* dari kapal dan *tension* dari *mooring line* pada saat

kondisi tertambat dengan *eksternal turret mooring* secara *grouping* maupun *ungrouping* dengan keadaan beban yang akan berubah dalam fungsi waktu. Mengacu dari API RP2SK , untuk menganalisa *motion* struktur dan *tension* pada *mooring line* harus dilakukan simulasi ketika keadaan *intact* dan keadaan *one damage line*. Input yang diperlukan untuk analisa dinamis adalah RAO *displacement*, *load* RAO, *wave drift force*, *added mass* dan *damping force*. Serta beban lingkungan (angin, gelombang, dan arus) yang digunakan dengan menggunakan *spectrum gelombang jonswap* selama 3 jam.

6. Setelah diketahui *motion* dari kapal dan *tension* dari *mooring line* dengan berbagai kondisi. Selanjutnya untuk menganalisa keandalan dari masing-masing sistem *eksternal turret mooring* secara *grouping* dan *ungrouping* dengan menggunakan metode MVFOSM. Pada tahap ini ditentukan mode kegagalannya adalah *mooring line* yang putus dikarenakan beban yang bekerja lebih besar dari tegangan ijinnya. Yang pertama dilakukan adalah menentukan sebaran dari *tension* yang bekerja pada *mooring line*. Lalu menentukan distribusi dari *tension* yang bekerja.
7. Setelah dilakukan analisa keandalan dengan metode MVFOSM maka akan diketahui perbedaan keandalan dari konfigurasi *eksternal turret mooring* secara *grouping* atau *ungrouping*. Dengan itu maka bisa ditentukan konfigurasi mana yang paling handal antara kedua sistem tersebut. Setelah analisa dan pembahasan dilakukan maka dilakukan proses lanjutan yang sekaligus menjadwab dari tujuan penelitian ini yaitu lalu dilakukan penarikan kesimpulan serta memberikan masukan untuk penelitian selanjutnya

### 3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulandata-data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Data struktur

Data-data *structural* yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi data-data yang berkenaan dengan FLNG dan bagian yang dibutuhkan untuk analisa lebih lanjut, yaitu data dimensi struktur dan *general arrangement* FLNG, data *mooring lines* dari FLNG,dan data lingkungan daerah operasi FLNG.

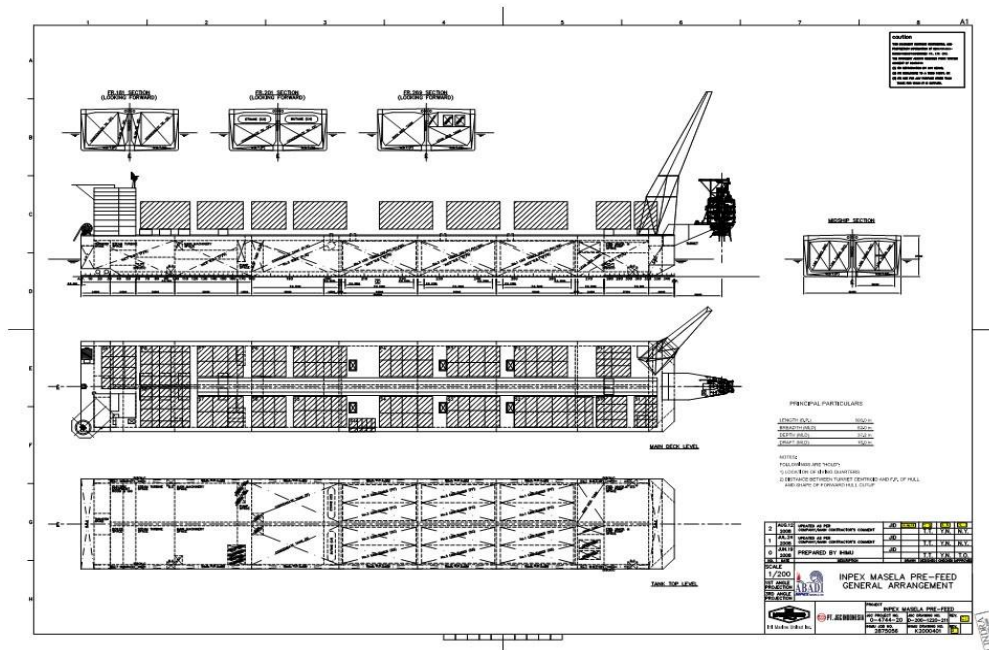
#### 3.2.2 Data FLNG

Data dimensi struktur FLNG yang digunakan untuk analisa dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini:

**Tabel 3. 1** Data Dimensi Struktur FLNG

| <b>Parameter</b> | <b>Ukuran</b> | <b>Satuan</b> |
|------------------|---------------|---------------|
| Loa              | 420           | m             |
| B                | 70            | m             |
| H                | 36            | m             |
| T                | 15,5          | m             |
| Displacement     | 424915        | ton           |
| LCG              | 209,5         | m             |
| KG               | 25,49         | m             |

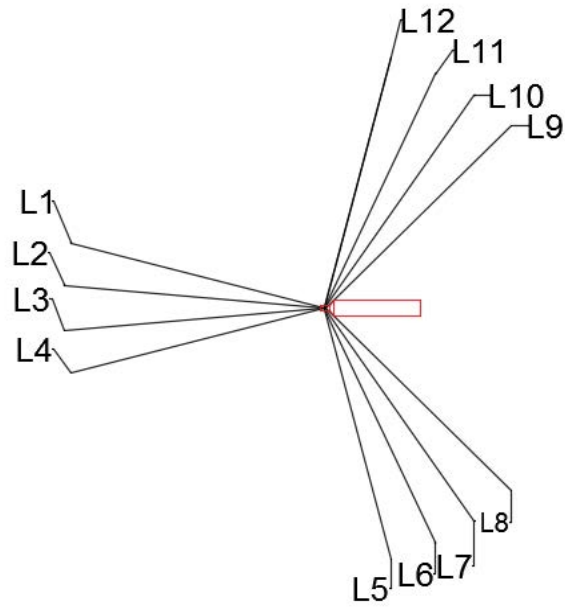
Adapun untuk *general arrangement* FLNG yang digunakan adalah sebagai berikut:



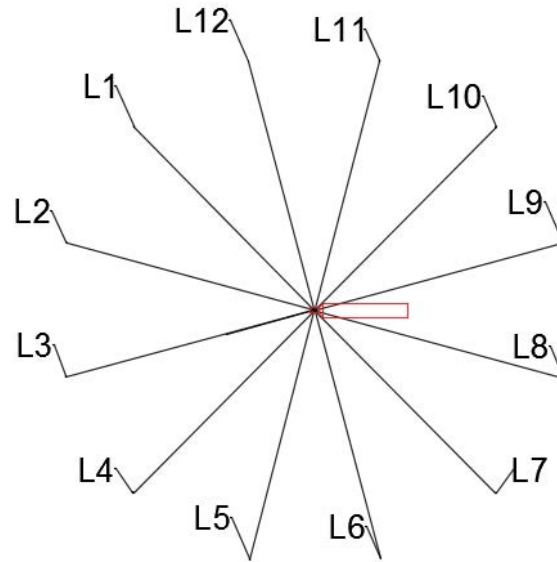
**Gambar 3. 2** *General Arrangement* FLNG (saipem, 2013)

### 3.2.3 Struktur Mooring

Konfigurasi *anchor leg system* terdiri dari 12 *line* yang tersusun atas 3 grup dengan 4 buah *anchor leg* pada tiap-tiap grup. Tiap grup *anchor leg* terpisah dengan sudut  $120^\circ$ , dimana tiap *lines* dalam satu grup terpisah dengan sudut  $10^\circ$ . Tiap *anchor leg* ditambat dengan radius  $\sim 1.290$  meter dari *turret attachment point*. Tiap *anchor leg* tersusun atas kombinasi *chain* dan potongan *spiral strand wire* yang berujung pada jangkar tipe pile (*pile suction*). Berikut adalah gambar konfigurasi *line* dan penomorannya yang akan dianalisis:



**Gambar 3. 3** Konfigurasi *Grouping Eksternal Turret Mooring* tampak atas



**Gambar 3. 4** Konfigurasi *Ungrouping Eksternal Turret Mooring* tampak atas

Secara detail data tiap *mooring line* yang digunakan dari 12 buah yang operasinya di kedalaman 600 m dapat dilihat pada table 4.2 berikut ini:

**Tabel 3. 2** Radius *mooring line* dan panjang dari setiap *segment line* (saipem,2013)

| <i>Mooring Line</i> | Anchoring Radius (m) | Top chain (m) | Wire Rope (m) | Bottom Chain (m) |
|---------------------|----------------------|---------------|---------------|------------------|
| 1                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 2                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 3                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 4                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 5                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 6                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 7                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 8                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 9                   | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 10                  | 1290                 | 60            | 905           | 500              |
| 11                  | 1290                 | 60            | 905           | 500              |

**Tabel 3. 3** Properti dari setiap *segment line* (saipem,2013)

| Keterangan      |      | Top /Bottom Chain | Wire Rope |
|-----------------|------|-------------------|-----------|
| Diameter        | mm   | 122               | 98        |
| Type            | -    | studless          | SRP2plus  |
| Grade           | -    | R3                | -         |
| Weight in air   | kg/m | 298               | 54        |
| weight in water | kg/m | 259               | 43        |
| EA              | MN   | 1262              | 954       |
| MBL             | Kn   | 11365             | 9457      |

#### 4.1.4 Data Lingkungan

Data lingkungan yang dipakai meliputi data gelombang, data angin, dan data arus 200 tahunan, yang akan digunakan dalam perhitungan pembebanan dari beban lingkungan selama operasi. Dari tinjauan wilayah operasinya, data-data tersebut meliputi, data gelombang, data angin serta data arus sebesar:

**Tabel 3. 4** Data Lingkungan (Omni directional intensity parameters)

| Intensity Paramter | Unit | Wind Peak | Wave Peak | Current Peak |
|--------------------|------|-----------|-----------|--------------|
| Vw                 | m/s  | 24,37     | 24,37     | 23,48        |
| Hs                 | m    | 7,07      | 7,28      | 6,46         |
| Tp                 | s    | 10,6      | 10,74     | 10,17        |
| g                  | -    | 1,36      | 1,36      | 1,32         |
| Vc                 | m/s  | 1,29      | 1,08      | 1,39         |

**Tabel 3. 5** Ketebalan *Marine Growth* Terhadap Kedalaman (saipem,2013)

|                             | Year | Depth (m) |       |        |         |         |         |
|-----------------------------|------|-----------|-------|--------|---------|---------|---------|
|                             |      | 0-10      | 10-75 | 75-105 | 105-125 | 125-250 | 250-600 |
| Total Growth Thickness (mm) | 5    | 15        | 65    | 35     | 15      | 3       | 1       |
|                             | 10   | 23        | 100   | 55     | 25      | 4       | 2       |
|                             | 15   | 30        | 125   | 70     | 30      | 6       | 4       |
|                             | 20   | 38        | 145   | 85     | 40      | 7       | 5       |
|                             | 25   | 45        | 175   | 95     | 45      | 10      | 6       |
|                             | 30   | 53        | 210   | 105    | 65      | 13      | 8       |
|                             | 40   | 68        | 260   | 120    | 85      | 20      | 10      |

**Tabel 3. 6** Laju Korosi untuk 30 Tahun (saipem,2013)

|           | Rate | Unit        |
|-----------|------|-------------|
| Corrosion | 0,4  | mm/year     |
|           | 1,2  | mm/30 years |



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

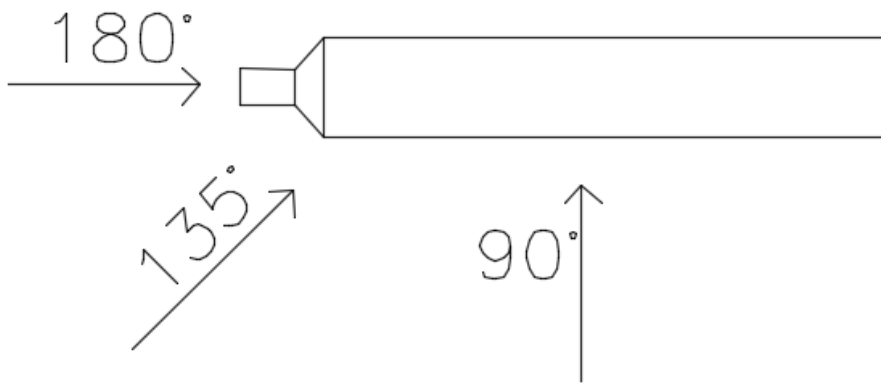
#### 4.1 Skenario Pemodelan dan Pembebanan

Sebelum memulai pemodelan struktur lebih lanjut, terlebih dahulu disusun skenario pemodelan dan pembebanan yang sekiranya diperlukan. Dalam penelitian tugas akhir ini, struktur FLNG dengan kondisi *full load* akan dianalisa menggunakan dua variasi sistem tambat. Sistem tambat yang akan diteliti adalah *eksternal turret mooring system* dengan menggunakan konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dan *ungrouping*. Berikut merupakan skenario pemodelan dan pembebanan yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini :

**Tabel 4. 1** Skenario Permodelan dan Pembebanan

| No | Struktur | Jenis Sistem Tambat | Arah Pembebanan | Kondisi |
|----|----------|---------------------|-----------------|---------|
| 1  | FLNG     | <i>Grouping</i>     | 180 °           | Intact  |
| 2  |          |                     |                 | Damage  |
| 3  |          | <i>Ungrouping</i>   | 180 °           | Intact  |
| 4  |          |                     |                 | Damage  |
| 5  | FLNG     | <i>Grouping</i>     | 90 °            | Intact  |
| 6  |          |                     |                 | Damage  |
| 7  |          | <i>Ungrouping</i>   | 90 °            | Intact  |
| 8  |          |                     |                 | Damage  |
| 9  | FLNG     | <i>Grouping</i>     | 135 °           | Intact  |
| 10 |          |                     |                 | Damage  |
| 11 |          | <i>Ungrouping</i>   | 135 °           | Intact  |
| 12 |          |                     |                 | Damage  |

Dari tabel diatas dapat dilihat akan dilakukan 4 permodelan dengan kasus yang berbeda. Pada nantinya akan dilakukan perbandingan antara *offset* FLNG ketika keadaan *free floating* dengan keadaan tertambat jika menggunakan konfigurasi *mooring lines* secara *grouping* maupun *ungrouping*.



**Gambar 4. 1** Gambaran Arah Pembebanan

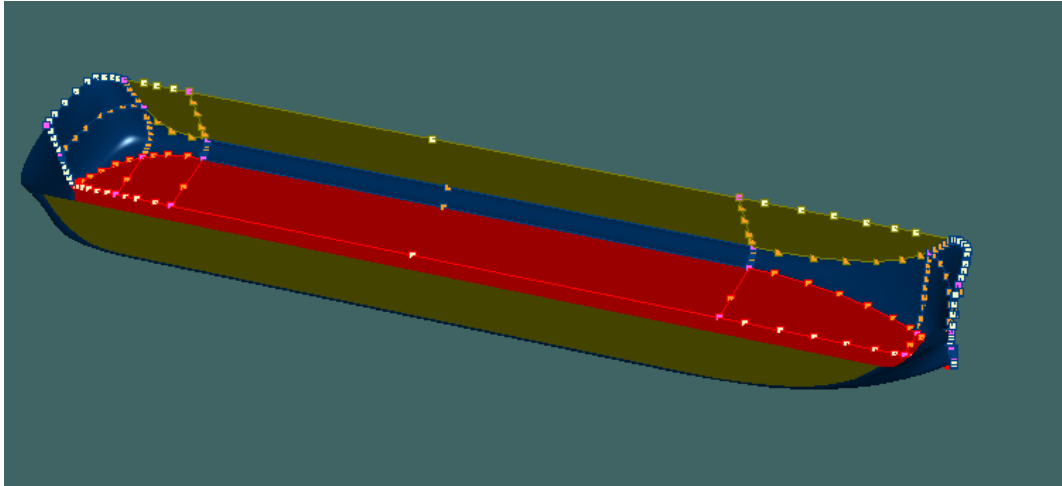
## 4.2 Permodelan Struktur

Untuk menunjang penelitian kali ini, ada tiga *software* permodelan yang digunakan yaitu :

1. Permodelan dengan menggunakan *software Maxsurf*, untuk mengetahui bentuk tiga dimensi dari FLNG yang digunakan sebagai objek penelitian. Selain itu, *output* dari *software* ini adalah hidrostatis struktur dan *marker* setiap *station* dari FLNG tersebut yang akan digunakan dalam permodelan selanjutnya.
2. Permodelan dengan menggunakan *Moses*, untuk mendapatkan *wave drift*, *added mass*, *damping force*, *RAO motion* dan *hidrostatis* dari FLNG tersebut.
3. Permodelan dengan *Orcaflex*, untuk mendapatkan *motion* FLNG ketika di tambat dan untuk mendapatkan besar *tension* yang terjadi pada setiap *mooring lines* berdasarkan *time domain*.

### 4.2.1 Permodelan FLNG Menggunakan Software Maxsurf V8i

Untuk mengetahui bentuk tiga dimensi dari FLNG yang akan digunakan dalam penelitian kali ini, diperlukan permodelan dengan *software Maxsurf* dengan menggunakan data-data yang sudah didapatkan dari perusahaan terkait seperti yang sudah dijelaskan di bab sebelumnya.



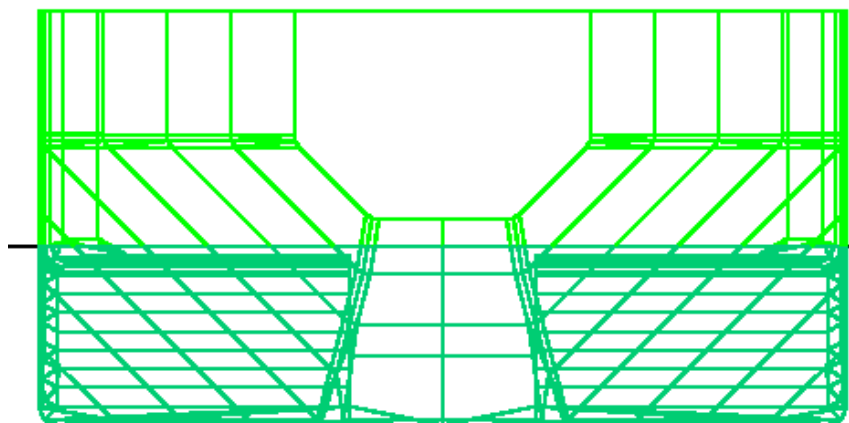
**Gambar 4. 2** Model FLNG dengan *Software Maxsurf*

#### 4.2.2 Permodelan FLNG Menggunakan Software Moses

Untuk mendapatkan parameter *wave drift*, *added mass*, *damping force*, dan *RAO motion* dalam permodelan harus diawali dengan membuat *surface* sesuai kordinat geometri *hull* FLNG yang didapatkan dari *Maxsurf*.



**Gambar 4. 3** Model Geometri hull FLNG



**Gambar 4. 4** Model Geometri *bodyplan* FLNG

### 4.2.3 Validasi Permodelan untuk FLNG

Untuk menjamin kevalidan model, maka perlu adanya verifikasi untuk mengetahui selisih dari masing-masing model dan data. Menurut ABS selisih dari model dengan data tidak boleh lebih dari 2%. Hal-hal yang divalidasi adalah hidrostatis FLNG dari kedua model dibandingkan dengan data. Hasil validasi dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 4. 2** Validasi FLNG Data, Maxsurf, dan Moses

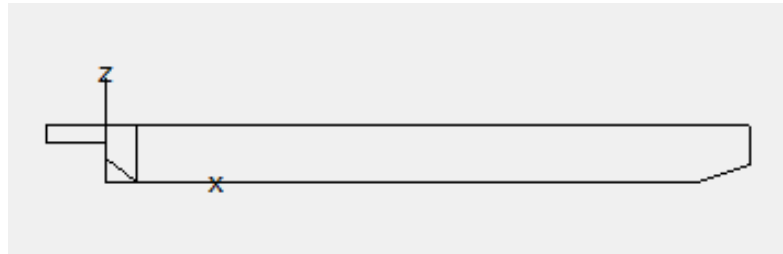
| PARAMETER    | SATUAN | DATA   | MAXSURF | ERROR<br>% | MOSES  | ERROR% |
|--------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|
|              |        |        |         |            |        |        |
| LOA          | m      | 420    | 420,115 | 0,0        | 420    | 0,0    |
| B            | m      | 70     | 70      | 0,0        | 70     | 0,0    |
| H            | m      | 36     | 36      | 0,0        | 36     | 0,0    |
| T            | m      | 15,5   | 15,5    | 0,0        | 15,5   | 0,0    |
| DISPLACEMENT | m-tons | 424915 | 424100  | 0,2        | 419198 | 1,4    |

**Tabel 4. 3** Validasi FLNG Maxsurf dan Moses

| PARAMETER                          | SATUAN         | MAXSURF | MOSES  | error dari<br>maxsurf |   |
|------------------------------------|----------------|---------|--------|-----------------------|---|
|                                    |                |         |        |                       |   |
| WPA                                | m <sup>2</sup> | 279441  | 27731  | 0,90                  | % |
| keel to metacenter<br>transversal  | m              | 34,58   | 34,89  | 0,01                  | % |
| keel to metacenter<br>longitudinal | m              | 907,976 | 902,01 | 0,01                  | % |
| LCB                                | m              | 215     | 214    | 0,00                  | % |
| BMT                                | m              | 26,632  | 26,89  | 0,01                  | % |
| BML                                | m              | 900,028 | 894,02 | 0,01                  | % |

#### 4.2.4 Permodelan FLNG Tertambat Menggunakan Orcaflex

Setelah permodelan *surface* FLNG dan mendapatkan nilai *added mass*, *damping*, *load rao*, *displacement rao*, dan *wave drift force*, maka selanjutnya adalah permodelan FLNG dengan kondisi tertambat. Pertama yang dilakukan adalah membuat *hull* FLNG dengan menentukan titik dari geometri *hull* FPSO yang kemudian titik itu akan dihubungkan dengan garis, sehingga membentuk sebuah *surface* yang utuh di *software orcaflex 6.2* ini. Gambar dibawah ini menjelaskan tentang bentuk FLNG pada *software orcaflex 6.2*. Bisa dilihat bahwa *reference point* pada gambar ini berada di tengah-tengah AP.



