



TUGAS AKHIR - MO1326

**Analisa Sistem *Mooring* dan Olah Gerak Struktur *Aquaculture*
Lepas Pantai Model *Farmocean* untuk Perairan Dalam
Indonesia**

ARRIZALKHAKIM

NRP. 043113410000068

Dosen Pembimbing

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

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

2018



TUGAS AKHIR - MO1326

Mooring System and Motion Response Analysis of Farmoccean Offshore Aquaculture Cage for Open Sea in Indonesia

ARRIZALKHAKIM

NRP. 043113410000068

Supervisors

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

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2018

**ANALISA SISTEM *MOORING* DAN OLAH GERAK STRUKTUR *AQUACULTURE*
LEPAS PANTAI MODEL *FARMOCEAN* UNTUK PERAIRAN DALAM INDONESIA**

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARRIZAL KHAKIM
NRP. 0431143000068

Disetujui oleh :

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc (Pembimbing I)

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing II)

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D (Penguji 1)

Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 2)



Handwritten signatures in blue ink:
1. Yeyes Mulyadi (Pembimbing I)
2. Nur Syahroni (Pembimbing II)
3. Handayanu (Penguji 1)
4. Imam Rochani (Penguji 2)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analisa Sistem *Mooring* dan Olah Gerak Struktur *Aquaculture* Lepas Pantai Model *Farmocean* untuk Perairan Dalam Indonesia

Nama : Arrizal Khakim
NRP : 043113 4000068
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Akuakultur merupakan suatu kegiatan produksi biota akuatik untuk tujuan komersial. Masalah pencurian ikan dan *overfishing* yang membuat produktivitas perikanan Indonesia menurun dapat diatasi dengan meningkatkan produksi perikanan Indonesia melalui *offshore aquaculture*. Salah satu jenis struktur *Offshore Aquaculture* adalah *Farmocean Aquaculture*. Sebagai bangunan yang terapung, maka perlu adanya sistem tambat untuk menjaga struktur tetap berada di posisinya dengan kondisi yang baik. Dalam penelitian ini dilakukan analisa *tension* dan *offset* untuk struktur *aquaculture* model *Farmocean* yang diaplikasikan untuk kemajuan budidaya ikan lepas pantai. Penelitian ini juga untuk mengetahui perencanaan sistem tambat yang paling tepat, aman dan paling efisien untuk *aquaculture* model *Farmocean* sebelum di oprasikan di perairan Laut Timor. Sistem konfigurasi *mooring* akan dibandingkan antara tipe *rectangular array*, *linear array*, dan *4 points mooring*. Perancangan tali sistem *mooring* menggunakan tali tambat Bridon *Diamond Blue* dengan diameter 52 mm dengan *minumim breaking force* 2231 kN. Untuk selanjutnya akan dianalisa *tension* dan *offset* menggunakan *codes* dan *standard* DNV OS E301, dengan kondisi *ultimate limit states* (ULS) dan arah heading 0^0 , 45^0 , 90^0 . Berdasarkan analisa yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini didapatkan bahwa sistem konfigurasi *mooring linear array* unggul dibandingkan dengan konfigurasi *mooring* lain dengan nilai faktor *u* dari kalkulasi DNVGL OS-E301 sebesar 0.61 dengan *tension cable* terbesar 605 kN dan *offset* terbesar 5,93 m. Dimana semakin rendah nilai faktor *u* maka semakin baik faktor keselamatannya.

Kata kunci: *Aquaculture, mooring lines, tension, offset, farmocean*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Mooring System and Motion Response Analysis of Farmocean Offshore Aquaculture Cage for Open Sea in Indonesia

Name : Arrizal Khakim
NRP : 043113 4000068
Department : Teknik Kelautan FTK - ITS
Supervisor : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Aquaculture is a production activity of aquatic biota for commercial purposes. The problem of fish theft and overfishing which makes the fishery productivity of Indonesia decreased can be overcome by increasing Indonesian fishery production through offshore aquaculture. One type of Offshore Aquaculture structure is Farmocean Aquaculture. As a floating building, it is necessary to have a mooring system to keep the structure remain in position with good conditions. In this research, tension and offset analysis for aquaculture model of Farmocean model applied for the development of offshore fish culture. This research is also to find out the most appropriate, safe and most efficient mooring system design for Farmocean aquaculture model before being operated in Timor Sea waters. The mooring configuration system will be compared between rectangular array, linear array, and 4 points mooring. The design of mooring system ropes using Bridon Diamond Blue mooring rod with a diameter of 52 mm with a breaking force of 2231 kN. Furthermore, it will be analyzed tension and offset using DNV OS E301 codes and standard, with ultimate limit states (ULS) and heading direction 00,450,900. Based on the analysis done in this final project it is found that superior linear array array configuration system compared with another mooring configuration with a factor u value of DNVGL OS-E301 calculation with the largest tension cable of 605 kN and the largest offset of 5.93 m. Where the lower the u factor the better the safety factor.

Keywords: Aquaculture, mooring lines, tension, offset, farmocean

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yangtelah memberikan segala rahmat, karunia dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik, lancar dan tepat waktu. Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Sistem *Mooring* dan Olah Gerak Struktur *Aquaculture* Lepas Pantai Model *Farmocean* untuk Perairan Dalam Indonesia” ini dapat terselesaikan dengan banyak bantuan dan dorongan dari berbagai pihak.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini menitikberatkan pada analisa sistem *mooring offshore aquaculture* model *Farmocean* untuk perairan laut lepas di Indonesia.

Penulis menyadari terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak baik secara moral maupun material dan secara langsung maupun tidak langsung. Sehingga pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan berkah, rezeki, petunjuk dan kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
2. Kedua orang tua penulis dan kakak penulis atas segala kasih sayang yang kaliancurahkan serta doa yang tidak pernah putus.
3. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc Nur selaku dosen pembimbing pertamayang selalu dengan sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing keduyang selalu membimbing penulis dalam segala urusan selama perkuliahan dan penyelesaian Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Murdjito, M.Sc.eng selaku dosen wali yang selalu dengan sabar memberikan nasihat dan arahan dari awal hingga akhir perkuliahan.
6. Bapak-bapak dosen penguji yang telah memberikan masukan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Teman seperjuangan Tugas Akhir, Angga Baskara, Vilda Ariviana, Hafidz Bagus, Ananda Rais dan Niken Desiana untuk pembelajaran, kerjasama, dan semangatnya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Mbak Yani Nurita dan Mas Rino yang selalu menyempatkan waktunya untuk memberikan ilmu, arahan dan nasihat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Septaninda Putri, Herlian Bagus, Khutama Wijaya dan Dimas Bagus untuk do'a, semangat dan nasihat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Semua teman-teman Valtameri dan GL 14 yang selalu memberikan dukungan demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Akuakultur	7
2.2.2 Bentuk Struktur Akuakultur.....	8
2.2.3 Akuakultur Model <i>Farmocean (semi-submersible)</i>	10
2.2.4 Pembebanan	11
2.2.5 Hukum Archimedes	11
2.2.6 Karakteristik Gelombang	12
2.2.7 Gerakan Pada Bangunan Apung	12
2.2.9 Spektrum Gelombang	16
2.2.10 <i>Response Amplitude Operators (RAO)</i>	17
3.2.11 Sistem Mooring.....	18
2.2.12 Tali tambat	22
2.2.13. <i>Tension</i> Maksimum pada Tali Tambat	23
2.2.14. <i>Excursion</i>	24
METODE PENELITIAN	26
3.1 Diagram Alir	26