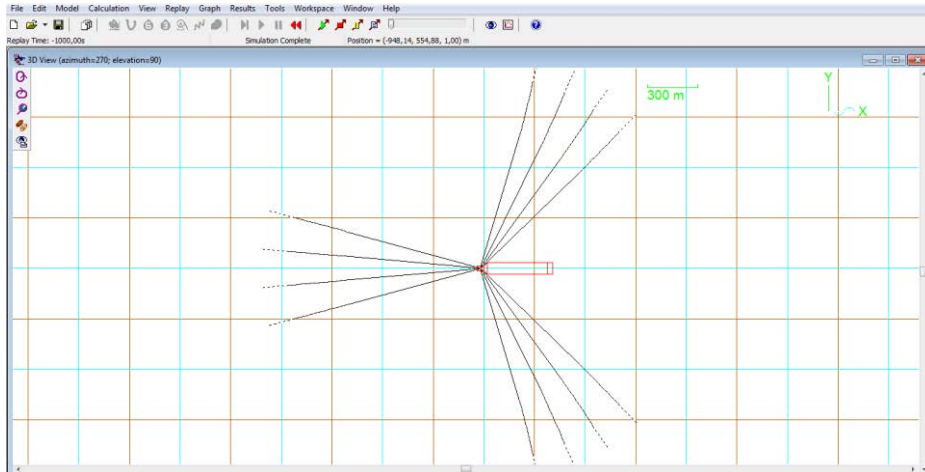
**Gambar 4. 5** Gambar FLNG Tampak Samping



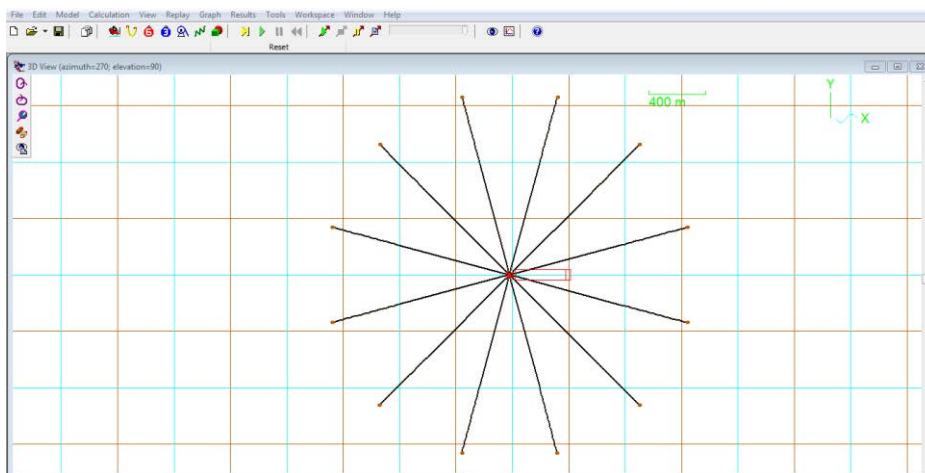
**Gambar 4. 6** Gambar FLNG Tampak Atas

Output dari *orcaflex 6.2* ini adalah *motion* dan *offset* dari FLNG sebelum ditambat dan setelah ditambat, serta berapa besar *tension* pada setiap *mooring lines* berbasis *time domain*. Dalam penelitian ini ada dua konfigurasi *mooring lines* yang digunakan, *grouping* dan *ungrouping*. Setiap konfigurasi mempunyai 12 *mooring lines* dengan radius penambatan 1290 m dan pada kedalaman 600 m.

Gambar dibawah ini adalah konfigurasi *mooring line* yang dilihat dari tampak atas. Untuk konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dan *ungrouping* sama sama dikenai arah pembebanan *head seas*



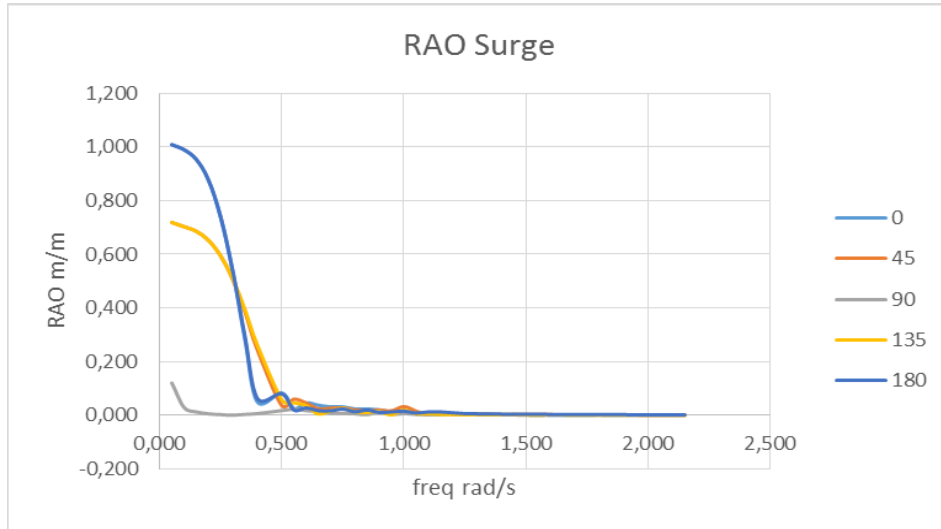
**Gambar 4. 7** Konfigurasi *Grouping* Tampak Atas dengan Pembebanan  $180^0$



**Gambar 4. 8** Konfigurasi *Ungrouping* Tampak Atas dengan Pembebanan  $180^0$

### 4.3 Analisa Gerakan RAO

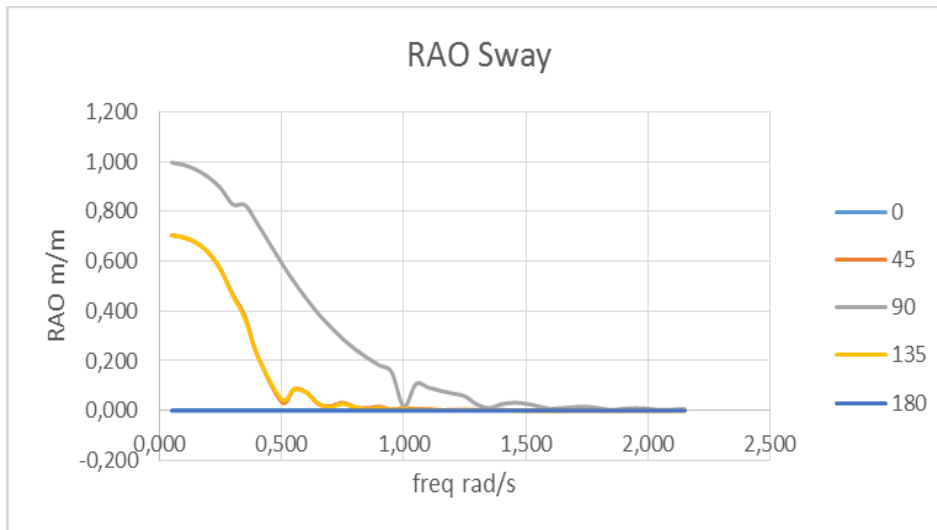
Dalam analisis ini, data yang dimasukkan yaitu sarat air, arah pembebanan, jari-jari girasi dan *center of gravity*. Dibawah ini terdapat grafik RAO motion dari FLNG dengan kondisi *free floating* di gambar 4.7 sampai 4.12. yang telah dikelompokkan berdasarkan 6 derajat gerakan kebebasannya.



**Gambar 4. 9** Grafik RAO FLNG Gerakan *Surge*

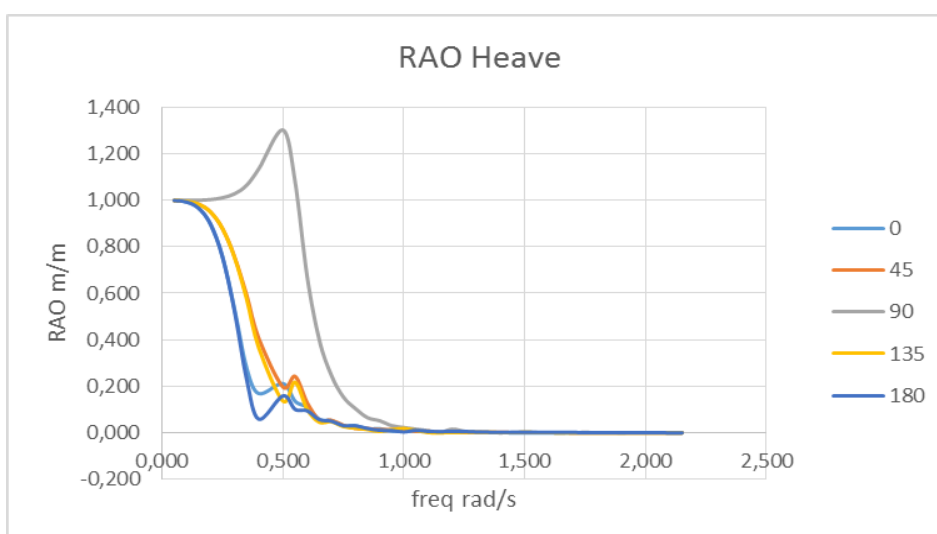
Dari grafik gerakan RAO *surge*, bisa dilihat bahwa gerakan tinggi terjadi pada frekuensi rendah yaitu antara 0,1-0,3 rad/s. Pada gerakan ini gelombang dari arah  $0^0$  dan  $180^0$  tampak lebih dominan dengan besar 1,01 m/m. Untuk arah gelombang  $45^0$  dan  $135^0$  mempunyai nilai yang hampir sama besar yaitu 0,72 m/m, sementara gelombang dari arah  $90^0$  merupakan yang paling tidak dominan hanya 0,12 m/m. Hal ini terjadi dikarenakan *surge* adalah gerakan translasional pada sumbu x. Maka dari itu nilai RAO yang dikarenakan gelombang *head seas* maupun *following seas* akan lebih besar dari yang lain.





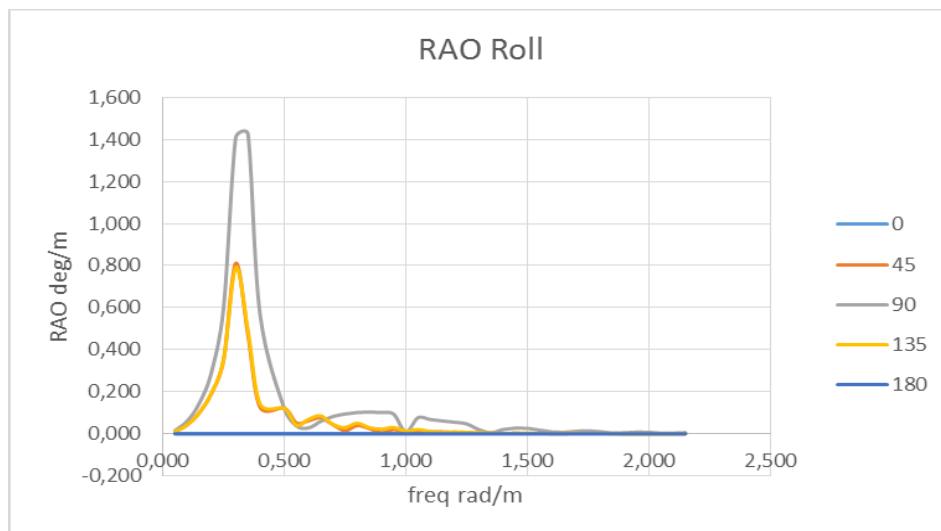
**Gambar 4. 10** Grafik RAO FLNG Gerakan Sway

Dari grafik gerakan RAO *sway*, bisa kita lihat terjadi gerakan yang lebih dominan pada frekuensi rendah yaitu antara 0,1-0,5 rad/s. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak tidak dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan dengan besar 1m/m - berkebalikan dengan gerakan *surge*. Untuk arah datang gelombang 45° dan 135° memiliki amplitudo terbesar yaitu 0,7 m/m Hal ini dapat dimaklumi mengingat *sway* adalah gerakan translasional pada sumbu y.



**Gambar 4. 11** Grafik RAO FLNG Gerakan *Heave*

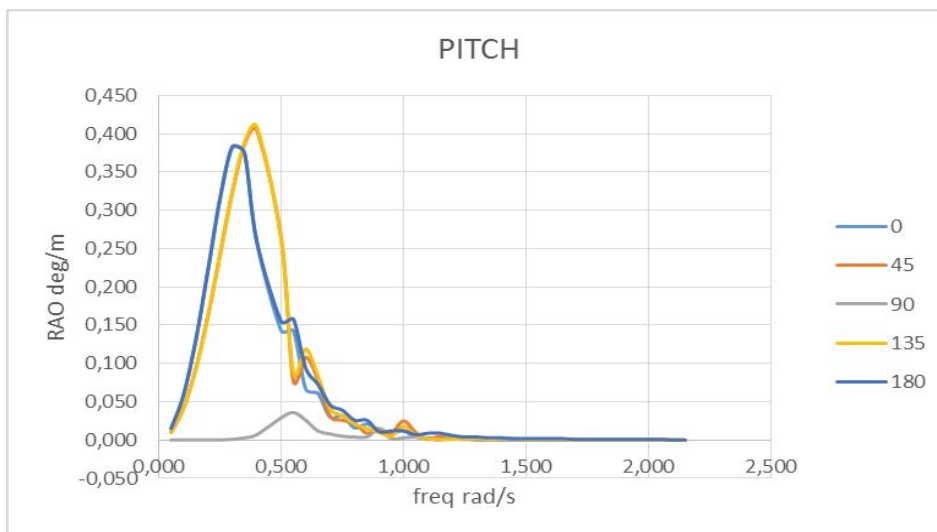
Dari grafik gerakan RAO *heave* pada gambar 4.9, terjadi gerakan amplitudo yang lebih dominan dari frekuensi antara 0,4-0,5 rad/s. Untuk gerakan *heave* bisa kita lihat yang paling dominan adalah ketika struktur mengalami arah pembebanan dari 90<sup>0</sup> dengan besar 1,3 m/m. Sementara untuk arah gelombang 0<sup>0</sup>, 45<sup>0</sup>, 135<sup>0</sup>, dan 180<sup>0</sup> amplitudo terbesar untuk gerakan *heave* adalah 1m/m. Setelah melewati frekuensi 0,4-0,5 rad/s yang mana adalah frekuensi dimana terjadinya amplitudo maksimal, gerakan dari arah datang gelombang 0<sup>0</sup>, 45<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup>, 135<sup>0</sup> dan 180<sup>0</sup> relatif menurun. Dan pada frekuensi 1,5 rad/s gerakan relatif kecil mendekati 0.



**Gambar 4. 12** Grafik RAO FLNG Gerakan *Roll*

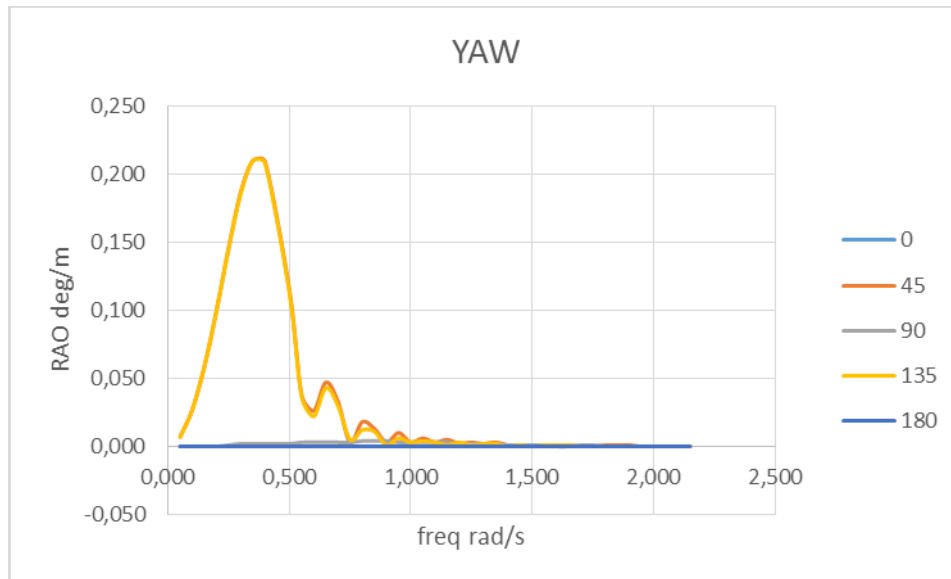
Dari grafik gerakan RAO *roll* pada gambar 4.10, bisa dilihat gerakan amplitudo yang terbesar terjadi ketika frekuensi antara 0,3-0,4 rad/s. Besar gerakan amplitudo pada frekuensi tertinggi mencapai 1,43 deg/m, dengan arah datang gelombang yang menyebabkan gerakan yang relatif dominan dari arah 90<sup>0</sup>. Untuk arah datang gelombang 45<sup>0</sup> dan 135<sup>0</sup> memiliki besar amplitudo 0,8 deg/m. Untuk arah datang gelombang 0<sup>0</sup> dan 180<sup>0</sup> didapatkan besar amplitudo untuk gerakan *roll* adalah sangat kecil, bahkan relatif tidak ada gerakan sama sekali.

Dari grafik gerakan RAO *pitch* terjadi gerakan yang terbesar pada frekuensi antara 0,3-0,4 rad/s. Gerakan amplitudo yang terbesar terjadi pada saat frekuensi tersebut mencapai 0,41 deg/m dari arah 45<sup>0</sup> dan 135<sup>0</sup>. Lalu ketika struktur mengalami arah pembebanan dari 0<sup>0</sup> dan 180<sup>0</sup> gerakan yang dihasilkan tidak jauh berbeda, dan memiliki besar gerakan amplitudo sebesar 0,38 deg/m. Sedangkan untuk arah datang 90<sup>0</sup>, gerakan yang terjadi relatif kecil dengan besar 0,4 deg/m pada frekuensi 0,04 rad/s.



**Gambar 4. 13** Grafik RAO FLNG Gerakan *Pitch*

Pada grafik gerakan RAO *yaw*, bisa dilihat bahwa hanya arah pembebanan dari 135<sup>0</sup> dan 45<sup>0</sup> yang dominan. Gerakan dominan juga terjadi pada frekuensi sekitar 0,3-0,4 rad/s dengan nilai 0,21deg/m. Untuk arah datang gelombang yang lain gerakan amplitudo yang dihasilkan relatif rendah, ini bisa dimaklumi karena *yaw* adalah gerakan rotasional pada sumbu z.



**Gambar 4. 14** Grafik RAO FLNG Gerakan Yaw

Untuk memudahkan membaca, dibawah ini akan disajikan *summary* dari RAO FLNG maksimum FLNG pada kondisi *free floating*.

**Tabel 4. 4** RAO Maksimum FLNG kondisi *Free Floating*

| Heading | Surge<br>m/m | Sway<br>m/m | Heave<br>m/m | Roll<br>deg/m | Pitch<br>deg/m | Yaw<br>deg/m |
|---------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| 0       | 1,01         | 0,00        | 1,00         | 0,00          | 0,38           | 0,00         |
| 45      | 0,72         | 0,70        | 1,00         | 0,8           | 0,00           | 0,21         |
| 90      | 0,12         | 1,00        | 1,30         | 1,43          | 0,04           | 0,00         |
| 135     | 0,72         | 0,70        | 1,00         | 0,8           | 0,41           | 0,21         |
| 180     | 1,01         | 0,00        | 1,00         | 0,00          | 0,38           | 0,00         |

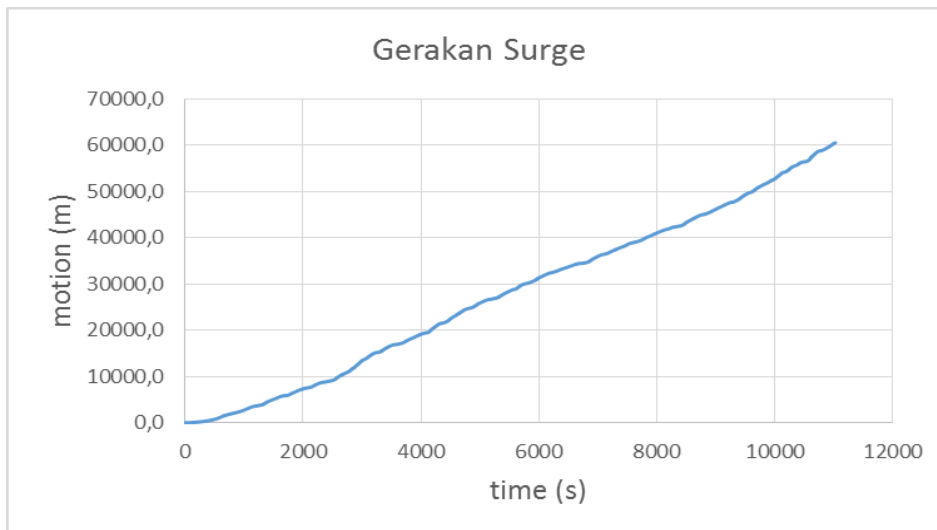
#### 4.4 Analisa Gerakan FLNG dengan Kondisi *Intact*

Langkah selanjutnya yaitu analisa gerakan FLNG pada saat *free floating* dan ditambah menggunakan penambat. Pada penelitian kali ini, jenis sistem tambat yang digunakan adalah *eksternal turret mooring* dengan dua konfigurasi yaitu, konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dan *ungrouping*. Arah pembebanan yang dilakukan adalah *head seas* ( $180^0$ ).

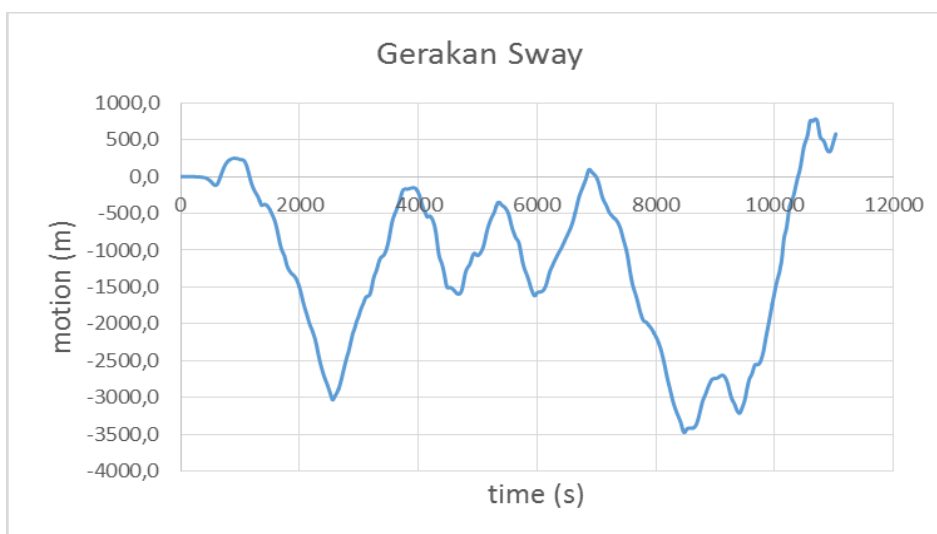
Setelah kedua konfigurasi diaplikasikan kepada FLNG, selanjutnya akan dikomparasi bagaimana *motion* dan *offset* dari dua konfigurasi *mooring line*

secara *grouping* maupun *ungrouping*. Tidak hanya *motion* dan *offset* saja yang dilihat, namun *mooring line tension* juga akan dibandingkan.

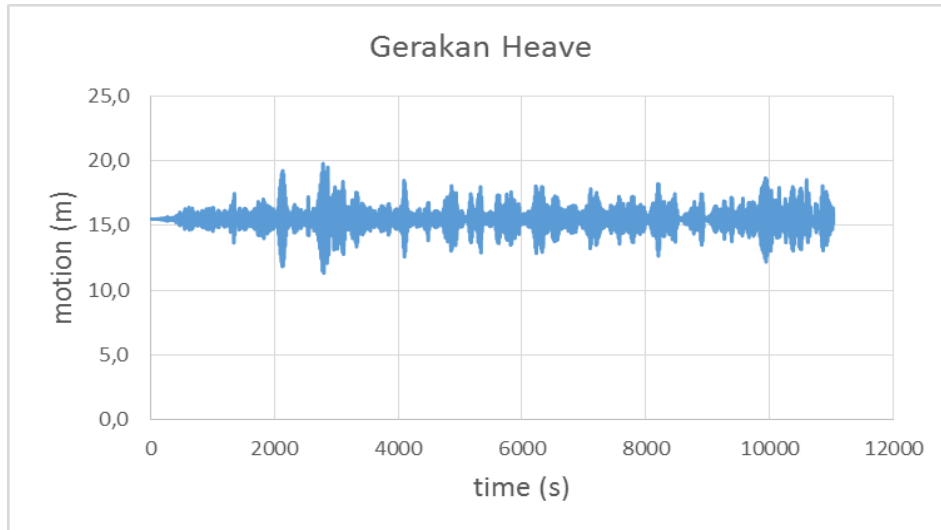
Pada grafik 4.13 sampai grafik 4.18 dibawah ini menggambarkan *motion* dari FLNG ketika pada kondisi *free floating* dengan arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*) dalam kurun waktu 11.000 detik. Untuk mempermudah membaca *motion* yang ada, grafik dipisahkan menurut gerakan enam derajat kebebasan.