3.2. Prosedur Penelitian	28
3.3.1. Data Lingkungan.....	29
3.3.2. Data Struktur.....	30
3.3.3. Data Mooring Line.....	31
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Analisa Data dan Perhitungan Beban	34
4.1.1. Beban Struktur	34
4.1.2. Beban Hidup	34
4.1.3. Kombinasi Arah Pembebanan Gelombang.....	34
4.1.4. Analisa Data Lingkungan	35
4.2. Pemodelan Geometri Struktur.....	36
4.2.1. Pemodelan Bentuk Struktur dengan SolidWorks	36
4.3. Permodelan Hidrodinamika	37
4.3.1. Surface Model 3D	37
4.3.2. Pemodelan Jaring	37
4.4 <i>Response Amplitude Operator (RAO) Free floating</i>	38
4.5. Pemodelan Konfigurasi <i>Mooring</i>	41
4.5.1. Pemodelan <i>Mooring Rectangular Array</i>	41
4.5.2. Pemodelan <i>Mooring Linear Array</i>	42
4.5.3. Pemodelan <i>Mooring 4 Points Mooring</i>	43
4.6. RAO Tertambat.....	44
4.6.1. Konfigurasi <i>Rectangular Array</i>	44
4.6.2. Konfigurasi <i>Linear Array</i>	47
4.6.3. Konfigurasi <i>4 Points Mooring</i>	50
4.7. Spektra Gelombang Irregular JONSWAP ANSYS AQWA.....	53
4.8. Spektra Respon Gerak Struktur Tertambat	54
4.8.1. Konfigurasi <i>Rectangular Array</i>	54
4.8.2. Konfigurasi <i>Linear Array</i>	56
4.8.3. Konfigurasi <i>4 Points Mooring</i>	59
4.9. Analisa <i>Offset</i> dan <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> tiap Konfigurasi.....	62
4.9.1. <i>Heading 0°</i>	63
4.9.2. <i>Heading 45°</i>	63
4.9.3. <i>Heading 90°</i>	64
4.10. Analisa Perhitungan DNVGL OS-E301 kriteria ULS	65
4.10.1. Hasil Faktor Keselamatan Konfigurasi <i>Rectangular Array</i>	65

4.10.2. Hasil Faktor Keselamatan Konfigurasi <i>Linear Array</i>	65
4.10.3. Hasil Faktor Keselamatan Konfigurasi <i>4 Points Mooring</i>	66
4.11. Panjang Total <i>Mooring Line</i>	66
4.12. Penentuan Konfigurasi Paling Efisien	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Akuakultur dilaut dalam model <i>Farmocean</i>	2
Gambar 1.2 Peta persebaran ikan di Indonesia.....	4
Gambar 2.1 <i>Aquaculture tempest 2 fish cage</i>	7
Gambar 2.2 <i>Aquaculture semi-submersible offshore system (farmocean)</i>	8
Gambar 2.3 <i>Aquaculture fish farm platform</i>	8
Gambar 2.4 <i>Aquaculture sea station</i>	8
Gambar 2.5 <i>Aquaculture rafa tension leg cage</i>	9
Gambar 2.6 Bagian atas akuakultur model <i>Farmocean</i> lepas pantai	10
Gambar 2.8 <i>Grid system and mooring lines in a farming module of six cages</i>	18
Gambar 2.9 <i>Mooring</i> Konfigurasi Jajaran Persegi (WAS Aquaculture, 2009)	18
Gambar 2.10 <i>Mooring</i> Konfigurasi Jajaran Linear (WAS Aquaculture, 2009)	19
Gambar 2.11 <i>Mooring</i> Konfigurasi 4 Titik Tambat dengan Posisi Keramba Berdekatan	19
Gambar 2.12 <i>Mooring</i> Konfigurasi 1 Titik Tambat tiap Keramba	
Gambar 2.13 <i>Mooring</i> Konfigurasi 1 Titik Tambat	20
dengan Posisi Keramba Berdekatan	
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	24
Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)	25
Gambar 3.3 Gambar Dimensi Struktur <i>Farmocean</i>	28
Gambar 3.4 <i>Marine wire rope specification from Diamond Blue</i> dari Bridon	29
Gambar 4.1 Ilustrasi Kombinasi Pembebanan Lingkungan	31
Gambar 4.2 Draft Model Struktur <i>Farmocean</i>	32
Gambar 4.3 Model Struktur <i>Farmocean</i> tipe <i>Solid</i> dalam SolidWorks.....	33
Gambar 4.4 <i>FarmOcean</i> dengan Sling Net pada ANSYS <i>Hydrodynamic Diffraction</i>	33
Gambar 4.5 Konfigurasi <i>Mooring Rectangular Array</i> Tampak Atas	34
Gambar 4.6 Konfigurasi <i>Mooring Rectangular Array</i> Tampak Isometris	35
Gambar 4.7 Model dalam ANSYS Aqwa <i>Mooring Linear Array</i> Tampak Atas	35
Gambar 4. 8 Model dalam ANSYS Aqwa <i>Mooring Linear Array</i> Tampak Isometris.....	48
Gambar 4.9 Model dalam ANSYS Aqwa <i>4 Points Mooring</i> Tampak Atas	36
Gambar 4.10 Model dalam ANSYS Aqwa <i>4 Points Mooring</i> Tampak Isometris.....	36