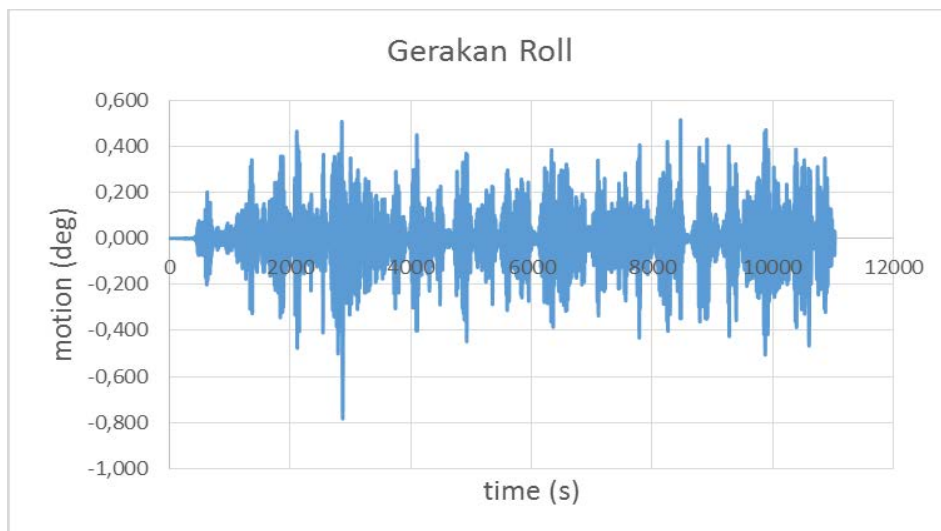
**Gambar 4. 15** Grafik Gerakan *Surge* FLNG Pada Kondisi *Free Floating*



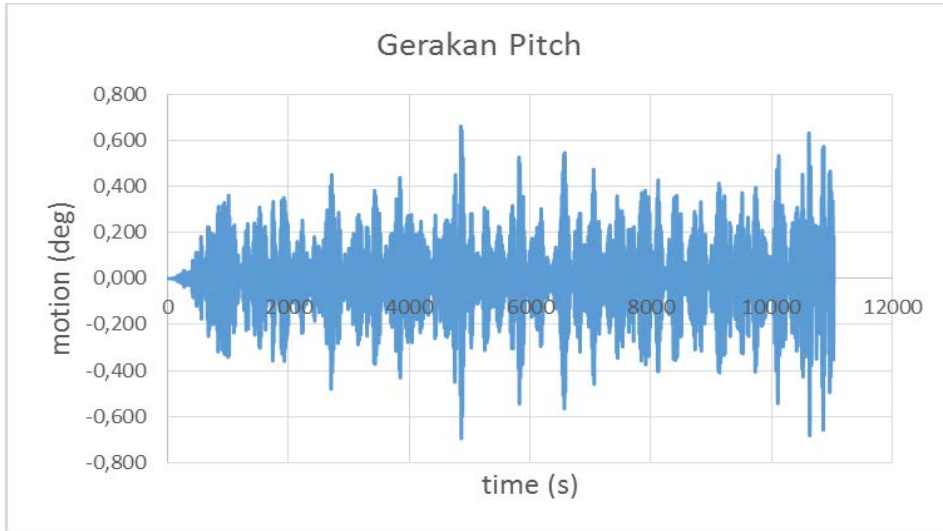
**Gambar 4. 16** Grafik Gerakan *Sway* FLNG Pada Kondisi *Free Floating*



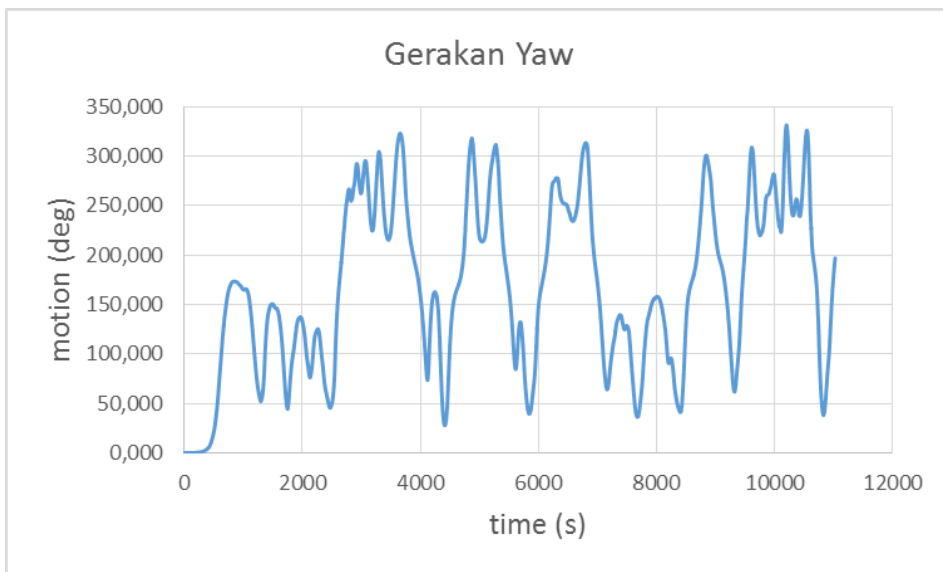
**Gambar 4. 17** Grafik Gerakan *Heave* FLNG Pada Kondisi *Free Floating*



**Gambar 4. 18** Grafik Gerakan *Roll* FLNG Pada Kondisi *Free Floating*

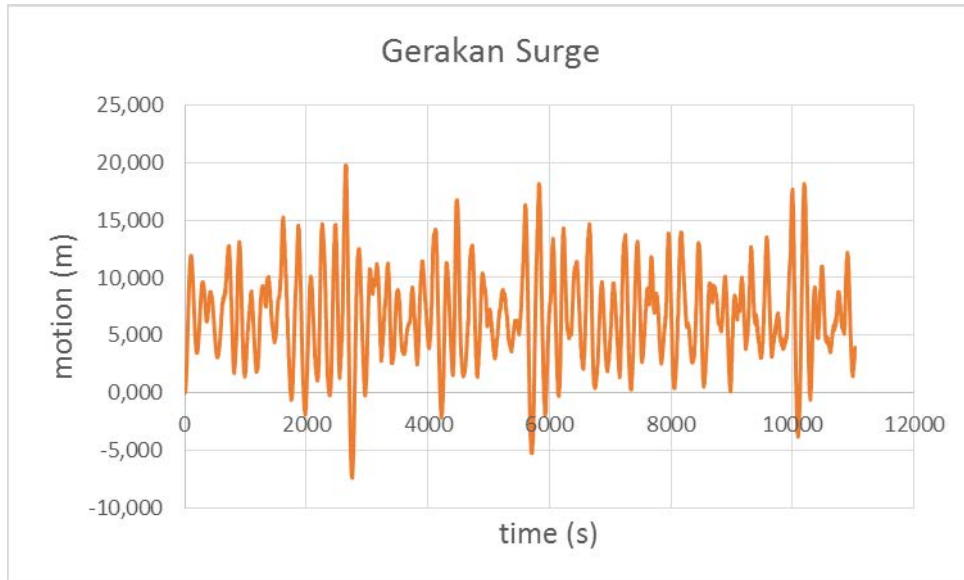


**Gambar 4. 19** Grafik Gerakan *Pitch* FLNG Pada Kondisi *Free Floating*

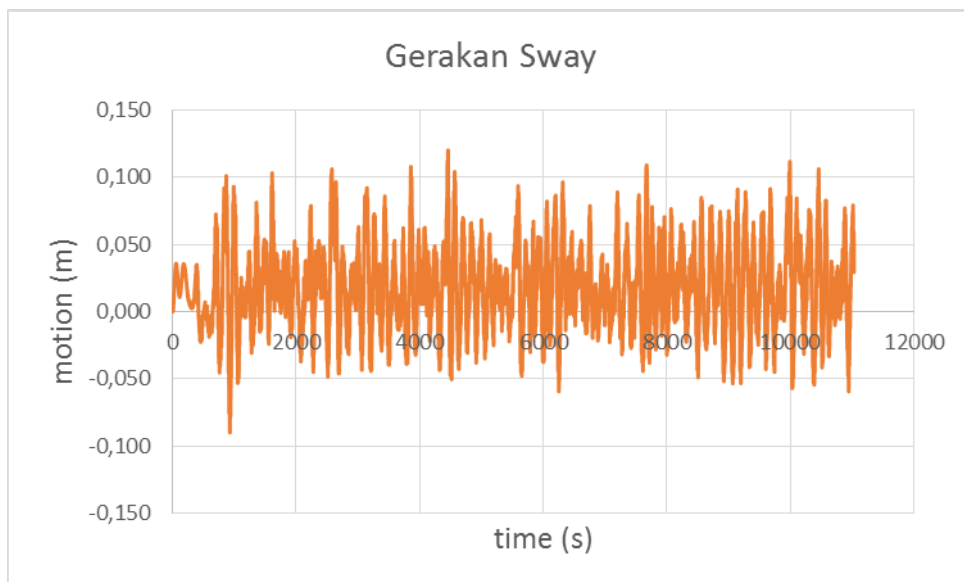


**Gambar 4. 20** Grafik Gerakan *Yaw* FLNG Pada Kondisi *Free Floating*

Pada grafik 4.19 sampai grafik 4.24 dibawah ini menggambarkan *motion* dari FLNG ketika kondisi ditambat menggunakan konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dengan arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*) dalam kurun waktu 11.000 detik. Untuk mempermudah membaca motion yang ada, grafik dipisahkan menurut gerakan enam derajat kebebasan.

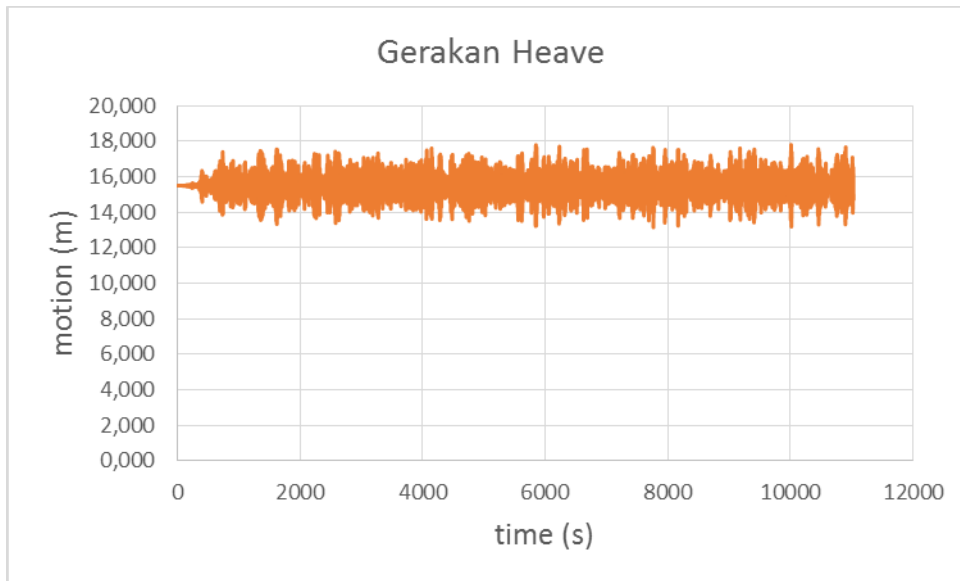


**Gambar 4. 21** Grafik Gerakan *Surge* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (intact)*

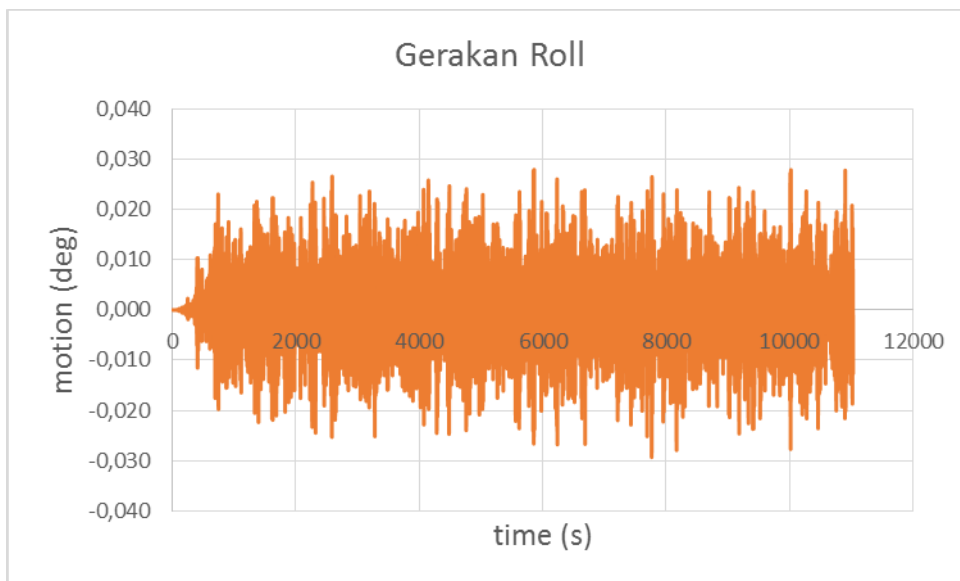


**Gambar 4. 22** Grafik Gerakan *Sway* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (intact)*

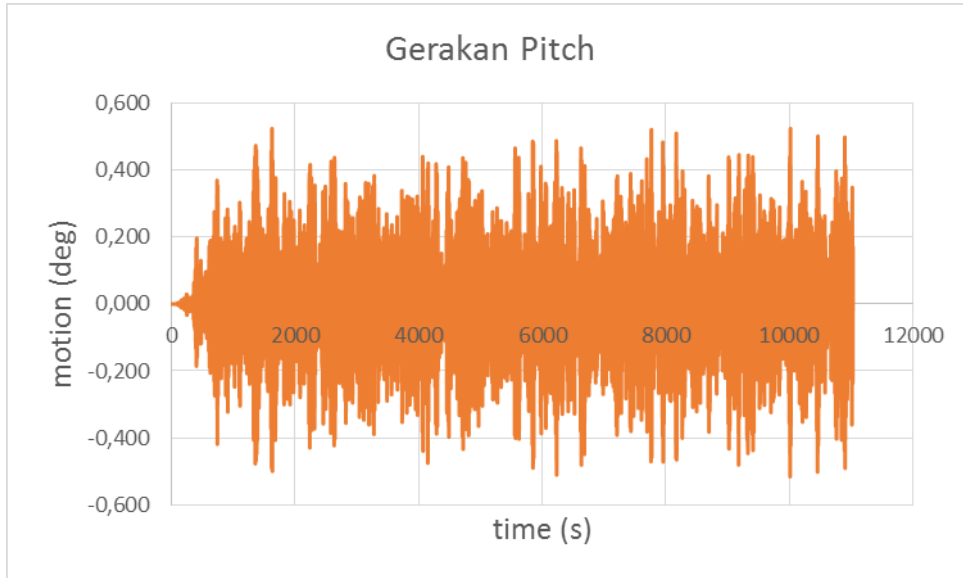




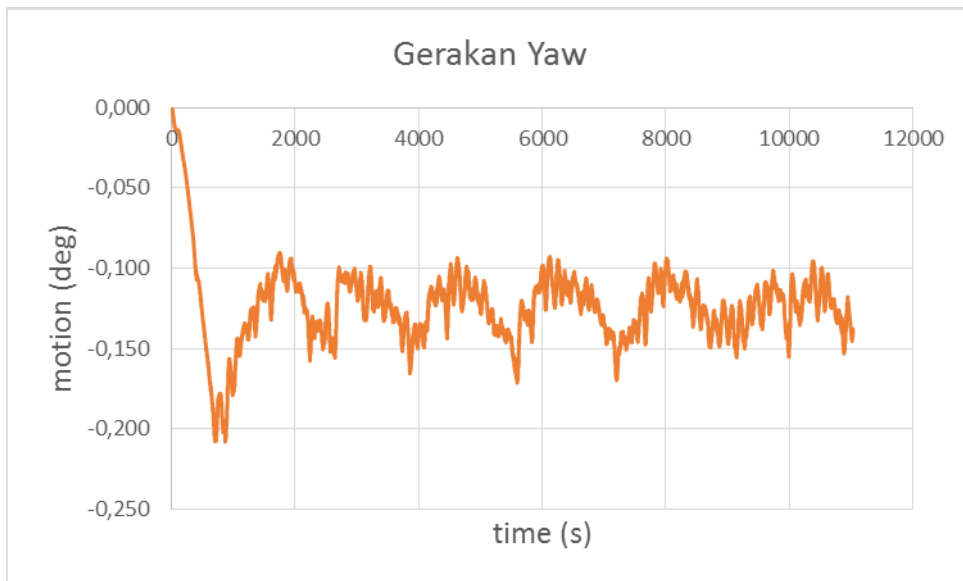
**Gambar 4. 23** Grafik Gerakan *Heave* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (intact)*



**Gambar 4. 24** Grafik Gerakan *Roll* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (intact)*

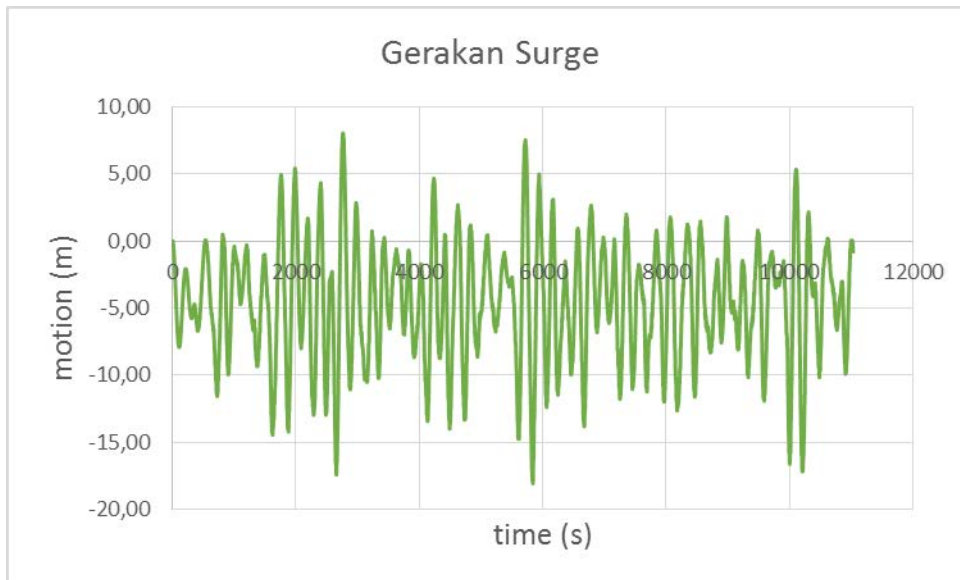


**Gambar 4. 25** Grafik Gerakan *Pitch* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (intact)*

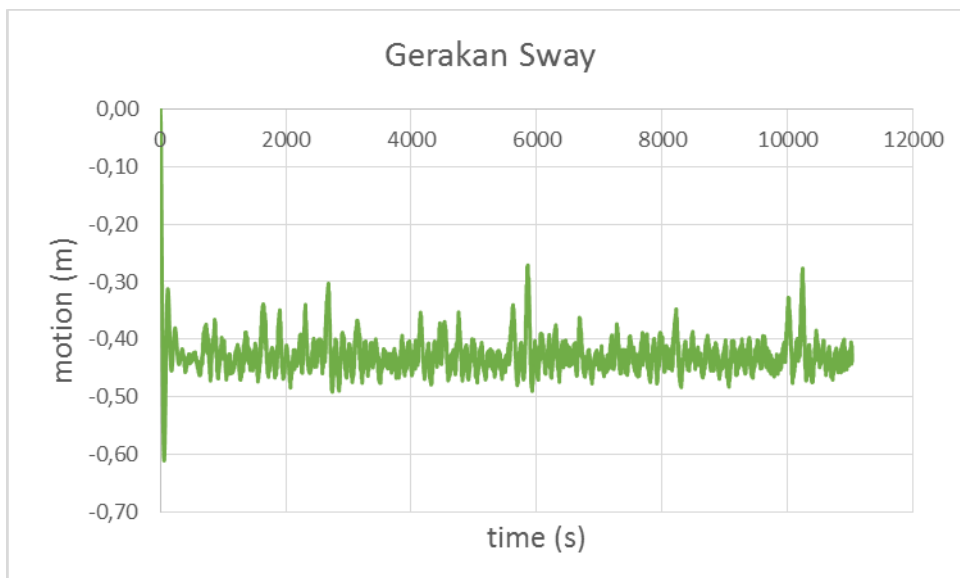


**Gambar 4. 26** Grafik Gerakan *Yaw* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (intact)*

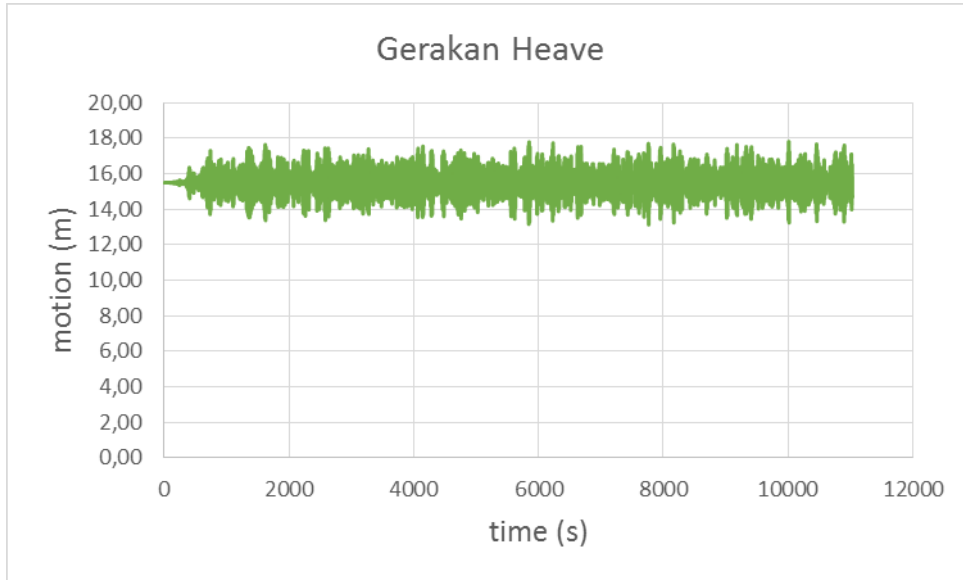
Pada grafik 4.24 sampai grafik 4.29 dibawah ini menggambarkan *motion* dari FLNG ketika kondisi ditambat menggunakan konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping* dengan arah pembebanan 180 (*head seas*) dalam kurun waktu 11.000 detik. Untuk mempermudah membaca *motion* yang ada, grafik dipisahkan menurut gerakan enam derajat kebebasan.