Gambar 4.11 RAO Translasiional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 0°	37
Gambar 4.12 RAO Rotasional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 0°	38
Gambar 4.13 RAO Translasiional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 45°	38
Gambar 4.14 RAO Rotasional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 45°	39
Gambar 4.15 RAO Translasiional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 90°	39
Gambar 4.16 RAO Rotasional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah arah 90°.....	40
Gambar 4.17 RAO Translasiional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> arah 0°	40
Gambar 4.18 RAO Rotasional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> arah 0°	41
Gambar 4.19 RAO Translasiional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> arah 45°	41
Gambar 4.20 RAO Rotasional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> arah 45°	42
Gambar 4.21 RAO Translasiional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> arah 90°	42
Gambar 4.22 RAO Rotasional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> arah 90°	43
Gambar 4.23 RAO Translasiional untuk Konfigurasi 4 <i>Point Mooring</i> Arah 0°	43
Gambar 4.24 RAO Rotasional untuk Konfigurasi 4 <i>Point Mooring</i> Arah 0°	44
Gambar 4.25 RAO Translasiional untuk Konfigurasi 4 <i>Point Mooring</i> Arah 45°	44
Gambar 4.26 RAO Rotasional untuk Konfigurasi 4 <i>Point Mooring</i> Arah 45°	45
Gambar 4.27 RAO Translasiional untuk Konfigurasi 4 <i>Point Mooring</i> Arah 90°	45
Gambar 4.28 RAO Rotasional untuk Konfigurasi 4 <i>Point Mooring</i> Arah 90°	46
Gambar 4.29 Spektra JONSWAP	46
Gambar 4.30 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 0°	47
Gambar 4.31 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 0°	47
Gambar 4.32 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 45°	48
Gambar 4.33 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 45°	48
Gambar 4.34 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 90°	49
Gambar 4.35 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> Arah 90°	49
Gambar 4.36 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi <i>Linear Array</i> Arah 0°	50
Gambar 4.37 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi	

<i>Linear Array</i> Arah 0°	50
Gambar 4.38 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi	
<i>Linear Array</i> Arah 45°	51
Gambar 4.39 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi	
<i>Linear Array</i> Arah 45°	51
Gambar 4.40 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi	
<i>Linear Array</i> Arah 90°	52
Gambar 4.41 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi	
<i>Linear Array</i> Arah 90°	52
Gambar 4.42 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi	
<i>4 Point Mooring</i> Arah 0°	53
Gambar 4.43 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi	
<i>4 Point Mooring</i> Arah 0°	53
Gambar 4.44 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi	
<i>4 Point Mooring</i> Arah 45°	54
Gambar 4.45 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi	
<i>4 Point Mooring</i> Arah 45°	54
Gambar 4.46 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi	
<i>4 Point Mooring</i> Arah 90°	55
Gambar 4.47 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi	
<i>4 Point Mooring</i> Arah 90°	55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Parameter Gelombang	15
Tabel 3.1 Data lingkungan 100 tahunan Laut Timor (DNV OS E301).....	27
Tabel 3.2 Metaocean data for Timor Sea (1 tahunan)	27
Tabel 3. 3 Data Dimensi Struktur <i>Farmocean</i>	28
Tabel 3.4 Data Beban Elemen Pendukung	29
Tabel 4.1 Gaya berat struktur <i>Farmocean</i>	30
Tabel 4. 2 Arah Pembebanan Gelombang dan Arus.....	31
Tabel 4.3 Properti <i>Mooring Line</i> yang Digunakan	34
Tabel 4.4 <i>Offset Output</i> ANSYS Aqwa	56
Tabel 4.5 <i>Tension</i> Maksimum yang Terjadi pada Tiap <i>Cable Heading</i> 0°	56
Tabel 4.6 <i>Offset Output</i> ANSYS Aqwa Arah 45°	57
Tabel 4.7 <i>Tension</i> Maksimum yang Terjadi pada Tiap <i>Cable Heading</i> 45°	57
Tabel 4.8 <i>Offset Output</i> ANSYS Aqwa <i>Heading</i> 90°	58
Tabel 4.9 <i>Tension</i> Maksimum yang Terjadi pada Tiap <i>Cable Heading</i> 90°	58
Tabel 4.10 Nilai Faktor <i>u</i> Tiap <i>Mooring Line</i> Konfigurasi <i>Rectangular Array</i>	59
Tabel 4. 11 Nilai Faktor <i>u</i> tiap <i>Mooring Line</i> pada Konfigurasi <i>Linear Array</i>	59
Tabel 4.12 Nilai Faktor <i>u</i> Tiap <i>Mooring Line</i> pada Konfigurasi <i>4 Points Mooring</i>	59
Tabel 4.13 Total <i>Mooring Cable</i> yang Digunakan Tiap Konfigurasi.....	60
Tabel 4.14 Perbandingan Konfigurasi <i>Mooring</i> Paling Efektif.....	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki kuasa atas lautan dan perikanan (kaya ikan) yang luas. Dengan demikian, bangsa ini sudah memiliki kedudukan di antara produsen terbesar akuakultur di seluruh dunia. Mengingat jumlah penduduk Indonesia yang lebih dari 250 juta orang, bukan saja ada potensi permintaan luar negeri yang besar tetapi juga permintaan domestik yang besar untuk produk perikanan. Peningkatan efisiensi sangatlah penting untuk mendorong kuantitas dan kualitas produk makanan laut Indonesia. Kebanyakan nelayan lokal masih menggunakan teknik serta peralatan tradisional (yang tidak efisien). Terlepas dari meningkatkan kuantitas, produk-produk dengan kualitas yang lebih tinggi di sektor ini juga diharapkan akan meningkatkan permintaan dari luar negeri akan produk perikanan Indonesia (seperti ikan, udang dan kepiting).

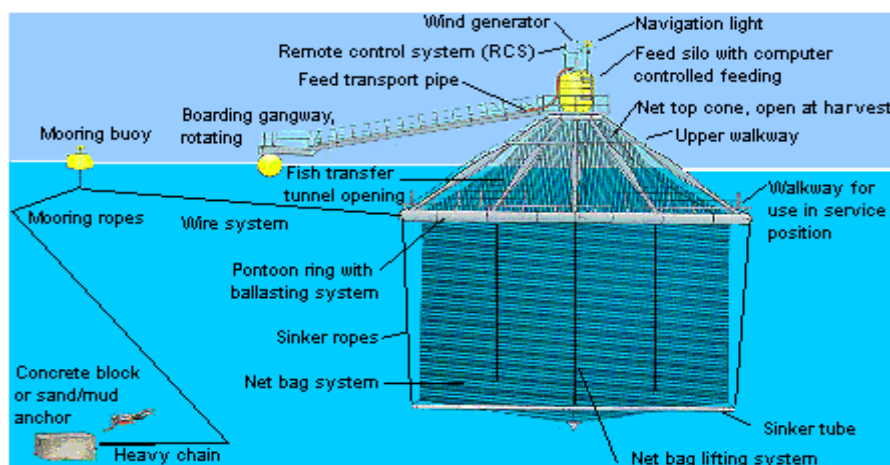
Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan (2015) nilai PDB (Produk Domestik Bruto) mengalami peningkatan yang signifikan mulai dari tahun 2011 dengan jumlah sebesar Rp.227,5 triliun dan pada tahun 2012 dengan angka Rp.255,94 triliun meningkat pula pada dua tahun berikutnya yaitu 2013 sejumlah Rp.291,65 Triliun dan tahun 2014 Rp.342,65 triliun. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa Indonesia memiliki potensi kekayaan laut yang sangat besar. Permintaan yang cukup tinggi terhadap komoditas ikan mengakibatkan terjadinya eksploitasi atau penangkapan yang cukup intensif yang terkadang menerapkan cara penangkapan yang dapat mengancam kelestarian lingkungan, seperti dengan menggunakan bahan peledak dan racun. Hal ini tentunya sangat bertentangan dengan tujuan pengelolaan perikanan dan kelautan, yaitu terjaminnya kelestarian sumber daya ikan sebagaimana diamanahkan dalam UU nomor 45 tahun 2007 tentang perikanan maupun *Code of Conduct for Responsible Fisheries* (FAO, 1995).