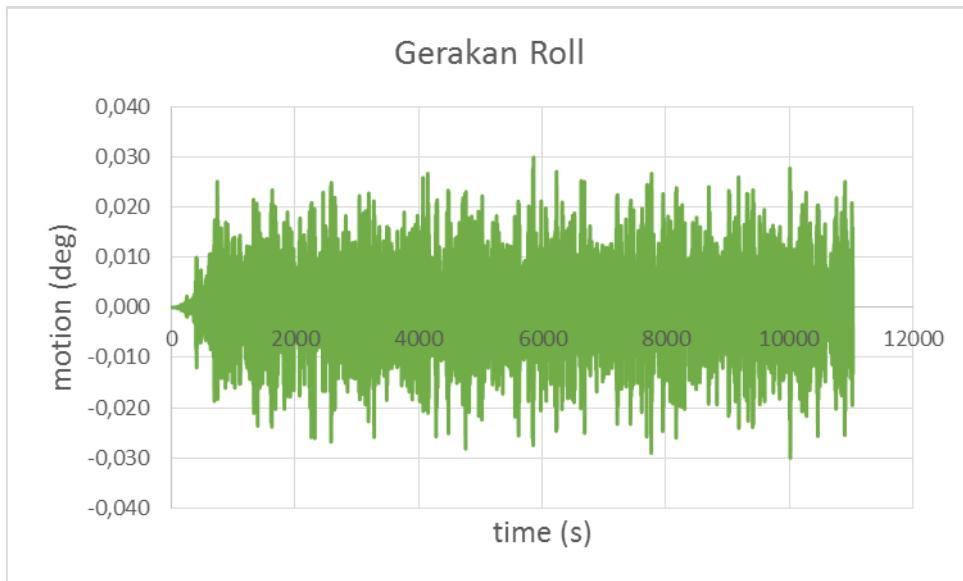
**Gambar 4. 27** Grafik Gerakan *Surge* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (intact)*



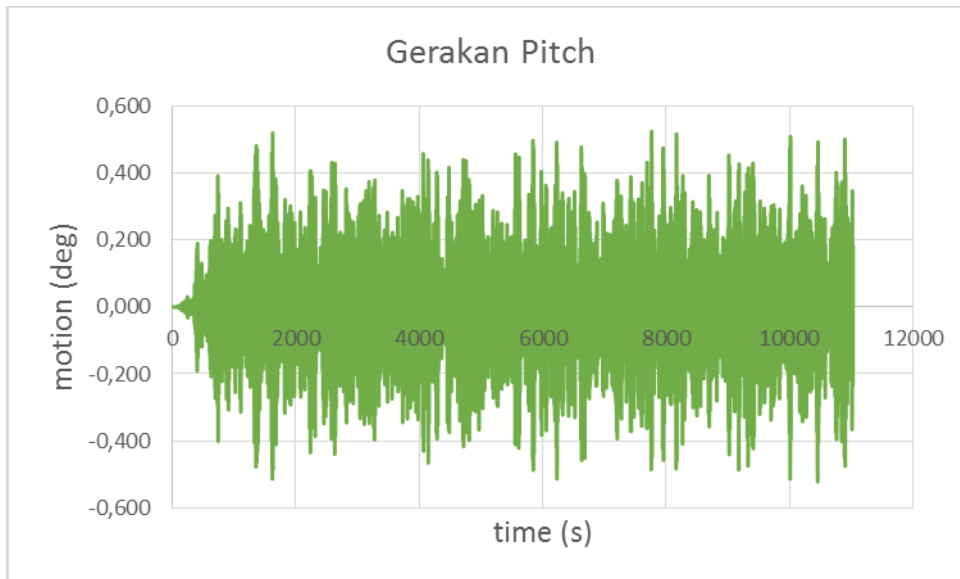
**Gambar 4. 28** Grafik Gerakan *Sway* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (intact)*



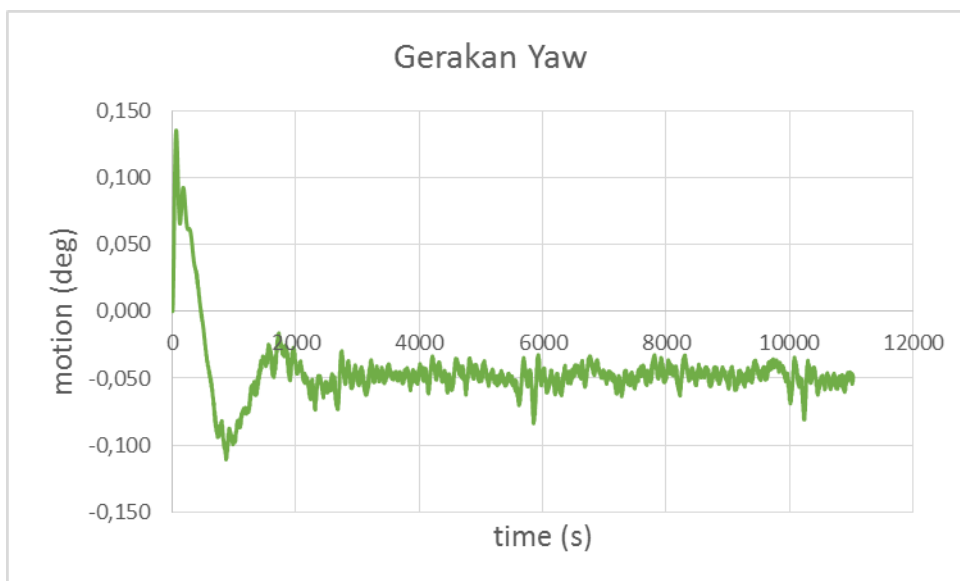
**Gambar 4. 29** Grafik Gerakan *Heave* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (intact)*



**Gambar 4. 30** Grafik Gerakan *Roll* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (intact)*



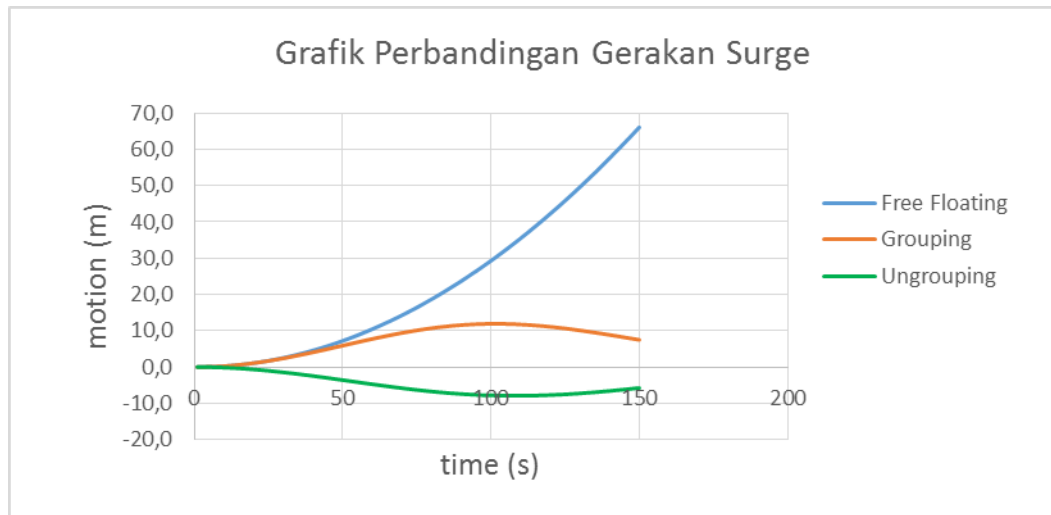
**Gambar 4. 31** Grafik Gerakan *Pitch* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (intact)*



**Gambar 4. 32** Grafik Gerakan *Yaw* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (intact)*

Dibawah ini tersaji grafik perbandingan gerakan FLNG dengan arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*) dengan kondisi *free floating*, ditambat dengan

konfigurasi *mooring line* secara *grouping* maupun *ungrouping* pada gambar 4.30 sampai dengan 4.35. Pada grafik tersebut dijelaskan 150 detik pertama untuk setiap kondisi. Hal ini dilakukan untuk mempermudah membaca dan membedakan gerakan untuk setiap kondisi.



**Gambar 4. 33** Grafik Perbandingan Gerakan *Surge* (*intact*)



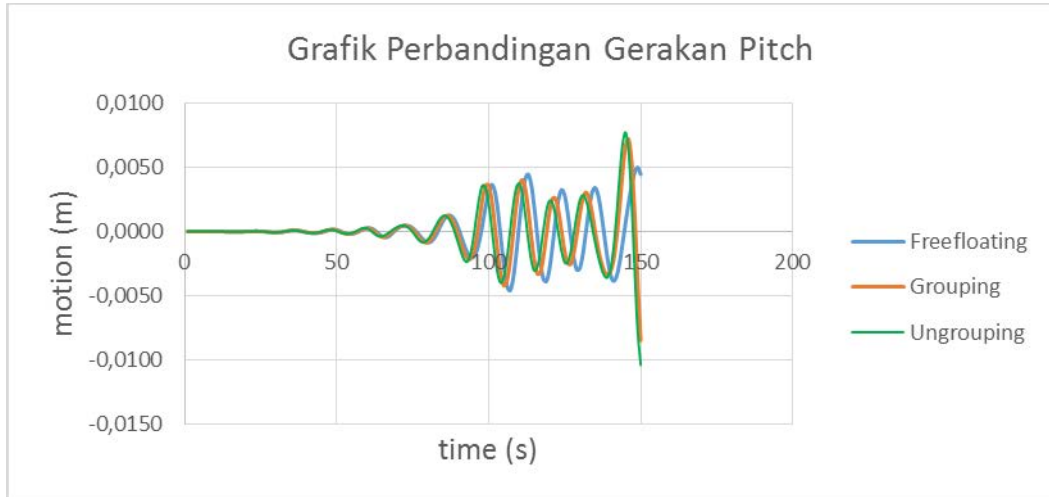
**Gambar 4. 34** Grafik Perbandingan Gerakan *Sway*(*intact*)



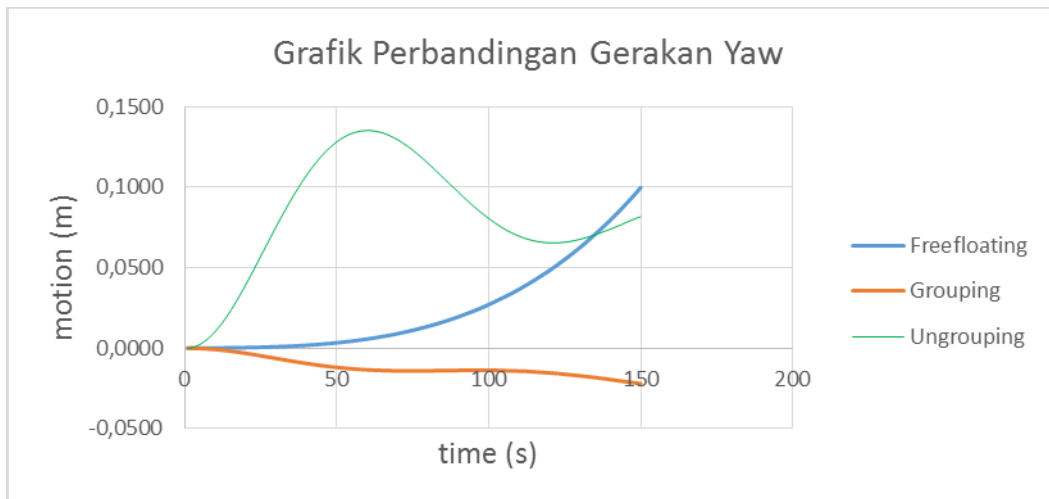
**Gambar 4. 35** Grafik Perbandingan Gerakan *Heave* (*intact*)



**Gambar 4. 36** Grafik Perbandingan Gerakan *Roll* (*intact*)



**Gambar 4. 37** Grafik Perbandingan Gerakan *Pitch* (*intact*)



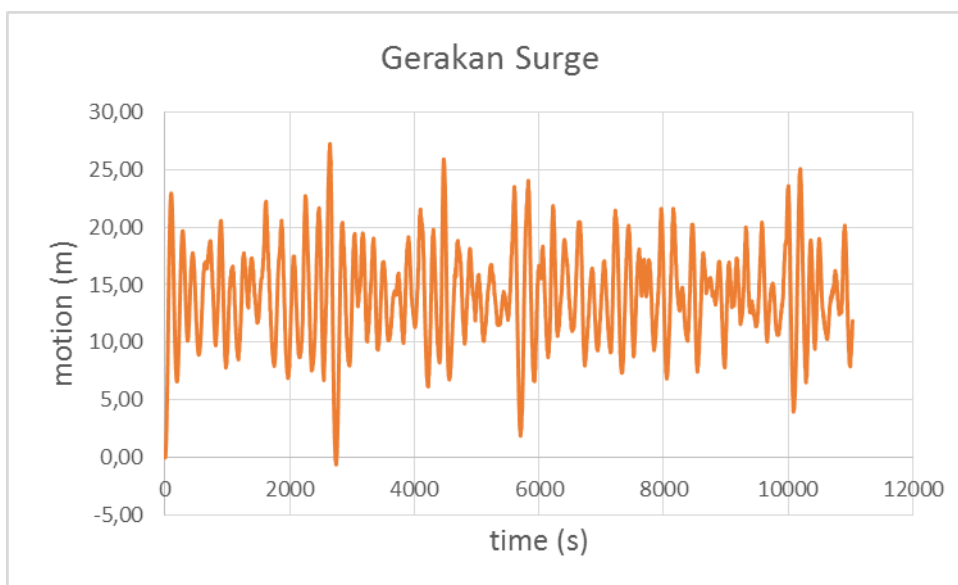
**Gambar 4. 38** Grafik Perbandingan Gerakan *Yaw*(*intact*)

Dari gambar grafik perbandingan gerakan diatas diketahui bahwa *mooring line* akan mengurangi gerakan translasi dari FLNG, seperti gerakan *surge* dan *sway*. Untuk gerakan rotasional FLNG tidak terlalu berpengaruh, kecuali gerakan *yaw*. Hal ini dikarenakan tipe *mooring* yang digunakan adalah *eksternal turret mooring*. Dengan tipe *mooring* ini, FLNG mempunyai kemampuan untuk berputar terhadap arah beban lingkungan dominan yang bekerja (*weathervanning*).

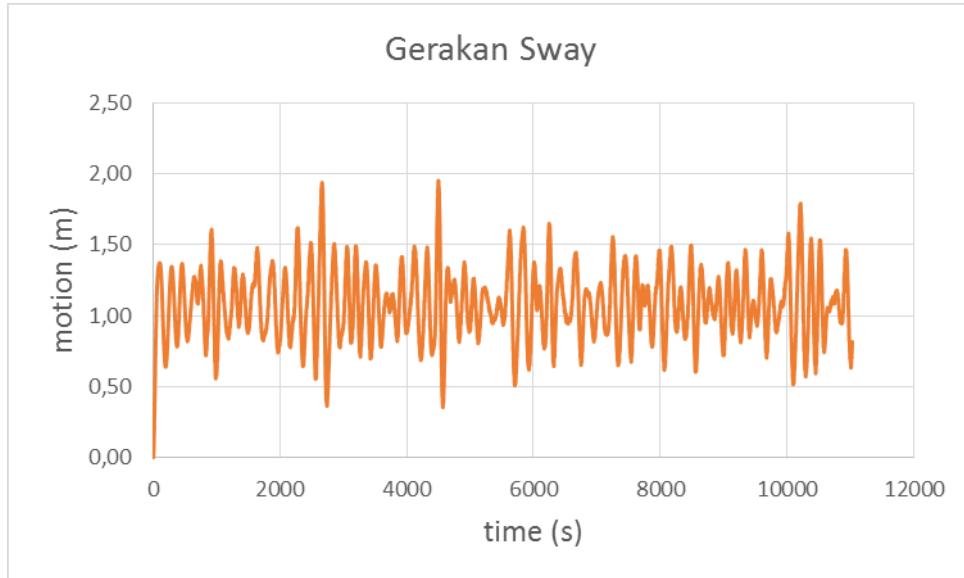


#### 4.5 Analisa Gerakan FLNG dengan Kondisi *Damage*

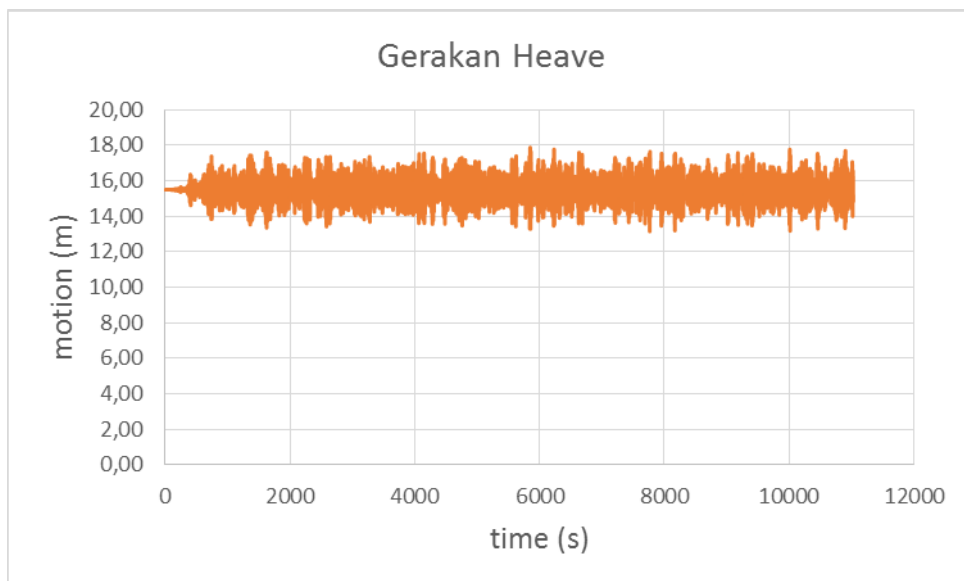
Pada gambar 4.37 sampai grafik 4.42 dibawah ini menggambarkan *motion* dari FLNG ketika kondisi *damage*, dimana kondisi *damage* adalah ketika ada salah satu *mooring line* ada yang putus.. Untuk konfigurasi yang dianalisa sama, yaitu menggunakan konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dengan arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*) dalam kurun waktu 11.000 detik. Untuk mempermudah membaca *motion* yang ada, grafik dipisahkan menurut gerakan enam derajat kebebasan.



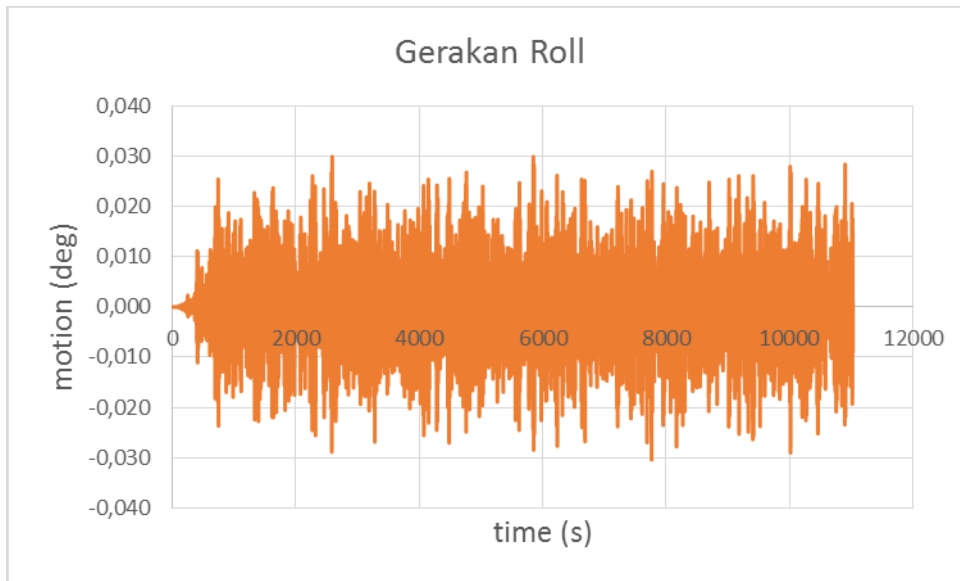
**Gambar 4. 39** Grafik Gerakan *Surge* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (damage)*



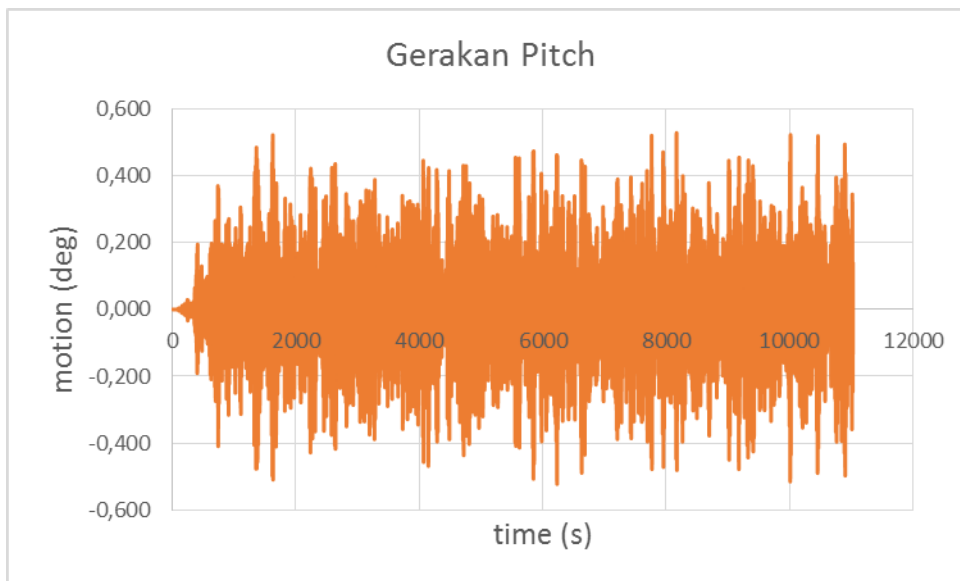
**Gambar 4. 40** Grafik Gerakan *Sway* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (damage)*



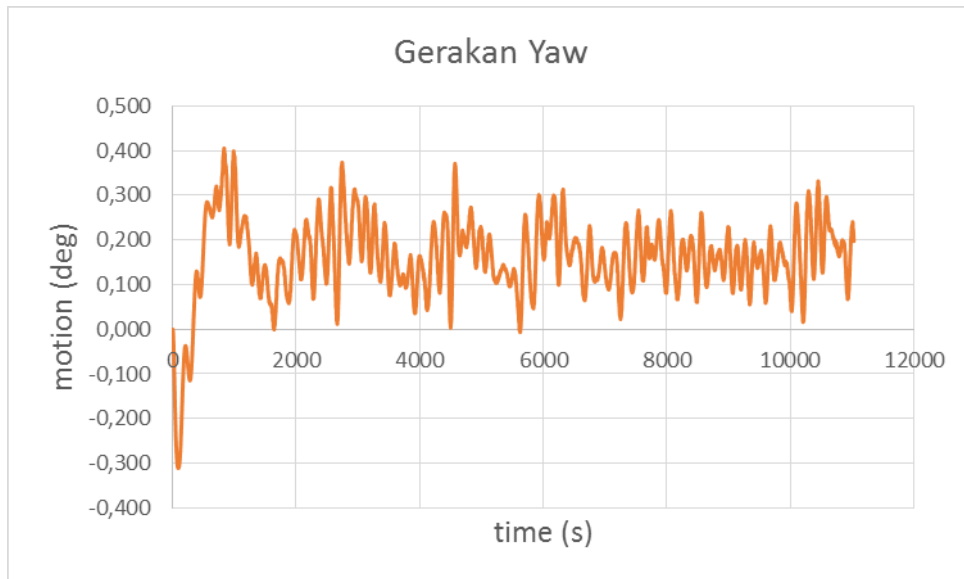
**Gambar 4. 41** Grafik Gerakan *Heave* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (damage)*