Untuk mengurangi dampak negatif dari penangkapan yang dapat mengancam kelestarian lingkungan, maka penelitian terkini berlanjut pada perancangan struktur *aquaculture* untuk laut dalam. Para insinyur diseluruh dunia telah melakukan perancangan sebagai jawaban dari tantangan baru dunia perikanan ternak dunia ini. Sebagai hasilnya, dalam dua dekade ini berbagai jenis struktur *aquaculture* telah ditemukan mulai dari sistem

terapung, setengah terapung maupun tenggelam. Bahkan struktur tersebut telah diintegrasikan untuk mengakomodir berbagai kebutuhan seperti sistem pangan otomatis, jaring pelindung dari predator, dan sistem pemisah untuk ikan yang mati.

Salah satu teknologi *aquaculture* yang saat ini tengah dikembangkan adalah *offshore aquaculture* atau *aquaculture* lepas pantai. Menurut Rubino (2008), *aquaculture* lepas pantai memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *aquaculture* konvensional antara lain: kualitas air yang lebih baik, ketersediaan lokasi yang lebih banyak, dan potensi ekonomi yang lebih tinggi. Salah satu desain struktur *offshore aquaculture* telah dikembangkan adalah *Farmocean aquaculture*.

Dalam tugas akhir ini akan menganalisis sistem tambat dengan beberapa variasi konfigurasi dan olah gerak struktur *floating aquaculture* model *Farmocean* yang belum ada penelitian tentang hal ini untuk laut lepas bagian selatan Indonesia. Gerakan yang terjadi pada akuakultur di sebabkan oleh beban lingkungan (arus, gelombang dan angin) dimana letak akuakultur berada. Untuk menjaga kestabilan posisi akuakultur, maka dibutuhkan sistem tambat (*mooring system*) yang berguna sebagai pengikat akuakultur agar tetap pada posisinya. Motion dari akuakultur menyebabkan adanya gaya yang bekerja (*tension force, restoring force dan damping*) pada mooring system. Gaya-gaya yang terjadi pada mooring system sangatlah bergantung pada karakteristik motion akuakultur, begitu pula sebaliknya. Ini merupakan suatu alasan mengapa analisa kekuatan sistem *mooring* perlu dilakukan, sehingga operabilitas dari akuakultur dapat tetap terjaga. Pada Gambar 1.1 merupakan contoh akuakultur model *Farmocean* dengan menggunakan sistem tambat tipe *single buoy mooring* (SBM).



Gambar 1.1 Akuakultur dilaut dalam model *Farmocean*

(Sumber : farmocean.se, 21 Februari 2017)

1.2 Perumusan Masalah

Beberapa masalah yang mendasari dibuatnya laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa tegangan maksimum yang dihasilkan dari beberapa jenis sistem tambat pada struktur *aquaculture Farmocean* ?
2. Berapa *offset* maksimum yang terjadi pada struktur *aquaculture Farmocean* dengan menggunakan berbagai jenis sistem tambat?
3. Apa konfigurasi *mooring line* yang paling efisien untuk struktur *aquaculture farmocean* yang sesuai untuk laut lepas Indonesia?