**Gambar 4. 42** Grafik Gerakan *Roll* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (damage)*

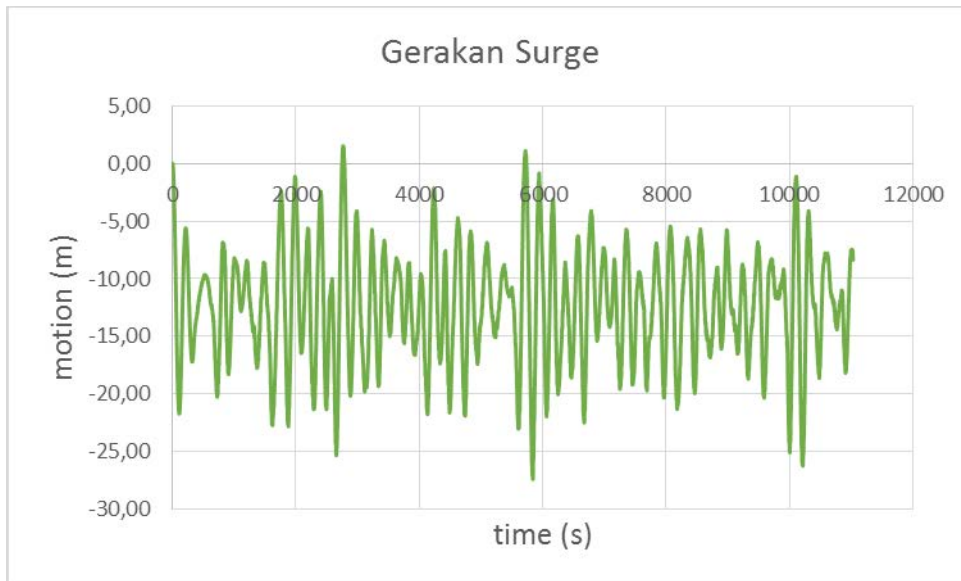


**Gambar 4. 43** Grafik Gerakan *Pitch* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (damage)*

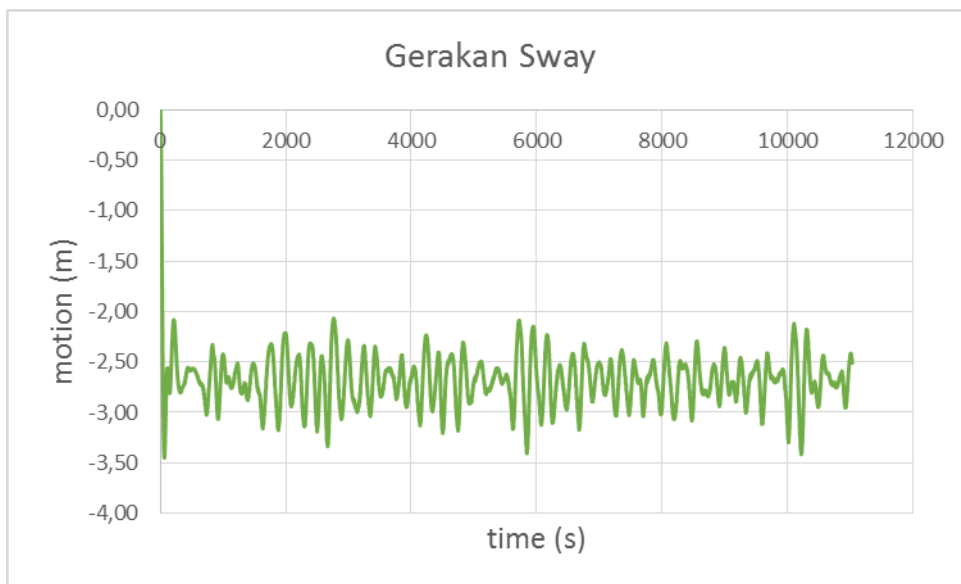


**Gambar 4. 44** Grafik Gerakan *Yaw* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Grouping (damage)*

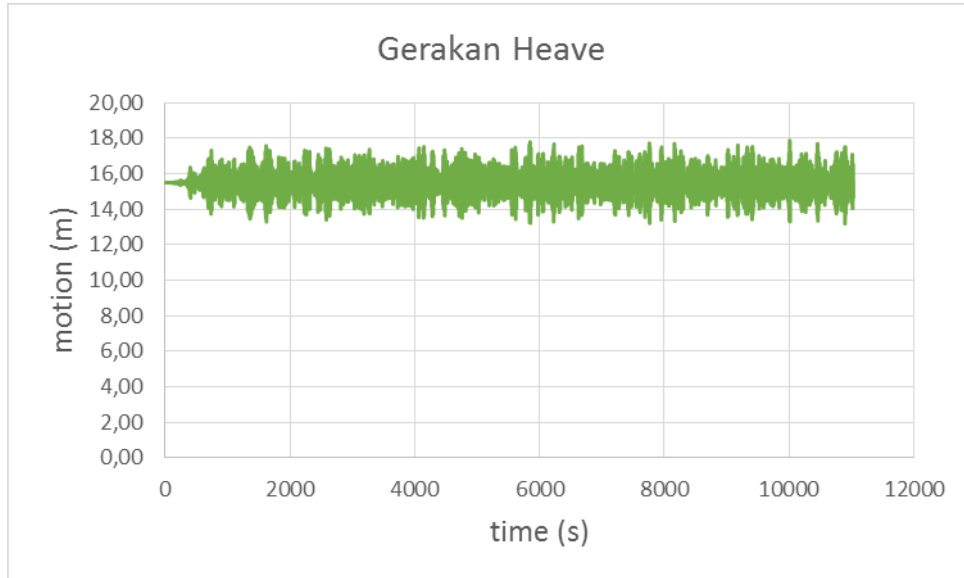
Setelah selesai analisa konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dengan kondisi *damage*, maka selanjutnya akan dilakukan analisa *mooring line* dengan konfigurasi *ungrouping* dengan kondisi *damage*. Pada gambar 4.43 sampai gambar 4.48 dibawah ini menggambarkan *motion* dan *offset* dari FLNG ketika kondisi penambatannya mengalami satu tali putus atau bisa disebut dengan kondisi *damage*. Untuk konfigurasi yang dianalisa sama, yaitu menggunakan konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping* dengan arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*) dalam kurun waktu 11.000 detik. Untuk mempermudah membaca *motion* yang ada, grafik dipisahkan menurut gerakan enam derajat kebebasan.



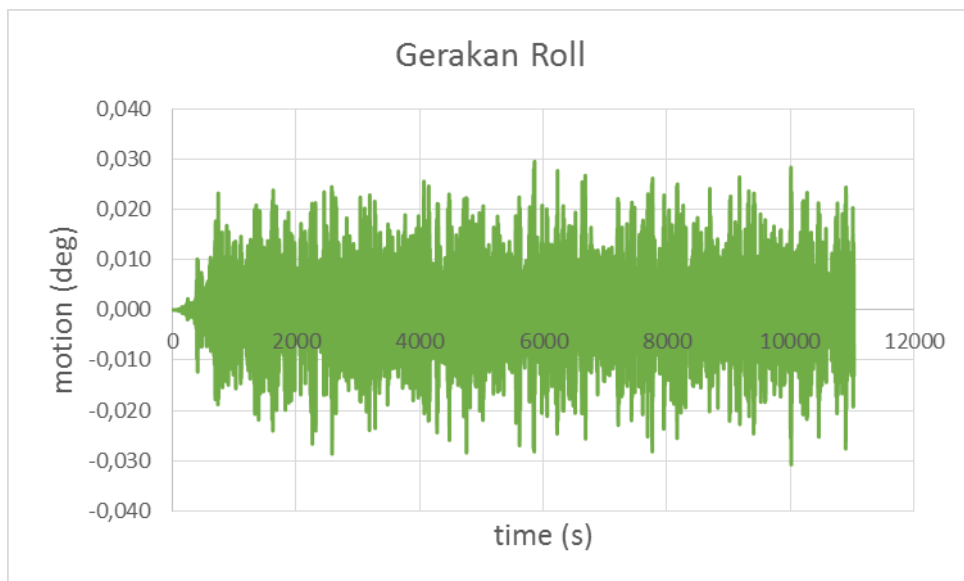
**Gambar 4. 45** Grafik Gerakan *Surge* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (damage)*



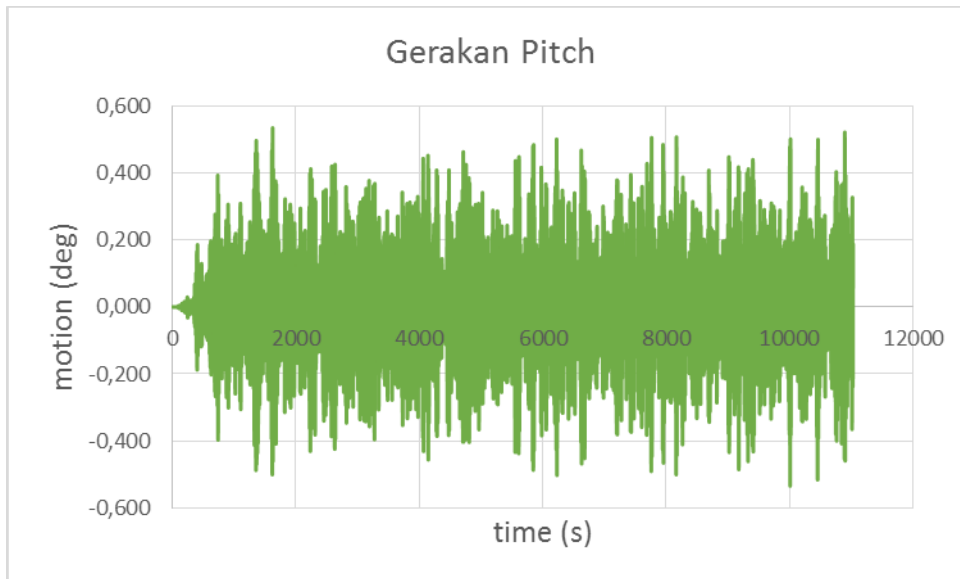
**Gambar 4. 46** Grafik Gerakan *Sway* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (damage)*



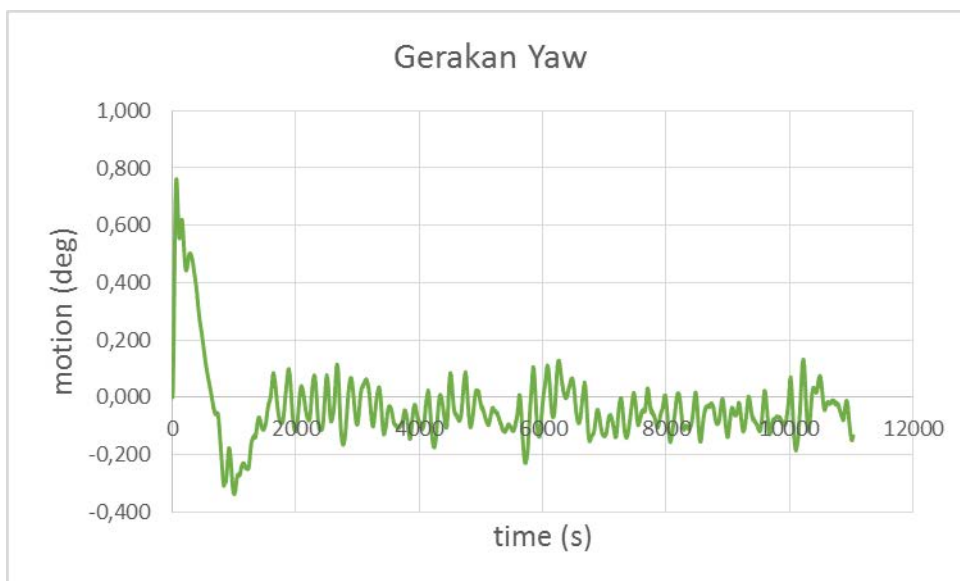
**Gambar 4. 47** Grafik Gerakan *Heave* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (damage)*



**Gambar 4. 48** Grafik Gerakan *Roll* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (damage)*



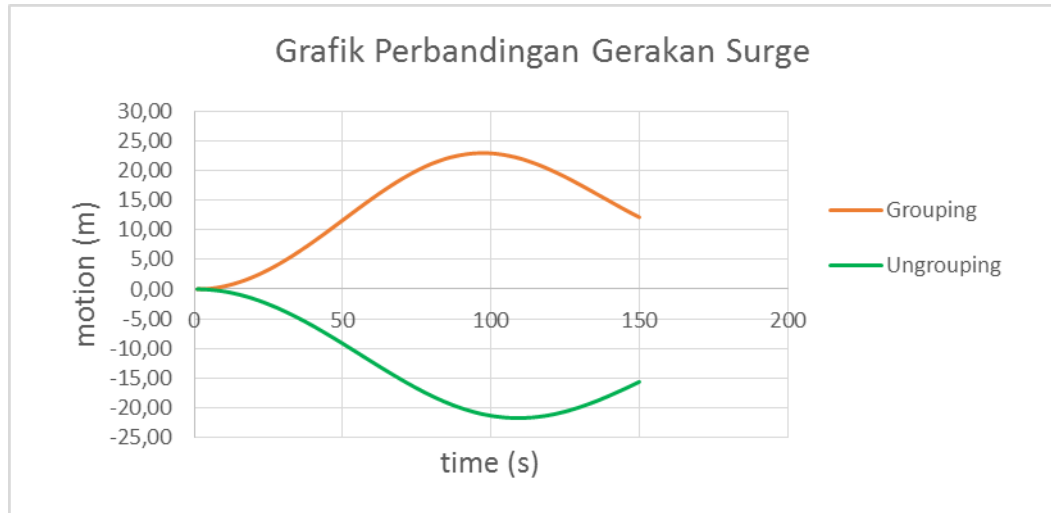
**Gambar 4. 49** Grafik Gerakan *Pitch* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (damage)*



**Gambar 4. 50** Grafik Gerakan *Yaw* FLNG Ditambat dengan Konfigurasi *Mooring Line Ungrouping (damage)*

Pada grafik 4.50 – 4.55, tersaji grafik perbandingan gerakan FLNG dengan arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*) dengan keadaan satu tali putus (*damage*)

dengan kondisi ditambah dengan konfigurasi *mooring line* secara *grouping* maupun *ungrouping* Pada grafik tersebut dijelaskan 150 detik pertama untuk setiap kondisi. Hal ini dilakukan untuk mempermudah membaca dan membedakan gerakan untuk setiap kondisi.

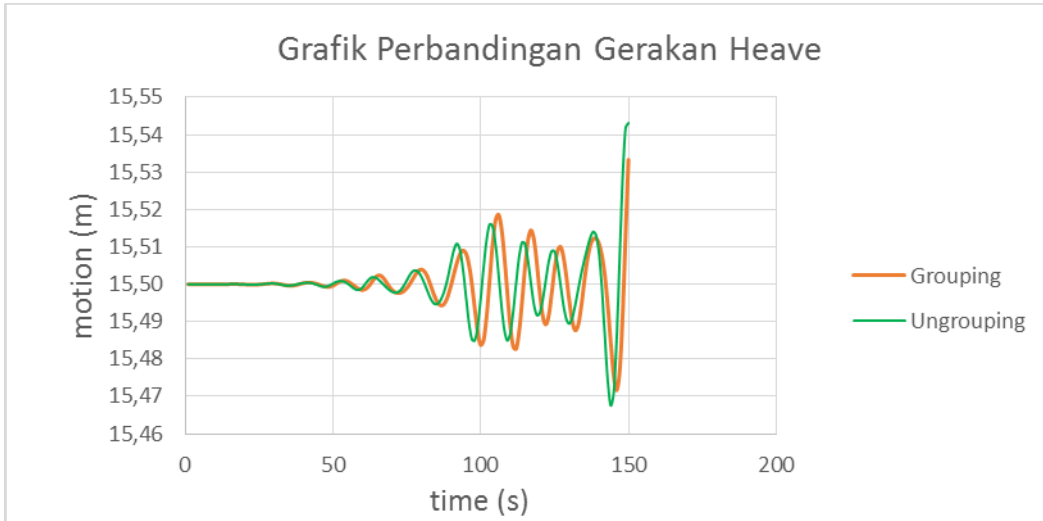


**Gambar 4. 51** Grafik Perbandingan Gerakan *Surge* (*damage*)



**Gambar 4. 52** Grafik Perbandingan Gerakan *Sway* (*damage*)





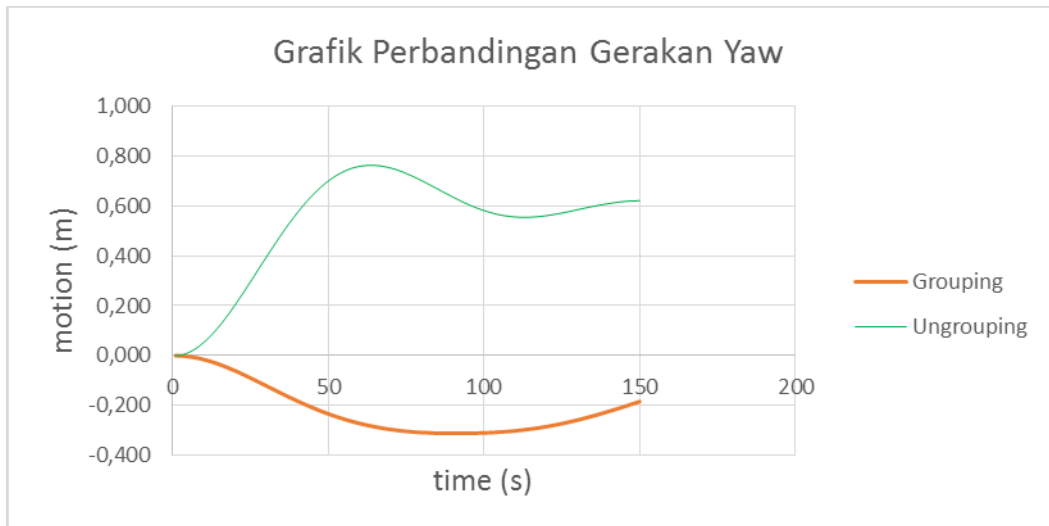
**Gambar 4. 53** Grafik Perbandingan Gerakan *Heave* (damage)



**Gambar 4. 54** Grafik Perbandingan Gerakan *Roll* (damage)



**Gambar 4. 55** Grafik Perbandingan Gerakan *Pitch* (*damage*)



**Gambar 4. 56** Grafik Perbandingan Gerakan *Yaw* (*damage*)

Dibawah ini akan disajikan tabel berupa rangkuman *motion* dan *offset* yang maksimal dari FLNG dengan kondisi ditambah dengan konfigurasi *mooring line grouping* maupun *ungrouping*, serta ketika FLNG mengalami satu tali putus dalam penambatan untuk arah pembebanan  $180^0$  (*head seas*),  $90^0$  (*beam seas*),  $135^0$  (*quartering seas*).

**Tabel 4. 5** Gerakan Maksimum FLNG Akibat *Heading* 180 (*intact*)

| <i>Heading</i> | <i>Kondisi FLNG</i> | <i>Surge m</i> | <i>Sway m</i> | <i>Heave m</i> | <i>Roll deg</i> | <i>Pitch deg</i> | <i>Yaw deg</i> |
|----------------|---------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
| $180^0$        | <i>grouping</i>     | 19,76          | 0,12          | 17,8           | 0,03            | 0,52             | 0,21           |
|                | <i>ungrouping</i>   | 18,06          | 0,61          | 17,82          | 0,03            | 0,52             | 0,14           |
| $90^0$         | <i>grouping</i>     | 24,80          | 46,00         | 17,02          | 0,15            | -0,38            | 99,38          |
|                | <i>ungrouping</i>   | 35,90          | 38,79         | 16,94          | 0,17            | 0,38             | 100,31         |
| $45^0$         | <i>grouping</i>     | 21,80          | 35,57         | 17,25          | 0,08            | 0,42             | 52,33          |
|                | <i>ungrouping</i>   | 26,37          | 24,24         | 17,23          | 0,10            | 0,40             | 60,43          |

**Tabel 4. 6** Gerakan Maksimum FLNG Akibat *Heading* 180 (*damage*)

| <i>Heading</i> | <i>Kondisi FLNG</i> | <i>Surge m</i> | <i>Sway m</i> | <i>Heave m</i> | <i>Roll deg</i> | <i>Pitch deg</i> | <i>Yaw deg</i> |
|----------------|---------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
| $180^0$        | <i>grouping</i>     | 27,25          | 1,95          | 17,88          | 0,03            | 0,53             | 0,41           |
|                | <i>ungrouping</i>   | 27,39          | 3,45          | 17,87          | 0,03            | 0,53             | 0,76           |
| $90^0$         | <i>grouping</i>     | 33,49          | 48,12         | 17,02          | 0,14            | 0,39             | 100,92         |
|                | <i>ungrouping</i>   | 41,70          | 35,88         | 16,87          | 0,16            | 0,38             | 101,67         |
| $135^0$        | <i>grouping</i>     | 33,81          | 40,93         | 17,34          | 0,08            | 0,43             | 54,45          |
|                | <i>ungrouping</i>   | 35,95          | 26,27         | 17,23          | 0,10            | 0,41             | 61,25          |

Berdasarkan API RP 2SK, *motion* dan *offset* dari sebuah bangunan lepas pantai tidak boleh melebihi 10% dari kedalaman laut operasi. Hal ini dimaksudkan untuk melindungi segala fasilitas dan kegiatan operasi yang sedang bekerja. Dengan kedalaman laut 600 m, maka *offset* yang paling maksimum sebesar 60 m. Dengan hasil analisa seperti yang ditunjukkan dengan tabel diatas, maka bisa dikatakan *motion* dan *offset* FLNG tergolong aman.

#### 4.6 Analisa *Mooring Line Tension*

Pada saat FLNG beroperasi, beban lingkungan akan berkerja mengenai struktur langsung. Hal ini mengakibatkan adanya pergerakan dari FLNG, padahal sebuah FLNG tidak boleh terlalu banyak gerakan ketika beroperasi, maka dari itu diperlukan tali penahan untuk meminimalis gerakan.

Pada analisa *mooring line tension* ini ada dua konfigurasi. Konfigurasi pertama adalah konfigurasi *mooring line* secara *grouping*, dan yang kedua konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping*. Dibawah ini terdapat tabel yang memaparkan berapa besar *tension* pada *fairlead* yang bekerja untuk menahan gerakan dari FLNG dari arah datang gelombang 180° (*head seas*).

**Tabel 4. 7** *Mooring Line Tension* pada arah 180° pada *Intact*

| <i>Mooring Line</i> | <i>Grouping</i> |                | <i>Ungrouping</i> |                |
|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|
|                     | <i>Max Kn</i>   | <i>Mean kN</i> | <i>Max kN</i>     | <i>Mean kN</i> |
| 1                   | 4101            | 3626           | 3705              | 3256           |
| 2                   | 4118            | 3644           | 3788              | 3354           |
| 3                   | 4188            | 3645           | 3790              | 3371           |
| 4                   | 4109            | 3627           | 3778              | 3314           |
| 5                   | 3347            | 3003           | 3391              | 3066           |
| 6                   | 3250            | 2923           | 3476              | 3155           |
| 7                   | 3245            | 2849           | 3347              | 3020           |
| 8                   | 3227            | 2784           | 3362              | 2949           |
| 9                   | 3155            | 2780           | 3332              | 2937           |
| 10                  | 3190            | 2843           | 3335              | 2985           |
| 11                  | 3295            | 2917           | 3604              | 3208           |
| 12                  | 3347            | 2996           | 3478              | 3115           |

Pada kondisi *intact* dengan konfigurasi *grouping* maupun *ungrouping*, memiliki *tension* yang relatif besar berada pada posisi mooring line 1, 2, 3 dan 4. Ini dikarenakan 1, 2, 3, dan 4 cenderung menahan gerakan FLNG yang bergerak mengikuti arah datangnya gelombang. Pada kasus ini, gelombang datang dari arah 180° (*head seas*) maka dari itu *tension* yang besar ada pada posisi rantai yang berlawanan dengan arah gerak FLNG. Untuk *mooring line*

yang berada pada posisi searah dengan gerakan FLNG, pastinya memiliki besar *tension* yang lebih kecil jika dibandingkan pada posisi yang berlawanan. Untuk kedua konfigurasi, *tension* paling besar ada pada posisi 3, dimana untuk konfigurasi *grouping* memiliki *tension* sebesar 4188 kN. Sedangkan untuk konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping* memiliki *tension* sebesar 3790,5 kN.