1.3. Tujuan

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menetahui tegangan maksimum yang dihasilkan dari beberapa jenis sistem tambat pada struktur *aquaculture Farmocean* ?
2. Mengetahui *offset* maksimum yang terjadi pada struktur *aquaculture Farmocean* dengan menggunakan berbagai jenis sistem tambat?
3. Mengetahui konfigurasi *mooring line* yang paling efisien untuk struktur *aquaculture Farmocean* yang sesuai untuk laut lepas Indonesia?

1.4. Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui respon gerak struktur *aquaculture* model *Farmocean* di perairan dalam Indonesia. Pengerjaan tugas akhir ini juga merancang sistem tambat dengan beberapa bentuk konfigurasi untuk struktur *aquaculture* model *Farmocean*. Untuk dimensi dari *mooring line* disesuaikan dengan *code* atau *standart* yang berlaku. Pengerjaan tugas akhir ini juga menganalisa besarnya tegangan maksimum dan *offset* maksimum pada sistem tambat dengan berbagai konfigurasi yang sudah ditentukan. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat diketahui rancangan sistem tambat yang paling efisien sehingga sistem *aquaculture* khususnya model *Farmocean* dapat diterapkan di laut dalam Indonesia. Diharapkan penelitian ini bisa memberikan manfaat untuk perkembangan teknologi *aquaculture* di Indonesia.

1.5. Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian atau asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Model *offshore aquaculture cage* yang digunakan adalah *Farmocean* dengan tipe *Semi-Submersible*.
2. Beban lingkungan yang digunakan dalam pembebanan hanya beban gelombang dan arus.
3. Jangkar dianggap tertancap atau dalam keadaan *fixed*.
4. Lokasi penelitian berada di perairan laut lepas selatan Indonesia.
5. Tidak dimodelkan *Feed Silo* (tempat penampung makanan) dan fasilitas jembatan.
6. Analisa menggunakan code DNVGL OS-E301 dengan kriteria *Ultimate Limit State* (ULS)
7. Beban akibat adanya ikan dalam struktur tidak diperhitungkan
8. Jaring dimodelkan berdasarkan kesamaan berat totalnya

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam tugas akhir ini, antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, menjelaskan tentang hal apa saja yang melatarbelakangi sehingga studi ini dilakukan, permasalahan apa yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dari studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam persamaan dan rumus, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini lebih menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil dari *output* perhitungan juga akan dibahas pada bab ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Akuakultur merupakan suatu kegiatan produksi biota akuatik (*animal* dan *aquatic plant*) untuk tujuan komersial yang melibatkan aktivitas pembenihan, pendederan, pembesaran, pemanenan, handling dan transportasi, serta pemasaran. Penjelasan tentang komponen bioteknis akuakultur, meliputi pengadaan benih, manajemen media, kesehatan, dan pakan serta interaksinya.

Struktur akuakultur lepas pantai sudah banyak di kembangkan di berbagai negara karena memiliki nilai bisnis dan ekonomi yang tinggi. Dikarenakan memiliki nilai prospek yang tinggi banyak pengembangan terkait struktur akuakultur lepas pantai guna meningkatkan produktifitas hasil perikanan (www.isw.co.id)

Struktur akuakultur lepas pantai termasuk kedalam bangunan lepas pantai terapung. Umumnya bangunan lepas pantai terapung dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel dan rantai. Untuk anjungan tipe ini, yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut (Djutmiko, 2012). Agar seluruh kerangka budidaya tidak bergeser dari tempatnya akibat pengaruh arus angin maupun gelombang, digunakan jangkar. Jangkar dapat terbuat dari beton atau besi (Mochamad, 2016).