Untuk konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping* memiliki besar *tension* yang relatif sama antar *mooring line*. Ini dikarenakan persebaran yang rata dari posisi *anchoring* nya sehingga beban FLNG akibat beban gelombang relatif dibagi rata kesetiap *mooring line*. Dari tabel 4.9, disimpulkan bahwa *mooring line* dengan konfigurasi *grouping* maupun *ungrouping* dengan arah pembebanan 180° (*head seas*) *tension* terbesar berada pada posisi 3.

Selain arah pembebanan 180° (*head seas*), ada juga arah pembebanan dari arah 90° (*beam seas*) dan 135° (*quartering seas*). Pada tabel 4.8, dibawah ini akan disajikan berturut-turut rangkuman *mooring line tension* untuk arah pembebanan 90° dan 135°

**Tabel 4. 8** *Mooring Line Tension* pada arah 90° pada *Intact*

| <i>Mooring Line</i> | <i>Grouping</i> |                | <i>Ungrouping</i> |                |
|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|
|                     | <i>Max Kn</i>   | <i>Mean kN</i> | <i>Max kN</i>     | <i>Mean kN</i> |
| 1                   | 3223            | 2922           | 5137              | 3283           |
| 2                   | 3740            | 3095           | 3912              | 3242           |
| 3                   | 4387            | 3317           | 3163              | 3024           |
| 4                   | 5037            | 3543           | 5731              | 3493           |
| 5                   | 6828            | 4082           | 6247              | 3755           |
| 6                   | 6730            | 3579           | 6942              | 3916           |
| 7                   | 6651            | 3497           | 6654              | 3675           |
| 8                   | 6563            | 3400           | 3853              | 3471           |
| 9                   | 3494            | 2556           | 2915              | 2912           |
| 10                  | 3549            | 2881           | 3227              | 2902           |
| 11                  | 3581            | 2828           | 3629              | 2983           |
| 12                  | 3522            | 2771           | 3825              | 3172           |

Bisa dilihat untuk konfigurasi grouping mooring line 5,6,7, dan 8 dan untuk konfigurasi ungrouping mooring line 4,5,6, dan 7 mempunyai maksimum *tension* yang lebih besar dari *mooring line* yang lain. Dari keempat *mooring line* tersebut yang memiliki maksimum *tension* paling besar untuk konfigurasi *grouping* adalah *mooring line* ke 5 dengan besar 6.828 kN. Sedangkan untuk konfigurasi *mooring line ungrouping*, *mooring line* yang mempunyai *tension* paling besar adalah *mooring line* ke 6 dengan besar 7.142 kN. Ini dikarenakan FLNG dengan sistem tambat *eksternal turret mooring system* yang memiliki kemampuan untuk berputar mengikuti arah pembebanan atau yang biasa disebut *weathervaning*. Jadi dengan arah pembebanan 90 ° maka FLNG akan berputar mengikuti arah pembebanan 90 °. Selanjutnya pada tabel 4.9 akan disajikan rangkuman *mooring line tension* untuk arah pembebanan 135 °

**Tabel 4. 9** *Mooring Line Tension* pada arah 135° pada *Intact*

| <i>Mooring Line</i> | <i>Grouping</i> |                | <i>Ungrouping</i> |                |
|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|
|                     | <i>Max Kn</i>   | <i>Mean kN</i> | <i>Max kN</i>     | <i>Mean kN</i> |
| 1                   | 3646            | 3315           | 2820              | 2958           |
| 2                   | 4220            | 3501           | 5294              | 3479           |
| 3                   | 5123            | 3728           | 5921              | 3643           |
| 4                   | 6090            | 3948           | 5979              | 3691           |
| 5                   | 5052            | 3673           | 5869              | 3691           |
| 6                   | 4459            | 3579           | 3711              | 3273           |
| 7                   | 3902            | 3497           | 2879              | 2876           |
| 8                   | 3395            | 3400           | 3199              | 2850           |
| 9                   | 3284            | 2556           | 3333              | 2920           |
| 10                  | 3257            | 2559           | 3267              | 3076           |
| 11                  | 3197            | 2579           | 4159              | 3631           |
| 12                  | 3094            | 2612           | 3249              | 3097           |

Bisa dilihat dari tabel diatas untuk konfigurasi *grouping mooring line* 3,4,5, dan 6 dan untuk konfigurasi *ungrouping mooring line* 2,3,4, dan 5 mempunyai maksimum *tension* yang lebih besar dari *mooring line* yang lain. Dari keempat *mooring line* tersebut yang memiliki *maksimum tension* paling besar untuk konfigurasi *grouping* adalah *mooring line* ke 4 dengan besar 6.090 kN dan untuk konfigurasi *mooring line, ungrouping mooring line* yang mempunyai *tension*

paling besar adalah mooring line ke 4 dengan besar 6.179 kN. Ini dikarenakan FLNG dengan sistem tambat *eksternal turret mooring system* yang memiliki kemampuan untuk berputar mengikuti arah pembebanan atau yang biasa disebut *weathervaning*. Jadi dengan arah pembebanan  $135^\circ$  maka FLNG akan berputar mengikuti arah pembebanan  $135^\circ$ .

Dari hasil *mooring line tension* untuk arah pembebanan  $90^\circ$  dan  $135^\circ$  dapat diketahui bahwa antara *mean tension* dan *maksimum tension* memiliki selisih yang cukup jauh. Lalu ketika dilihat dari *time history* selama 11.000 detik, FLNG memerlukan waktu untuk berputar selama 1.847 detik akibat pembebanan  $90^\circ$ , dan untuk pembebanan  $135^\circ$ , FLNG memerlukan waktu selama 1.231 detik untuk berputar mengikuti arah beban yang bekerja. *Tension* maksimum yang terjadi berada pada menit-menit ketika FLNG berputar mengikuti beban lingkungan yang bekerja. Berarti bisa disimpulkan ketika FLNG berputar akibat beban lingkungan yang bekerja memiliki gaya yang cukup besar sehingga menimbulkan *mooring line tension* yang besar.

Dengan keadaan dimana FLNG selalu mengikuti arah dari beban lingkungan yang bekerja, maka disimpulkan bahwa gerakan FLNG selalu searah dengan beban lingkungan atau membentuk sudut mendekati  $180^\circ$ . Maka dari itu, untuk analisa kondisi *damage*, dimana kondisi *damage* ini adalah kondisi dimana *mooring line dengan tension* paling besar diputus dilakukan ketika kondisi pembebanan  $180^\circ$ . Dari hasil analisa yang dilakukan sebelumnya, dengan konfigurasi *mooring line grouping* maupun *ungrouping* didapatkan *mooring line 3* memiliki *tension* paling. Maka dari itu analisa *damage* akan memutus *mooring line 3* baik untuk konfigurasi *grouping* maupun *ungrouping*.

Setelah dilakukan analisa *damage*, disimpulkan jika ada satu tali putus pada masing-masing konfigurasi akan mempengaruhi *mooring line tension* pada *mooring line* yang lain. Ini dikarenakan beban yang ditanggung oleh

penambat akan lebih besar untuk menahan gerakan kapal akibat putusnya satu tali. Untuk kedua konfigurasi terjadi *mooring line* dengan *tension* paling besar ada pada *mooring line* 2 sebesar 5.211 kN untuk konfigurasi *grouping* dan 4.692 kN untuk konfigurasi *ungrouping*

**Tabel 4. 10** *Mooring Line Tension* pada arah 180° Kondisi *Damage*

| <i>Mooring Line</i> | <i>Grouping</i> |                | <i>Ungrouping</i> |                |
|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|
|                     | <i>Max kN</i>   | <i>Mean kN</i> | <i>Max kN</i>     | <i>Mean kN</i> |
| 1                   | 4878,9          | 4472,7         | 4083,1            | 3583,5         |
| 2                   | 5211,8          | 4568,1         | 4692              | 4082,8         |
| 3                   | putus           | putus          | putus             | putus          |
| 4                   | 5078,6          | 4562           | 4629,5            | 4059,5         |
| 5                   | 3669,4          | 3137,3         | 3512,3            | 3131,4         |
| 6                   | 3414,7          | 2991,6         | 3849,8            | 3449,9         |
| 7                   | 3505,9          | 3153,4         | 3727,9            | 3303,8         |
| 8                   | 3381,4          | 3034,3         | 3503,8            | 3074,5         |
| 9                   | 3332,5          | 2963,6         | 3410,3            | 3007,6         |
| 10                  | 3430,9          | 3066,5         | 3525,1            | 3104,9         |
| 11                  | 3611,8          | 3188,5         | 3961,3            | 3526,9         |
| 12                  | 3723,9          | 3332,8         | 3542,5            | 3129,8         |

#### 4.7 Keandalan dengan Metode MVFOSM

Untuk memperoleh keandalan dari setiap *mooring line* pada penelitian kali ini menggunakan metode MVFOSM (*Mean Value First Order Second Moment*). Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah nilai dari *mean* dan *standard deviasi* dari variabel sangat berpengaruh dalam mendapatkan keandalan *mooring line*.

Untuk kasus penelitian kali ini variabel yang dibutuhkan adalah kekuatan bahan dari *mooring line* (X) dan beban berupa *mooring line tension* (Y) serta terdistribusi normal, dengan *mean* dan *simpangan baku* masing-masing  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  dan  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ . Karena dalam kasus ini margin keamanan terdistribusi normal dengan *mean*  $\mu_s$  dan *simpangan baku*  $\sigma_s$ , sehingga keandalan ataupun



peluang kegagalan dapat diperkirakan menggunakan tabel distribusi normal baku atau dapat dinyatakan.

$$K = 1 - \Phi(\beta)$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{\mu_x - \mu_y}{(\sigma^2_x, \sigma^2_y)^{0,5}}\right)$$

Untuk analisa keandalan yang dilakukan, diketahui mean kekuatan mooring line adalah 9.831 kN, sedangkan untuk standar deviasi kekuatan mooring dilakukan asumsi perencanaan sebesar 5% batas atas dan 5% batas bawah. Dan didapatkan besar standar deviasi adalah 54 kN.

**Tabel 4. 11** Keandalan *Mooring Lines (intact)* dengan Konfigurasi *Grouping*

| mooring line | Mean T | Stdev T | - $\beta$ | - $\Phi(\beta)$ | K     |
|--------------|--------|---------|-----------|-----------------|-------|
| 1            | 3626   | 125     | 0,68      | 0,2483          | 0,752 |
| 2            | 3644   | 131     | 0,64      | 0,2611          | 0,739 |
| 3            | 3645   | 129     | 0,62      | 0,2676          | 0,732 |
| 4            | 3627   | 127     | 0,65      | 0,2578          | 0,742 |
| 5            | 3003   | 89      | 1,27      | 0,102           | 0,898 |
| 6            | 2923   | 93      | 1,21      | 0,1131          | 0,887 |
| 7            | 2849   | 98      | 1,13      | 0,1292          | 0,871 |
| 8            | 2784   | 103     | 1,05      | 0,1469          | 0,853 |
| 9            | 2780   | 102     | 1,08      | 0,1401          | 0,860 |
| 10           | 2843   | 98      | 1,13      | 0,1292          | 0,871 |
| 11           | 2917   | 93      | 1,22      | 0,1112          | 0,889 |
| 12           | 2996   | 89      | 1,28      | 0,1003          | 0,900 |

**Tabel 4. 12** Keandalan *Mooring Lines (intact)* dengan Konfigurasi *Ungrouping*

| mooring line | Mean T | Stdev T | - $\beta$ | - $\Phi(\beta)$ | K     |
|--------------|--------|---------|-----------|-----------------|-------|
| 1            | 3256   | 127     | 0,70      | 0,242           | 0,758 |
| 2            | 3354   | 132     | 0,65      | 0,2578          | 0,742 |
| 3            | 3371   | 131     | 0,64      | 0,2611          | 0,739 |
| 4            | 3314   | 129     | 0,67      | 0,2514          | 0,749 |
| 5            | 3066   | 89      | 1,26      | 0,1038          | 0,896 |
| 6            | 3155   | 97      | 1,10      | 0,1357          | 0,864 |
| 7            | 3020   | 108     | 0,95      | 0,1711          | 0,829 |
| 8            | 2949   | 106     | 0,98      | 0,1635          | 0,837 |
| 9            | 2937   | 105     | 1,00      | 0,1587          | 0,841 |
| 10           | 2985   | 104     | 1,01      | 0,1562          | 0,844 |
| 11           | 3208   | 111     | 0,87      | 0,1922          | 0,808 |
| 12           | 3115   | 98      | 1,09      | 0,1379          | 0,862 |

**Tabel 4. 13** Keandalan *Mooring Lines (damage)* dengan Konfigurasi *Grouping*

| mooring line | Mean T | Stdev T | - $\beta$ | - $\Phi(\beta)$ | K     |
|--------------|--------|---------|-----------|-----------------|-------|
| 1            | 4473   | 134     | 0,52      | 0,3015          | 0,699 |
| 2            | 4568   | 169     | 0,34      | 0,3669          | 0,633 |
| 3            | putus  | -       | -         | -               | putus |
| 4            | 4562   | 155     | 0,39      | 0,3483          | 0,652 |
| 5            | 3137   | 123     | 0,74      | 0,2297          | 0,770 |
| 6            | 2992   | 119     | 0,81      | 0,209           | 0,791 |
| 7            | 3153   | 111     | 0,88      | 0,1894          | 0,811 |
| 8            | 3034   | 104     | 1,00      | 0,1587          | 0,841 |
| 9            | 2964   | 104     | 1,01      | 0,1562          | 0,844 |
| 10           | 3067   | 107     | 0,95      | 0,1711          | 0,829 |
| 11           | 3189   | 106     | 0,94      | 0,1736          | 0,826 |
| 12           | 3333   | 113     | 0,83      | 0,2033          | 0,797 |

**Tabel 4. 14** Keandalan *Mooring Lines (damage)* dengan Konfigurasi *Ungrouping*

| mooring line | Mean T | Stdev T | - $\beta$ | - $\Phi(\beta)$ | K     |
|--------------|--------|---------|-----------|-----------------|-------|
| 1            | 3584   | 127     | 0,66      | 0,2546          | 0,745 |
| 2            | 4083   | 162     | 0,40      | 0,3446          | 0,655 |
| 3            | putus  | -       | -         | -               | putus |
| 4            | 4060   | 146     | 0,48      | 0,3156          | 0,684 |
| 5            | 3131   | 112     | 0,88      | 0,1894          | 0,811 |
| 6            | 3450   | 112     | 0,84      | 0,2005          | 0,800 |
| 7            | 3304   | 118     | 0,78      | 0,2177          | 0,782 |
| 8            | 3075   | 108     | 0,93      | 0,1762          | 0,824 |
| 9            | 3008   | 104     | 1,01      | 0,1562          | 0,844 |
| 10           | 3105   | 114     | 0,85      | 0,1977          | 0,802 |
| 11           | 3527   | 120     | 0,73      | 0,2327          | 0,767 |
| 12           | 3130   | 113     | 0,86      | 0,1949          | 0,805 |

Dari tabel diatas didapatkan bahwa keandalan *mooring line* dengan konfigurasi *grouping* maupun *ungrouping*. Umumnya keandalan paling rendah dimiliki oleh *mooring line* dengan *tension* yang paling tinggi. Untuk konfigurasi *mooring line* secara *grouping* keandalan paling rendah dimiliki oleh *mooring line* 3 sebesar 0,732. Dan untuk konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping* keandalan paling rendah dimiliki oleh *mooring line* 3 sebesar 0,739. Sementara itu, jika *mooring line* dengan nilai keandalan paling rendah itu mengalami putus (*damage*) maka untuk konfigurasi *mooring line* secara *grouping* keandalan paling rendah dimiliki oleh *mooring line* nomer 2 sebesar 0,633. Dan untuk konfigurasi *mooring line* secara *ungrouping* keandalan paling rendah dimiliki oleh *mooring line* nomer 2 sebesar 0,655. Putusnya *mooring line* ini pasti mempengaruhi besar *tension* dari *mooring line* yang lain dan pastinya menurunkan keandalan dari *mooring line* yang masih beroperasi.



**LAMPIRAN A**  
***INPUT SOFTWARE***

# 1. Input Software MOSES

## 1.1 Pemodelan FLNG pada Software MOSES

```

$ DATA .DAT
8 6 \
8 13.723 \
$ 32.982 13.723 \
$*****
34.114 14.192 \
*****
34.582 15.323 \
34.582 36

$-----factors for dimensions----- plane 4 -cart 0 6 \
8 6 \
&dimen -save -dimen meters m-tons 8 13.396 \
33.229 13.396 \
$ 34.431 13.865 \
$*****
34.889 15 \
*****
34.889 36
plane 5 -cart 0 6 \
8 6 \
$----- VESSEL DEFINITION----- 8 13.069 \
8 13.069 \
$ 33.4 13.069 \
&DESCRIBE BODY MASELA 34.531 13.538 \
35 14.465 \
$ 35 36
$----- plane 10 -cart 0 6 \
8 6 \
$ 8 11.44 \
33.426 11.44 \
pgen 1 -perm 1.0 -loc 0 0 0 -difftype 3ddif 34.77 12.226 \
plane 0 -cart 0 6 \
35 13.013 \
8 6 \
35 36
8 14.7 \ plane 15 -cart 0 6 \
28.4 14.7 \ 8 6 \
29.531 15.618 \ 8 9.805 \
30 16.3 \ 33.451 9.805 \
30 36 34.778 10.591 \
plane 1 -cart 0 6 \
35 11.337 \
8 6 \
35 36
8 14.376 \ plane 20 -cart 0 6 \
31.398 14.376 \ 8 6 \
27.53 14.845 \ 8 8.166 \
32.998 15.976 \ 33.414 8.166 \
32.998 36 34.779 8.959 \
plane 2 -cart 0 6 \
35 9.476 \
8 6 \
35 36
8 14.049 \ plane 25 -cart 0 0 \
32.398 14.049 \ 8 0 \
33.529 14.518 \ 8 6.533 \
33.998 15.649 \ 33.425 6.533 \
33.998 36 34.777 7.319 \
plane 3 -cart 0 6 \
35 8.106 \

```

|       |     |       |        |       |   |       |     |       |        |        |
|-------|-----|-------|--------|-------|---|-------|-----|-------|--------|--------|
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     | 35    | 1.575  | \      |
| plane | 30  | -cart | 0      | 0     | \ |       |     | 35    | 36     |        |
|       |     |       | 8      | 0     | \ | plane | 300 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 8      | 4.907 | \ |       |     |       | 33.4   | 0      |
|       |     |       | 33.339 | 4.907 | \ |       |     |       | 34.531 | 0.468  |
|       |     |       | 34.784 | 5.712 | \ |       |     |       | 35     | 1.575  |
|       |     |       | 35     | 6.512 | \ |       |     |       | 35     | 36     |
| plane | 35  | -cart | 0      | 0     | \ | plane | 350 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 8      | 0     | \ |       |     |       | 33.4   | 0      |
|       |     |       | 8      | 3.271 | \ |       |     |       | 34.531 | 0.468  |
|       |     |       | 33.4   | 3.271 | \ |       |     |       | 35     | 1.575  |
|       |     |       | 34.785 | 4.075 | \ | plane | 360 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 35     | 4.875 | \ |       |     |       | 33.4   | 0      |
| plane | 40  | -cart | 0      | 0     | \ |       |     |       | 34.531 | 0.468  |
|       |     |       | 8      | 0     | \ |       |     |       | 35     | 1.575  |
|       |     |       | 8      | 1.638 | \ | plane | 370 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 33.4   | 1.638 | \ |       |     |       | 33.4   | 0      |
|       |     |       | 34.531 | 2.11  | \ |       |     |       | 34.531 | 0.468  |
|       |     |       | 35     | 3.242 | \ |       |     |       | 35     | 1.575  |
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     |       | 35     | 36     |
| plane | 45  | -cart | 0      | 0     | \ | plane | 375 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 33.4   | 0     | \ |       |     |       | 27.515 | 0      |
|       |     |       | 34.531 | 0.468 | \ |       |     |       | 28.314 | 0.23   |
|       |     |       | 35     | 1.575 | \ |       |     |       | 28.612 | 0.461  |
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     |       | 34.548 | 6.379  |
| plane | 50  | -cart | 0      | 0     | \ |       |     |       | 34.895 | 6.941  |
|       |     |       | 33.4   | 0     | \ |       |     |       | 35     | 7.485  |
|       |     |       | 34.531 | 0.468 | \ | plane | 380 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 35     | 1.575 | \ |       |     |       | 21.6   | 0      |
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     |       | 22.391 | 0.226  |
| plane | 100 | -cart | 0      | 0     | \ |       |     |       | 22.687 | 0.452  |
|       |     |       | 33.4   | 0     | \ |       |     |       | 34.566 | 12.331 |
|       |     |       | 34.531 | 0.468 | \ |       |     |       | 34.898 | 12.866 |
|       |     |       | 35     | 1.575 | \ |       |     |       | 35     | 13.4   |
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     |       | 35     | 36     |
| plane | 150 | -cart | 0      | 0     | \ | plane | 385 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 33.4   | 0     | \ |       |     |       | 15.684 | 0      |
|       |     |       | 34.531 | 0.468 | \ |       |     |       | 16.474 | 0.225  |
|       |     |       | 35     | 1.575 | \ |       |     |       | 16.772 | 0.452  |
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     |       | 34.549 | 18.229 |
| plane | 200 | -cart | 0      | 0     | \ |       |     |       | 34.879 | 18.735 |
|       |     |       | 33.4   | 0     | \ |       |     |       | 35     | 19.24  |
|       |     |       | 34.531 | 0.468 | \ | plane | 390 | -cart | 0      | 0      |
|       |     |       | 35     | 1.575 | \ |       |     |       | 9.768  | 0      |
|       |     |       | 35     | 36    |   |       |     |       | 10.561 | 0.226  |
| plane | 250 | -cart | 0      | 0     | \ |       |     |       | 10.856 | 0.452  |
|       |     |       | 33.4   | 0     | \ |       |     |       | 34.531 | 24.127 |
|       |     |       | 34.531 | 0.468 | \ |       |     |       |        |        |

|       |     |       |        |        |   |       |      |       |        |        |
|-------|-----|-------|--------|--------|---|-------|------|-------|--------|--------|
|       |     |       | 34.896 | 24.693 | \ |       |      |       | 23.955 | 36     |
|       |     |       | 35     | 25.258 | \ | plane | 405  | -cart | 0      | 13.142 |
|       |     |       | 35     | 36     |   |       |      |       | 6.308  | 13.142 |
| plane | 395 | -cart | 0      | 0.4381 | \ |       |      |       | 6.921  | 13.263 |
|       |     |       | 8.597  | 0.4381 | \ |       |      |       | 7.44   | 13.61  |
|       |     |       | 9.209  | 4.502  | \ |       |      |       | 17.962 | 24.133 |
|       |     |       | 9.728  | 4.849  | \ |       |      |       | 18.326 | 24.698 |
|       |     |       | 29.029 | 24.151 | \ |       |      |       | 18.43  | 25.264 |
|       |     |       | 29.38  | 24.708 | \ |       |      |       | 18.43  | 36     |
|       |     |       | 29.48  | 25.264 | \ | plane | 410  | -cart | 0      | 17.885 |
|       |     |       | 29.48  | 36     |   |       |      |       | 5.524  | 17.885 |
| plane | 400 | -cart | 0      | 8.761  | \ |       |      |       | 6.137  | 18.006 |
|       |     |       | 7.452  | 8.761  | \ |       |      |       | 6.656  | 18.353 |
|       |     |       | 8.064  | 8.882  | \ |       |      |       | 12.431 | 24.13  |
|       |     |       | 8.583  | 9.229  | \ |       |      |       | 12.777 | 24.65  |
|       |     |       | 23.487 | 24.133 | \ |       |      |       | 12.899 | 25.264 |
|       |     |       | 23.851 | 24.698 | \ |       |      |       | 12.899 | 36     |
|       |     |       | 23.955 | 25.264 | \ | end   | pgen |       |        |        |



## 2. Input Software ORCAFLEX

### 2.1 Wave Drift QTF

\*\*\*OrcaFlex QTF Start Data\*\*\*

Draught            Draught1

Direction 180,00

| wp    | Surge | Sway | Heave | Roll | Pitch | Yaw  |
|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 25,00 | 0,03  | 0,00 | -0,13 | 0,00 | 0,06  | 0,00 |
| 20,00 | 0,05  | 0,00 | -0,15 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 19,00 | 0,06  | 0,00 | -0,16 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 18,00 | 0,06  | 0,00 | -0,16 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 17,00 | 0,07  | 0,00 | -0,16 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 16,00 | 0,08  | 0,00 | -0,16 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 15,00 | 0,08  | 0,00 | -0,16 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 14,50 | 0,09  | 0,00 | -0,15 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 14,00 | 0,09  | 0,00 | -0,15 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 13,50 | 0,09  | 0,00 | -0,15 | 0,00 | 0,07  | 0,00 |
| 13,00 | 0,09  | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,06  | 0,00 |
| 12,50 | 0,09  | 0,00 | -0,14 | 0,00 | 0,06  | 0,00 |
| 12,00 | 0,10  | 0,00 | -0,13 | 0,00 | 0,06  | 0,00 |
| 11,50 | 0,10  | 0,00 | -0,13 | 0,00 | 0,06  | 0,00 |
| 11,00 | 0,10  | 0,00 | -0,12 | 0,00 | 0,06  | 0,00 |
| 10,50 | 0,09  | 0,00 | -0,11 | 0,00 | 0,05  | 0,00 |
| 10,00 | 0,09  | 0,00 | -0,11 | 0,00 | 0,05  | 0,00 |
| 9,50  | 0,09  | 0,00 | -0,09 | 0,00 | 0,05  | 0,00 |
| 9,00  | 0,09  | 0,00 | -0,09 | 0,00 | 0,05  | 0,00 |
| 8,50  | 0,08  | 0,00 | -0,08 | 0,00 | 0,04  | 0,00 |
| 8,00  | 0,08  | 0,00 | -0,07 | 0,00 | 0,04  | 0,00 |
| 7,50  | 0,07  | 0,00 | -0,06 | 0,00 | 0,04  | 0,00 |
| 7,00  | 0,08  | 0,00 | -0,06 | 0,00 | 0,03  | 0,00 |
| 6,50  | 0,06  | 0,00 | -0,03 | 0,00 | 0,02  | 0,00 |
| 6,00  | 0,08  | 0,00 | -0,02 | 0,00 | 0,03  | 0,00 |
| 5,50  | 0,07  | 0,00 | -0,03 | 0,00 | 0,03  | 0,00 |
| 5,00  | 0,05  | 0,00 | -0,01 | 0,00 | 0,01  | 0,00 |
| 4,50  | 0,07  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,01  | 0,00 |
| 4,00  | 0,07  | 0,00 | -0,01 | 0,00 | 0,02  | 0,00 |
| 3,00  | 0,06  | 0,00 | -0,02 | 0,00 | 0,02  | 0,00 |

\*\*\*OrcaFlex QTF End Data\*\*\*

## 2.2 Load RAO

\*\*\* OrcaFlex Load RAO Start \*\*\*

Draught Draught1

Direction 180,00

|  | N/A    | WP    | XA         | XP      | YA          | YP | ZA        | ZP            | RXA | RXP        | RYA | RYP | RZA | RZP |
|--|--------|-------|------------|---------|-------------|----|-----------|---------------|-----|------------|-----|-----|-----|-----|
|  | 0,2513 | 25,00 | 14372, 18  | 3, -49  | 138143, -60 |    | 151, -169 | 13279245, 20  |     | 402, -30   |     |     |     |     |
|  | 0,3142 | 20,00 | 12671, -9  | 4, -116 | 74460, -89  |    | 171, 108  | 12818231, -14 |     | 795, -118  |     |     |     |     |
|  | 0,3307 | 19,00 | 11412, -15 | 4, -136 | 57428, -96  |    | 179, 84   | 12129405, -23 |     | 907, -144  |     |     |     |     |
|  | 0,3491 | 18,00 | 9705, -20  | 5, -159 | 39755, -101 |    | 189, 57   | 11110719, -34 |     | 1020, -174 |     |     |     |     |
|  | 0,3696 | 17,00 | 7608, -22  | 5, 174  | 23465, -98  |    | 200, 27   | 9669075, -46  |     | 1118, 149  |     |     |     |     |
|  | 0,3927 | 16,00 | 5746, -11  | 6, 137  | 14549, -68  |    | 212, -10  | 7700579, -59  |     | 1162, 110  |     |     |     |     |
|  | 0,4189 | 15,00 | 6006, 11   | 7, 88   | 18301, -39  |    | 223, -55  | 5192225, -72  |     | 1137, 66   |     |     |     |     |
|  | 0,4333 | 14,50 | 7109, 16   | 7, 55   | 21133, -39  |    | 232, -80  | 3846331, -74  |     | 1111, 39   |     |     |     |     |
|  | 0,4488 | 14,00 | 8392, 15   | 7, 13   | 22816, -43  |    | 221, -110 | 2665022, -68  |     | 1106, 6    |     |     |     |     |
|  | 0,4654 | 13,50 | 9463, 10   | 7, -32  | 22730, -49  |    | 217, -142 | 2069440, -48  |     | 1156, -30  |     |     |     |     |
|  | 0,4833 | 13,00 | 10034, 3   | 7, -77  | 20532, -57  |    | 187, 174  | 2306050, -29  |     | 1258, -70  |     |     |     |     |
|  | 0,5027 | 12,50 | 9921, -5   | 6, -113 | 16352, -63  |    | 172, 115  | 2809995, -26  |     | 1299, -109 |     |     |     |     |
|  | 0,5236 | 12,00 | 9057, -12  | 6, -152 | 11579, -58  |    | 144, 64   | 3051573, -33  |     | 1425, -168 |     |     |     |     |
|  | 0,5464 | 11,50 | 7653, -15  | 7, 168  | 9926, -36   |    | 114, 10   | 2799770, -44  |     | 1485, 127  |     |     |     |     |
|  | 0,5712 | 11,00 | 6758, -7   | 9, 107  | 12440, -23  |    | 59, -76   | 2056332, -51  |     | 1375, 57   |     |     |     |     |
|  | 0,5984 | 10,50 | 7718, -2   | 10, 31  | 13188, -29  |    | 45, -175  | 1569616, -35  |     | 902, 0     |     |     |     |     |
|  | 0,6283 | 10,00 | 9061, -7   | 9, -114 | 10475, -40  |    | 201, -3   | 2088018, -16  |     | 1664, -106 |     |     |     |     |
|  | 0,6614 | 9,50  | 8030, -17  | 10, 153 | 9352, -26   |    | 249, -58  | 2071113, -26  |     | 1687, 157  |     |     |     |     |
|  | 0,6981 | 9,00  | 6577, -19  | 10, 20  | 12801, -18  |    | 284, 159  | 1400399, -36  |     | 1809, 30   |     |     |     |     |
|  | 0,7392 | 8,50  | 7969, -18  | 8, -109 | 9571, -36   |    | 392, 14   | 1952299, -17  |     | 1607, -107 |     |     |     |     |
|  | 0,7854 | 8,00  | 6693, -31  | 10, 82  | 11306, -22  |    | 410, -160 | 1507747, -38  |     | 1350, 74   |     |     |     |     |
|  | 0,8378 | 7,50  | 6973, -30  | 8, -142 | 8729, -43   |    | 423, 25   | 1820114, -25  |     | 1586, -127 |     |     |     |     |

|        |      |            |           |            |            |              |             |
|--------|------|------------|-----------|------------|------------|--------------|-------------|
| 0,8976 | 7,00 | 5636, -60  | 18, 36    | 10567, -51 | 1214, 112  | 1117523, -68 | 1172, 10    |
| 0,9666 | 6,50 | 4644, -53  | 17, 38    | 7731, -44  | 127, 133   | 1041518, -55 | 2167, 19    |
| 1,0472 | 6,00 | 4407, -74  | 37, 22    | 12070, -42 | 398, -145  | 864388, -91  | 1691, -6    |
| 1,1424 | 5,50 | 3168, -83  | 19, -173  | 6851, -116 | 1058, -111 | 715154, -60  | 3638, -131  |
| 1,2566 | 5,00 | 1758, -108 | 108, -130 | 3970, -142 | 1680, -56  | 376349, -88  | 15309, -134 |
| 1,3963 | 4,50 | 222, -21   | 286, 37   | 1676, -161 | 3321, 17   | 189096, -29  | 47279, 42   |
| 1,5708 | 4,00 | 119, -105  | 176, 81   | 2086, -27  | 1173, 151  | 122756, 166  | 26542, 81   |
| 2,0944 | 3,00 | 739, -112  | 18, 64    | 1296, 78   | 2126, -59  | 373751, -98  | 2880, 52    |

\*\*\* OrcaFlex Load RAO End \*\*\*

## 2.3 Displacement RAO

\*\*\* OrcaFlex Displacement RAO Start \*\*\*

Draught Draught1

Direction 180,00

|        | N/A   | WP    | XA   | XP    | YA | YP    | ZA   | ZP    | RXA | RXP   | RYA  | RYP   | RZA | RZP |
|--------|-------|-------|------|-------|----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-----|
| 0,2513 | 25,00 | 0,738 | -164 | 0,000 | 0  | 0,752 | -74  | 0,000 | 0   | 0,318 | 12   | 0,000 | 0   |     |
| 0,3142 | 20,00 | 0,472 | 153  | 0,000 | 0  | 0,454 | -110 | 0,001 | 153 | 0,389 | -32  | 0,000 | 0   |     |
| 0,3307 | 19,00 | 0,389 | 140  | 0,000 | 0  | 0,366 | -118 | 0,001 | 139 | 0,389 | -45  | 0,000 | 0   |     |
| 0,3491 | 18,00 | 0,294 | 126  | 0,000 | 0  | 0,274 | -124 | 0,001 | 122 | 0,374 | -60  | 0,000 | 0   |     |
| 0,3696 | 17,00 | 0,191 | 111  | 0,000 | 0  | 0,190 | -122 | 0,002 | 101 | 0,341 | -77  | 0,000 | 0   |     |
| 0,3927 | 16,00 | 0,088 | 97   | 0,000 | 0  | 0,145 | -106 | 0,003 | -90 | 0,283 | -96  | 0,000 | 0   |     |
| 0,4189 | 15,00 | 0,022 | 168  | 0,000 | 0  | 0,168 | -91  | 0,000 | 0   | 0,201 | -115 | 0,000 | 0   |     |
| 0,4333 | 14,50 | 0,048 | -157 | 0,000 | 0  | 0,193 | -93  | 0,000 | 0   | 0,155 | -120 | 0,000 | 0   |     |
| 0,4488 | 14,00 | 0,073 | -161 | 0,000 | 0  | 0,216 | -100 | 0,000 | 0   | 0,114 | -119 | 0,000 | 0   |     |
| 0,4654 | 13,50 | 0,089 | -173 | 0,000 | 0  | 0,228 | -111 | 0,000 | 0   | 0,093 | -105 | 0,000 | 0   |     |
| 0,4833 | 13,00 | 0,093 | 172  | 0,000 | 0  | 0,223 | -124 | 0,001 | 3   | 0,107 | -92  | 0,000 | 0   |     |
| 0,5027 | 12,50 | 0,083 | 155  | 0,000 | 0  | 0,196 | -139 | 0,001 | -37 | 0,138 | -97  | 0,000 | 0   |     |
| 0,5236 | 12,00 | 0,058 | 140  | 0,000 | 0  | 0,155 | -149 | 0,001 | -70 | 0,159 | -114 | 0,000 | 0   |     |
| 0,5464 | 11,50 | 0,030 | 144  | 0,000 | 0  | 0,127 | -149 | 0,000 | 0   | 0,149 | -138 | 0,000 | 0   |     |
| 0,5712 | 11,00 | 0,029 | -171 | 0,000 | 0  | 0,127 | -152 | 0,000 | 0   | 0,107 | -161 | 0,000 | 0   |     |
| 0,5984 | 10,50 | 0,042 | -172 | 0,000 | 0  | 0,114 | -169 | 0,000 | 0   | 0,070 | -160 | 0,000 | 0   |     |
| 0,6283 | 10,00 | 0,042 | 176  | 0,000 | 0  | 0,078 | 169  | 0,000 | 0   | 0,072 | -152 | 0,000 | 0   |     |
| 0,6614 | 9,50  | 0,034 | 169  | 0,000 | 0  | 0,054 | 172  | 0,000 | 0   | 0,057 | -175 | 0,000 | 0   |     |
| 0,6981 | 9,00  | 0,030 | 169  | 0,000 | 0  | 0,055 | 175  | 0,000 | 0   | 0,032 | 165  | 0,000 | 0   |     |
| 0,7392 | 8,50  | 0,031 | 167  | 0,000 | 0  | 0,034 | 153  | 0,000 | 0   | 0,035 | -178 | 0,000 | 0   |     |
| 0,7854 | 8,00  | 0,025 | 153  | 0,000 | 0  | 0,031 | 163  | 0,000 | 0   | 0,021 | 153  | 0,000 | 0   |     |
| 0,8378 | 7,50  | 0,023 | 152  | 0,000 | 0  | 0,019 | 138  | 0,000 | 0   | 0,021 | 164  | 0,000 | 0   |     |
| 0,8976 | 7,00  | 0,012 | 119  | 0,000 | 0  | 0,020 | 168  | 0,000 | 0   | 0,014 | 84   | 0,000 | 0   |     |
| 0,9666 | 6,50  | 0,012 | 129  | 0,000 | 0  | 0,010 | 141  | 0,000 | 0   | 0,007 | 129  | 0,000 | 0   |     |

|        |      |       |     |       |   |       |     |       |   |       |     |       |   |
|--------|------|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|---|
| 1,0472 | 6,00 | 0,010 | 107 | 0,000 | 0 | 0,011 | 142 | 0,000 | 0 | 0,005 | 90  | 0,000 | 0 |
| 1,1424 | 5,50 | 0,006 | 94  | 0,000 | 0 | 0,005 | 69  | 0,000 | 0 | 0,003 | 118 | 0,000 | 0 |
| 1,2566 | 5,00 | 0,003 | 69  | 0,000 | 0 | 0,003 | 43  | 0,000 | 0 | 0,001 | 90  | 0,000 | 0 |
| 1,3963 | 4,50 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 | 0,001 | 22  | 0,000 | 0 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 |
| 1,5708 | 4,00 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 | 0,001 | 152 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 |
| 2,0944 | 3,00 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 | 0,000 | 0   | 0,000 | 0 |

\*\*\* OrcaFlex Displacement RAO End \*\*\*

**LAMPIRAN B**

**OUTPUT SOFTWARE**

**LINKED STATISTIC EFEKTIVE TENSION**

### Linked Statistics: Line1

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s)  | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|
| Mean                    |           | 3628,6                             |
| Standard Deviation      |           | 124,8                              |
| Mean up-crossing period |           | 27,47                              |
| max                     | 1638,3266 | 4101,3                             |
| min                     | 1724,0772 | 3212,1                             |

### Linked Statistics: Line2

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s)  | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|
| Mean                    |           | 3643,6                             |
| Standard Deviation      |           | 130,6                              |
| Mean up-crossing period |           | 28,03                              |
| max                     | 1638,3266 | 4117,9                             |
| min                     | 1723,0801 | 3136,3                             |

### Linked Statistics: Line3

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s)  | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|
| Mean                    |           | 3648,7                             |
| Standard Deviation      |           | 128,8                              |
| Mean up-crossing period |           | 28,03385                           |
| max                     | 1638,3266 | 4087,7                             |
| min                     | 1723,0801 | 3184,4                             |

### Linked Statistics: Line4

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 3626,9                             |
| Standard Deviation      |          | 127,3                              |
| Mean up-crossing period |          | 27,47                              |
| max                     | 1638     | 4159,3                             |
| min                     | 1724     | 3541                               |

### Linked Statistics: Line5

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 2999,4                             |
| Standard Deviation      |          | 89,1                               |
| Mean up-crossing period |          | 12,60                              |
| max                     | 6741     | 3346,9                             |
| min                     | 4831     | 2694,6                             |

### Linked Statistics: Line6

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s)  | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|
| Mean                    |           | 2924,6                             |
| Standard Deviation      |           | 92,6                               |
| Mean up-crossing period |           | 14,14                              |
| max                     | 1720,0888 | 3249,5                             |
| min                     | 1632,344  | 2577,3                             |



### Linked Statistics: Line7

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 2847,2                             |
| Standard Deviation      |          | 97,7                               |
| Mean up-crossing period |          | 16,38587749                        |
| max                     | 1730     | 3244,5                             |
| min                     | 1632     | 2538,4                             |

### Linked Statistics: Line8

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 2784,6                             |
| Standard Deviation      |          | 103,2                              |
| Mean up-crossing period |          | 18,51                              |
| max                     | 1730     | 3226,7                             |
| min                     | 1632     | 2373,6                             |

### Linked Statistics: Line9

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 2779,4                             |
| Standard Deviation      |          | 101,5                              |
| Mean up-crossing period |          | 18,42                              |
| max                     | 1730     | 3154,8                             |
| min                     | 1632     | 2290,5                             |

### Linked Statistics: Line10

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 2842,7                             |
| Standard Deviation      |          | 97,9                               |
| Mean up-crossing period |          | 16,41                              |
| max                     | 1730     | 3189,6                             |
| min                     | 1632     | 2490,9                             |

### Linked Statistics: Line11

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s)  | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|
| Mean                    |           | 2917,7                             |
| Standard Deviation      |           | 92,5                               |
| Mean up-crossing period |           | 14,24                              |
| max                     | 1720,0888 | 3294,5                             |
| min                     | 1632,344  | 2582,4                             |

### Linked Statistics: Line12

OrcaFlex 9.2a: 180GRUP.sim (modified 2:59 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End<br>A |
|-------------------------|----------|------------------------------------|
| Mean                    |          | 2997                               |
| Standard Deviation      |          | 88,9                               |
| Mean up-crossing period |          | 12,49                              |
| max                     | 6741     | 3347,1                             |
| min                     | 4831     | 2632,9                             |

### Linked Statistics: Line1

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3254,8                          |
| Standard Deviation      |          | 126,8                           |
| Mean up-crossing period |          | 18,64                           |
| max                     | 1760     | 3705,5                          |
| min                     | 4818     | 2784,5                          |

### Linked Statistics: Line2

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3352,2                          |
| Standard Deviation      |          | 131,7                           |
| Mean up-crossing period |          | 25,39                           |
| max                     | 1760     | 3788,5                          |
| min                     | 4818     | 2873,8                          |

### Linked Statistics: Line3

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3369,6                          |
| Standard Deviation      |          | 131                             |
| Mean up-crossing period |          | 25,45                           |
| max                     | 1760     | 3790,5                          |
| min                     | 4818     | 2902,3                          |

### Linked Statistics: Line4

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3316,6                          |
| Standard Deviation      |          | 128,5                           |
| Mean up-crossing period |          | 18,39                           |
| max                     | 1760     | 3778,4                          |
| min                     | 4818     | 2810,3                          |

### Linked Statistics: Line5

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3067,6                          |
| Standard Deviation      |          | 88,9                            |
| Mean up-crossing period |          | 12,43                           |
| max                     | 1573     | 3391,4                          |
| min                     | 4829     | 2717,9                          |

### Linked Statistics: Line6

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3154,7                          |
| Standard Deviation      |          | 96,8                            |
| Mean up-crossing period |          | 12,87                           |
| max                     | 4824     | 3476,6                          |
| min                     | 6746     | 2823,1                          |

### Linked Statistics: Line7

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 2954,3                          |
| Standard Deviation      |          | 105,8                           |
| Mean up-crossing period |          | 20,23                           |
| max                     | 4824     | 3362,3                          |
| min                     | 1765     | 2586,6                          |

### Linked Statistics: Line8

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 2936,8                          |
| Standard Deviation      |          | 104,6                           |
| Mean up-crossing period |          | 29,05                           |
| max                     | 4824     | 3332,2                          |
| min                     | 1765     | 2508,1                          |

### Linked Statistics: Line9

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 2986,4                          |
| Standard Deviation      |          | 103,7                           |
| Mean up-crossing period |          | 29,37                           |
| max                     | 4824     | 3335,7                          |
| min                     | 1765     | 2629,5                          |

## Linked Statistics: Line10

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3207,9                          |
| Standard Deviation      |          | 111,2                           |
| Mean up-crossing period |          | 22,45                           |
| max                     | 4824     | 3604,2                          |
| min                     | 1765     | 2755,3                          |

## Linked Statistics: Line11

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3114,3                          |
| Standard Deviation      |          | 97,8                            |
| Mean up-crossing period |          | 12,80                           |
| max                     | 4824     | 3478,5                          |
| min                     | 6746     | 2783,7                          |

## Linked Statistics: Line12

OrcaFlex 9.2a: 180UNGRUP.sim (modified 2:58 on 24/06/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Period: Whole Simulation

|                         | Time (s) | Effective Tension (kN) at End A |
|-------------------------|----------|---------------------------------|
| Mean                    |          | 3017,9                          |
| Standard Deviation      |          | 107,7                           |
| Mean up-crossing period |          | 12,51                           |
| max                     | 1574     | 3347                            |
| min                     | 4829     | 2659,2                          |

**LAMPIRAN C**  
**TABEL DISTRIBUSI NORMAL**

|     | 0.000    | 0.005    | 0.010    | 0.015    | 0.020    | 0.025    | 0.030    | 0.035    |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.0 | 0.500000 | 0.498005 | 0.496011 | 0.494016 | 0.492022 | 0.490027 | 0.488034 | 0.486040 |
| 0.1 | 0.460172 | 0.458188 | 0.456205 | 0.454223 | 0.452242 | 0.450262 | 0.448283 | 0.446306 |
| 0.2 | 0.420740 | 0.418786 | 0.416834 | 0.414884 | 0.412936 | 0.410990 | 0.409046 | 0.407104 |
| 0.3 | 0.382089 | 0.380183 | 0.378280 | 0.376381 | 0.374484 | 0.372591 | 0.370700 | 0.368813 |
| 0.4 | 0.344578 | 0.342739 | 0.340903 | 0.339071 | 0.337243 | 0.335418 | 0.333598 | 0.331781 |
| 0.5 | 0.308538 | 0.306779 | 0.305026 | 0.303277 | 0.301532 | 0.299792 | 0.298056 | 0.296325 |
| 0.6 | 0.274253 | 0.272589 | 0.270931 | 0.269277 | 0.267629 | 0.265986 | 0.264347 | 0.262714 |
| 0.7 | 0.241964 | 0.240405 | 0.238852 | 0.237305 | 0.235762 | 0.234226 | 0.232695 | 0.231170 |
| 0.8 | 0.211855 | 0.210410 | 0.208970 | 0.207536 | 0.206108 | 0.204686 | 0.203269 | 0.201859 |
| 0.9 | 0.184060 | 0.182733 | 0.181411 | 0.180096 | 0.178786 | 0.177483 | 0.176186 | 0.174894 |
| 1.0 | 0.158655 | 0.157448 | 0.156248 | 0.155053 | 0.153864 | 0.152682 | 0.151505 | 0.150334 |
| 1.1 | 0.135666 | 0.134580 | 0.133500 | 0.132425 | 0.131357 | 0.130295 | 0.129238 | 0.128188 |
| 1.2 | 0.115070 | 0.114102 | 0.113139 | 0.112183 | 0.111232 | 0.110288 | 0.109349 | 0.108415 |
| 1.3 | 0.096800 | 0.095946 | 0.095098 | 0.094255 | 0.093418 | 0.092586 | 0.091759 | 0.090938 |
| 1.4 | 0.080757 | 0.080011 | 0.079270 | 0.078534 | 0.077804 | 0.077079 | 0.076359 | 0.075644 |
| 1.5 | 0.066807 | 0.066162 | 0.065522 | 0.064886 | 0.064255 | 0.063630 | 0.063008 | 0.062392 |
| 1.6 | 0.054799 | 0.054247 | 0.053699 | 0.053155 | 0.052616 | 0.052081 | 0.051551 | 0.051025 |
| 1.7 | 0.044565 | 0.044097 | 0.043633 | 0.043173 | 0.042716 | 0.042264 | 0.041815 | 0.041370 |
| 1.8 | 0.035930 | 0.035537 | 0.035148 | 0.034762 | 0.034380 | 0.034001 | 0.033625 | 0.033253 |
| 1.9 | 0.028717 | 0.028390 | 0.028067 | 0.027746 | 0.027429 | 0.027115 | 0.026803 | 0.026495 |
| 2.0 | 0.022750 | 0.022482 | 0.022216 | 0.021952 | 0.021692 | 0.021434 | 0.021178 | 0.020925 |
| 2.1 | 0.017864 | 0.017646 | 0.017429 | 0.017215 | 0.017003 | 0.016793 | 0.016586 | 0.016381 |
| 2.2 | 0.013903 | 0.013727 | 0.013553 | 0.013380 | 0.013209 | 0.013041 | 0.012874 | 0.012709 |
| 2.3 | 0.010724 | 0.010583 | 0.010444 | 0.010306 | 0.010170 | 0.010036 | 0.009903 | 0.009772 |
| 2.4 | 0.008198 | 0.008086 | 0.007976 | 0.007868 | 0.007760 | 0.007654 | 0.007549 | 0.007446 |
| 2.5 | 0.006210 | 0.006123 | 0.006037 | 0.005952 | 0.005868 | 0.005785 | 0.005703 | 0.005622 |
| 2.6 | 0.004661 | 0.004594 | 0.004527 | 0.004461 | 0.004396 | 0.004332 | 0.004269 | 0.004207 |
| 2.7 | 0.003467 | 0.003415 | 0.003364 | 0.003314 | 0.003264 | 0.003215 | 0.003167 | 0.003119 |
| 2.8 | 0.002555 | 0.002516 | 0.002477 | 0.002439 | 0.002401 | 0.002364 | 0.002327 | 0.002291 |
| 2.9 | 0.001866 | 0.001836 | 0.001807 | 0.001778 | 0.001750 | 0.001722 | 0.001695 | 0.001668 |



3.0 0.001350 0.001328 0.001306 0.001285 0.001264 0.001243 0.001223 0.001203  
3.1 0.000968 0.000951 0.000935 0.000920 0.000904 0.000889 0.000874 0.000859  
3.2 0.000687 0.000675 0.000664 0.000652 0.000641 0.000630 0.000619 0.000608  
3.3 0.000483 0.000475 0.000466 0.000458 0.000450 0.000442 0.000434 0.000426  
3.4 0.000337 0.000331 0.000325 0.000319 0.000313 0.000307 0.000302 0.000296  
3.5 0.000233 0.000228 0.000224 0.000220 0.000216 0.000212 0.000208 0.000204  
3.6 0.000159 0.000156 0.000153 0.000150 0.000147 0.000144 0.000142 0.000139  
3.7 0.000108 0.000106 0.000104 0.000102 0.000100 0.000098 0.000096 0.000094  
3.8 0.000072 0.000071 0.000069 0.000068 0.000067 0.000065 0.000064 0.000063  
3.9 0.000048 0.000047 0.000046 0.000045 0.000044 0.000043 0.000042 0.000042  
4.0 0.000032 0.000031 0.000030 0.000030 0.000029 0.000028 0.000028 0.000027

|     | 0.040    | 0.045    | 0.050    | 0.055    | 0.060    | 0.065    | 0.070    | 0.075    |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.0 | 0.484047 | 0.482054 | 0.480061 | 0.478069 | 0.476078 | 0.474087 | 0.472097 | 0.470107 |
| 0.1 | 0.444330 | 0.442355 | 0.440382 | 0.438411 | 0.436441 | 0.434472 | 0.432505 | 0.430540 |
| 0.2 | 0.405165 | 0.403228 | 0.401294 | 0.399362 | 0.397432 | 0.395505 | 0.393580 | 0.391658 |
| 0.3 | 0.366928 | 0.365047 | 0.363169 | 0.361295 | 0.359424 | 0.357556 | 0.355691 | 0.353830 |
| 0.4 | 0.329969 | 0.328160 | 0.326355 | 0.324555 | 0.322758 | 0.320966 | 0.319178 | 0.317393 |
| 0.5 | 0.294599 | 0.292877 | 0.291160 | 0.289447 | 0.287740 | 0.286037 | 0.284339 | 0.282646 |
| 0.6 | 0.261086 | 0.259464 | 0.257846 | 0.256234 | 0.254627 | 0.253025 | 0.251429 | 0.249838 |
| 0.7 | 0.229650 | 0.228136 | 0.226627 | 0.225124 | 0.223627 | 0.222136 | 0.220650 | 0.219170 |
| 0.8 | 0.200454 | 0.199055 | 0.197663 | 0.196276 | 0.194895 | 0.193519 | 0.192150 | 0.190787 |
| 0.9 | 0.173609 | 0.172329 | 0.171056 | 0.169789 | 0.168528 | 0.167272 | 0.166023 | 0.164780 |
| 1.0 | 0.149170 | 0.148011 | 0.146859 | 0.145713 | 0.144572 | 0.143438 | 0.142310 | 0.141187 |
| 1.1 | 0.127143 | 0.126105 | 0.125072 | 0.124045 | 0.123024 | 0.122009 | 0.121000 | 0.119997 |
| 1.2 | 0.107488 | 0.106566 | 0.105650 | 0.104739 | 0.103835 | 0.102936 | 0.102042 | 0.101155 |
| 1.3 | 0.090123 | 0.089313 | 0.088508 | 0.087709 | 0.086915 | 0.086127 | 0.085343 | 0.084566 |
| 1.4 | 0.074934 | 0.074229 | 0.073529 | 0.072835 | 0.072145 | 0.071460 | 0.070781 | 0.070106 |
| 1.5 | 0.061780 | 0.061173 | 0.060571 | 0.059973 | 0.059380 | 0.058791 | 0.058208 | 0.057628 |
| 1.6 | 0.050503 | 0.049985 | 0.049471 | 0.048962 | 0.048457 | 0.047956 | 0.047460 | 0.046967 |
| 1.7 | 0.040930 | 0.040492 | 0.040059 | 0.039630 | 0.039204 | 0.038782 | 0.038364 | 0.037949 |
| 1.8 | 0.032884 | 0.032519 | 0.032157 | 0.031798 | 0.031443 | 0.031091 | 0.030742 | 0.030396 |
| 1.9 | 0.026190 | 0.025887 | 0.025588 | 0.025292 | 0.024998 | 0.024707 | 0.024419 | 0.024134 |
| 2.0 | 0.020675 | 0.020427 | 0.020182 | 0.019940 | 0.019699 | 0.019462 | 0.019226 | 0.018993 |
| 2.1 | 0.016177 | 0.015976 | 0.015778 | 0.015581 | 0.015386 | 0.015194 | 0.015003 | 0.014815 |
| 2.2 | 0.012545 | 0.012384 | 0.012224 | 0.012067 | 0.011911 | 0.011756 | 0.011604 | 0.011453 |
| 2.3 | 0.009642 | 0.009514 | 0.009387 | 0.009261 | 0.009137 | 0.009015 | 0.008894 | 0.008774 |
| 2.4 | 0.007344 | 0.007243 | 0.007143 | 0.007044 | 0.006947 | 0.006851 | 0.006756 | 0.006662 |
| 2.5 | 0.005543 | 0.005464 | 0.005386 | 0.005309 | 0.005234 | 0.005159 | 0.005085 | 0.005012 |
| 2.6 | 0.004145 | 0.004085 | 0.004025 | 0.003965 | 0.003907 | 0.003849 | 0.003793 | 0.003736 |
| 2.7 | 0.003072 | 0.003026 | 0.002980 | 0.002935 | 0.002890 | 0.002846 | 0.002803 | 0.002760 |
| 2.8 | 0.002256 | 0.002221 | 0.002186 | 0.002152 | 0.002118 | 0.002085 | 0.002052 | 0.002020 |
| 2.9 | 0.001641 | 0.001615 | 0.001589 | 0.001563 | 0.001538 | 0.001513 | 0.001489 | 0.001465 |

3.0 0.001183 0.001163 0.001144 0.001125 0.001107 0.001088 0.001070 0.001053  
3.1 0.000845 0.000830 0.000816 0.000802 0.000789 0.000775 0.000762 0.000749  
3.2 0.000598 0.000587 0.000577 0.000567 0.000557 0.000547 0.000538 0.000528  
3.3 0.000419 0.000411 0.000404 0.000397 0.000390 0.000383 0.000376 0.000369  
3.4 0.000291 0.000286 0.000280 0.000275 0.000270 0.000265 0.000260 0.000255  
3.5 0.000200 0.000196 0.000193 0.000189 0.000185 0.000182 0.000178 0.000175  
3.6 0.000136 0.000134 0.000131 0.000129 0.000126 0.000124 0.000121 0.000119  
3.7 0.000092 0.000090 0.000088 0.000087 0.000085 0.000083 0.000082 0.000080  
3.8 0.000062 0.000060 0.000059 0.000058 0.000057 0.000056 0.000054 0.000053  
3.9 0.000041 0.000040 0.000039 0.000038 0.000037 0.000037 0.000036 0.000035  
4.0 0.000027 0.000026 0.000026 0.000025 0.000025 0.000024 0.000024 0.000023

|     | 0.080    | 0.085    | 0.090    | 0.095    |
|-----|----------|----------|----------|----------|
| 0.0 | 0.468119 | 0.466131 | 0.464144 | 0.462157 |
| 0.1 | 0.428576 | 0.426615 | 0.424655 | 0.422696 |
| 0.2 | 0.389739 | 0.387822 | 0.385908 | 0.383997 |
| 0.3 | 0.351973 | 0.350119 | 0.348268 | 0.346421 |
| 0.4 | 0.315614 | 0.313838 | 0.312067 | 0.310300 |
| 0.5 | 0.280957 | 0.279274 | 0.277595 | 0.275922 |
| 0.6 | 0.248252 | 0.246672 | 0.245097 | 0.243528 |
| 0.7 | 0.217695 | 0.216227 | 0.214764 | 0.213307 |
| 0.8 | 0.189430 | 0.188078 | 0.186733 | 0.185394 |
| 0.9 | 0.163543 | 0.162312 | 0.161087 | 0.159868 |
| 1.0 | 0.140071 | 0.138961 | 0.137857 | 0.136758 |
| 1.1 | 0.119000 | 0.118009 | 0.117023 | 0.116044 |
| 1.2 | 0.100273 | 0.099396 | 0.098525 | 0.097660 |
| 1.3 | 0.083793 | 0.083026 | 0.082264 | 0.081508 |
| 1.4 | 0.069437 | 0.068772 | 0.068112 | 0.067457 |
| 1.5 | 0.057053 | 0.056483 | 0.055917 | 0.055356 |
| 1.6 | 0.046479 | 0.045994 | 0.045514 | 0.045038 |
| 1.7 | 0.037538 | 0.037131 | 0.036727 | 0.036327 |
| 1.8 | 0.030054 | 0.029715 | 0.029379 | 0.029046 |
| 1.9 | 0.023852 | 0.023572 | 0.023295 | 0.023021 |
| 2.0 | 0.018763 | 0.018535 | 0.018309 | 0.018085 |
| 2.1 | 0.014629 | 0.014444 | 0.014262 | 0.014082 |
| 2.2 | 0.011304 | 0.011156 | 0.011011 | 0.010867 |
| 2.3 | 0.008656 | 0.008540 | 0.008424 | 0.008310 |
| 2.4 | 0.006569 | 0.006478 | 0.006387 | 0.006298 |
| 2.5 | 0.004940 | 0.004869 | 0.004799 | 0.004730 |
| 2.6 | 0.003681 | 0.003626 | 0.003573 | 0.003519 |
| 2.7 | 0.002718 | 0.002676 | 0.002635 | 0.002595 |
| 2.8 | 0.001988 | 0.001957 | 0.001926 | 0.001896 |
| 2.9 | 0.001441 | 0.001418 | 0.001395 | 0.001372 |

3.0 0.001035 0.001018 0.001001 0.000984  
3.1 0.000736 0.000724 0.000711 0.000699  
3.2 0.000519 0.000510 0.000501 0.000492  
3.3 0.000362 0.000356 0.000349 0.000343  
3.4 0.000251 0.000246 0.000242 0.000237  
3.5 0.000172 0.000169 0.000165 0.000162  
3.6 0.000117 0.000114 0.000112 0.000110  
3.7 0.000078 0.000077 0.000075 0.000074  
3.8 0.000052 0.000051 0.000050 0.000049  
3.9 0.000034 0.000034 0.000033 0.000032  
4.0 0.000023 0.000022 0.000022 0.000021

Copyright © 2008 Deny Kurniawan

FORUM STATISTIKA - <http://ineddeni.wordpress.com>

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil studi komparasi dua konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dan *ungrouping* yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk RAO (*Response Amplitude Operator*) *free floating* dengan *heading*  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  terjadi gerakan maksimal pada gerakan *surge* dan *heave* sebesar 1,01 m/m dan 1 m/m. Untuk *heading*  $45^{\circ}$  dan  $135^{\circ}$  terjadi gerakan yang maksimal pada gerakan *heave* yaitu sebesar 1 m/m. Dan untuk *heading*  $90^{\circ}$  terjadi gerakan yang cukup besar pada mode gerakan *sway*, *heave*, dan *roll* yang masing-masing besarnya 1 m/m, 1,3 m/m, dan 1,43 deg/m.
2. *Offset* maksimum yang terjadi, ketika FLNG ditambat menggunakan konfigurasi *grouping* maupun *ungrouping* untuk arah *surge* dan *sway* masing-masing sebesar disajikan dalam tabel dibawah ini.

**Tabel 5. 1** Rangkuman Gerakan Surge, dan Sway

| <i>Heading</i> | <i>Kondisi FLNG</i> | <i>Surge m</i> | <i>Sway m</i> |
|----------------|---------------------|----------------|---------------|
| $180^{\circ}$  | <i>grouping</i>     | 19,76          | 0,12          |
|                | <i>ungrouping</i>   | 18,06          | 0,61          |
| $90^{\circ}$   | <i>grouping</i>     | 24,8           | 46            |
|                | <i>ungrouping</i>   | 35,9           | 38,79         |
| $135^{\circ}$  | <i>grouping</i>     | 21,8           | 35,57         |
|                | <i>ungrouping</i>   | 26,37          | 24,24         |

Dari tabel 5.1 dapat disimpulkan bahwa, FLNG ketika ditambat menggunakan konfigurasi *mooring line* secara *grouping* dan *ungrouping* tidak terlalu signifikan perbedaannya ketika beban secara  $180^{\circ}$ . Untuk arah pembebanan  $90^{\circ}$  dan  $135^{\circ}$  FLNG ,konfigurasi *ungrouping* memiliki *offset* yang lebih besar, jika dibandingkan dengan FLNG ketika ditambat

dengan menggunakan konfigurasi *grouping*. Jika dibandingkan *offset* antara arah pembebanan  $90^\circ$  dan  $135^\circ$  *offset* akan lebih besar ketika FLNG dikenai arah  $90^\circ$ . FLNG yang dikaji pada penelitian kali ini menggunakan *eksternal turret mooring system*, dimana memiliki kemampuan untuk berputar searah dan menyesuaikan dengan arah beban gelombang yang bekerja (*weathervaning*). Maka untuk analisa *damage* hanya mempertimbangkan arah  $180^\circ$  saja. Untuk kondisi *damage* gerakan *surge*, konfigurasi *grouping* memiliki *offset* sebesar 27,25 m, bertambah 7,49 m. Untuk konfigurasi *ungrouping* memiliki *offset* sebesar 27,39 m, bertambah 9,33 m dari kondisi *intact*. Sedangkan untuk kondisi *damage* gerakan *sway*, *offset* dari konfigurasi *ungrouping* bertambah sebesar 1,83 m dari kondisi *intact* dan untuk konfigurasi *ungrouping* bertambah 2,84 m dari kondisi *intact*.

3. Hasil dari *mooring line tension* yang dianalisa akan disajikan dalam tabel dibawah ini.

**Tabel 5. 2** Rangkuman *Mooring Line Tension*

| Kondisi     | Konfigurasi       | Mooring Line | Tension |         |
|-------------|-------------------|--------------|---------|---------|
|             |                   |              | Max kN  | Mean kN |
| $180^\circ$ | <i>Grouping</i>   | 3            | 4088    | 3645    |
|             | <i>Ungrouping</i> | 3            | 3791    | 3371    |
| $90^\circ$  | <i>Grouping</i>   | 5            | 6828    | 4082    |
|             | <i>Ungrouping</i> | 7            | 6942    | 3916    |
| $135^\circ$ | <i>Grouping</i>   | 4            | 6090    | 3948    |
|             | <i>Ungrouping</i> | 4            | 5979    | 3691    |

Dari tabel 5.2 dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *ungrouping* memiliki *tension* yang lebih kecil daripada konfigurasi *grouping*. Dari arah pembebanan yang dilakukan, didapatkan *tension* paling besar ketika FLNG dikenai pembebanan dari arah  $90^\circ$ . Ini dikarenakan luasan FLNG ketika dikenai beban dari  $90^\circ$  lebih besar dari pada arah pembebanan yang lain. Dikarena FLNG mampu untuk *weathervaning*. Maka untuk

analisa *damage* hanya mempertimbangkan arah  $180^\circ$  saja. Ketika FLNG dikenai pembebanan dari arah  $180^\circ$ , kedua konfigurasi memiliki *maksimum tension* pada *mooring line* 3. Karena *mooring line* 3 memiliki *tension* yang paling besar, kemudian akan dianalisa sebagai kondisi *damage*. Setelah kondisi *damage* dilakukan, *tension* pada seluruh *mooring line* bertambah besar. Untuk kondisi setelah tali 3 putus, *mooring line tension* yang paling besar adalah *mooring line* 2. Setelah analisa *damage* telah dilakukan, konfigurasi *ungrouping* memiliki besar *tension* maksimum dan rata-rata yang lebih kecil daripada konfigurasi *grouping*.

Untuk konfigurasi *grouping*, *tension* maksimumnya sebesar 5.212 kN sedangkan untuk konfigurasi *ungrouping* 4.692 kN

4. Keandalan dari *mooring line* akan menurun seiring naiknya *tension* pada *mooring line*. Untuk konfigurasi *grouping* memiliki keandalan yang sama yaitu 0,732 pada *mooring line* 3. Untuk *ungrouping* memiliki keandalan 0,739. Namun ketika terjadi analisa *damage*, keandalan dari konfigurasi *mooring line* secara *grouping* turun menjadi 0,633 dan untuk konfigurasi *ungrouping* sebesar 0,655 yang terletak pada *mooring line* 2.

## 5.2. SARAN

Saran yang dapat diberikan mengenai tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk arah pembebanan lingkungan dianjurkan untuk dianalisa secara *collinear* dan *noncollinear*.
2. Analisa variasi posisi *fairlead* untuk *eksternal turret* dan *pretension* untuk *mooring line*.
3. Analisa *fatigue* diperlukan untuk mengetahui berapa tahun *mooring* tersebut bisa bekerja secara optimal.
4. Menghitung keandalan sistem dari seluruh konfigurasi *mooring lines* yang diteliti dengan menggunakan metode simulasi *monte carlo*.



## DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2SK 2nd edition. 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.
- Azhar, T.A. 2013. **Studi Komparasi Pengaruh Dolphin Mooring System Dan Tower Mooring System Terhadap Perilaku Gerak FSRU PGN dan LNG Carrier**. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Bhattacharyya, R. 1978. **Dynamics of Marine Vehicles**. John Wiley & Sons. Annapolis : U.S. Naval Academy
- Chakrabarti, S.K. 1987. **Hydrodynamics of Offshore Structures**. Boston USA : Computational Mechanics Publications Southampton.
- Cho, S.K., Sung, H.G., Hong, S.Y., Yun Ho dan Kim., 2013. "Study of the Stability of Turret moored Floating Body". **Proc. Int. 13th of Ship Stability Workshop**. Seoul National University
- Djatmiko, E.B. 2012. **Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak**. Surabaya : ITS Press. ITS Surabaya. Indonesia.
- DNV OS E301. 2004. "Position *Mooring*". **Det Norske Veritas**. Norway.
- Faltinsen, O.M. 1990. **Sea Loads On Ships And Offshore Structures**, United Kingdom : Cambridge University Press.
- <http://www.sbmoffshore.com> diakses pada tanggal 10 Febuari 2016
- Kwan, C. T. dan Bruen, F. J.1991. "*Mooring Line* Dynamics: Comparison of Time Domain, Frequency Domain, and Quasi-Static Analyses". **Offshore Technology Conference**: 6-9 Mei 1991.
- Murdjito. 2005. **Handout Perancangan Konstruksi Bangunan Laut 2**. Surabaya : ITS.

- Perwitasari, R.P. 2010. **Hydrodynamic Interaction and *Mooring* Analysis For Offloading Between FPSO and LNG Shuttle Tanker. Master Thesis of Departement Marine Technology.** Norwegian University of Science and Technology. Trondheim.
- Pramudyo, G.A. 2013. **Studi Pengaruh Gerak CALM Buoy Pada Sistem Tambat FPSO *BROTOJOYO* Dengan Variasi Pre-Tension *Mooring Lines* Terhadap Keamanan Lazy-S Riser.** Jurusan Teknik Kelautan ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Prasiwi, R. A. 2014. **Analisa Perilaku FPSO Terhadap Internal Turret *Mooring* System Berbasis Simulasi Time Domain.** Jurusan Teknik Kelautan ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Rosyid, D.M. 2007. **Pengantar Rekayasa Keandalan.** Surabaya : Airlangga University Press.
- Sabana, M.N. 2012. **Analisis Tegangan pada Yoke Arm External Turret *Mooring* System FPSO.** Jurusan Teknik Kelautan ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- SOFEC. “External Turret *Mooring* System”, [www.sofec.com](http://www.sofec.com), 18 Januari 2011.
- Wahyudi, Y. 2009. **Analisis Fatigue Pada Crane Pedestal Floating Production Storage and Offloading (FPSO) Belanak.** Jurusan Teknik Kelautan ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

## BIODATA PENULIS



Rizal Aziz Perdana lahir di Malang pada tanggal 10 April 1994, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Lawang V, Malang pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Negeri 1 Lawang pada tahun 2006-2009 dan SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2009-2012. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis mengikuti program Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi

Negeri atau yang disebut SNMPTN dan diterima untuk melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan NRP 4312 100 060. Selama masa perkuliahan, penulis tidak hanya fokus di bidang akademik perkuliahan, namun penulis juga aktif mengikuti kegiatan ekstrakampus. Beberapa kegiatan ekstrakampus yang diikuti diantara adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan, OCEANO sebagai salah satu pengagas kegiatan charity concert 2015 yang pertama kali dilakukan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan. Penulis juga pernah mengikuti “Oil Rig Design Competition – PETROLIDA 2015” yang diselenggarakan oleh SPE SC ITS dengan lingkup perlombaan se Asia Pasific. Pada tahun 2015, penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan fabrikasi modul yaitu di Siemens Project Site di Pulau Batam. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang perencanaan bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik komparasi eksternal turret *mooring* dengan mempertimbangan konfigurasi secara *grouping* dan *ungrouping*.

Konta Penulis :

Email : rizalazizperdana@gmail.com

Telepon : 0812 3040 9067