Pembangunan budidaya akuakultur saat ini sudah mengarah pada periran dalam, oleh sebab itu pembuatan desain akuakultur harus dapat menahan beban lingkungan yang tinggi yang disebabkan letak dari budidaya akuakultur tersebut. Sistem tambat yang di desain terhadap akuakultur tersebut haruslah mampu mereduksi dampak-dampak yang disebabkan oleh beban lingkungan dan beban struktur tersebut.

Dalam merancang sistem tambat pada bangunan apung lepas pantai diperlukan rekomendasi dari aturan internasional seperti code dan standard. Salah satu aturan yang dapat dijadikan acuan untuk mengoreksi kekuatan sistem tambat adalah API RP 2K.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Akuakultur

Definisi Akuakultur Berasal dari bahasa Inggris; aquaculture Aqua: perairan, culture: budidaya Akuakultur : kegiatan untuk memproduksi biota (organisme) akuatik di lingkungan

terkontrol dalam rangka mendapatkan keuntungan (*profit*). Yang dimaksud budidaya adalah kegiatan pemeliharaan untuk: a. memperbanyak (*reproduksi*) b. menumbuhkan (*growth*) c. meningkatkan mutu biota akuatik sehingga memperoleh keuntungan.

Aspek ekonomis seperti pemilihan komoditas dan potensi pasar juga diajarkan. Dasar-dasar Akuakultur menjelaskan tentang komponen akuakultur yang terdiri dari ikan, air, wadah dan pakan, serta hubungan antar komponen tersebut, prinsip-prinsip yang mendasari peningkatan produktivitas perairan dan pengelolaan akuakultur yang berorientasi kepada keuntungan dan keberlanjutan, mulai skala unit terkecil hingga kawasan akuakultur.

2.2.2 Bentuk Struktur Akuakultur

Ada beberapa jenis yang akuakultur yang modern di seluruh dunia. Kebanyakan dari mereka adalah mengapung, dan beberapa dari mereka dirancang untuk terendam. Akuakultur jenis mengapung dengan jaring lebih mudah untuk ditangani (instalasi, pemeliharaan, dan operasi) dibandingkan dengan yang terendam. Tetapi akuakultur jenis mengapung memiliki kelemahan, yaitu harus mampu mempertahankan bentuknya ketika terkena arus laut yang cukup kencang. Hal ini dibutuhkan teknik dalam mendesain agar jaring akuakultur tetap bias menahan arus dengan baik. Apabila akuakultur di tempatkan di daerah terlindung dengan kondisi gelombang jinak, hal ini akan memudahkan dalam merancang dan biaya investasi dapat lebih kecil (Beveridge, 1996). Berikut ini adalah beberapa konsep desain *aquakulture* lepas pantai yang sudah ada dunia seperti *Aquaculture Tempest 2 fish cage* pada Gambar 2.1, *Aquaculture semi-submersible offshore system (Farmocean)* pada Gambar 2.2, *Aquaculture fish farm platform* pada Gambar 2.3, *Aquaculture Sea Station* pada Gambar 2.4 dan *Aquaculture Rapa tension leg cage* pada Gambar 2.5.



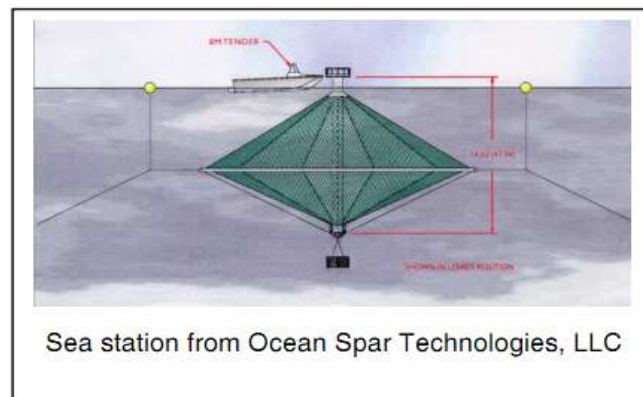
Gambar 2.1 *Aquaculture Tempest 2 fish cage*
(Scott D.C.B.,Munir J.F,2000)



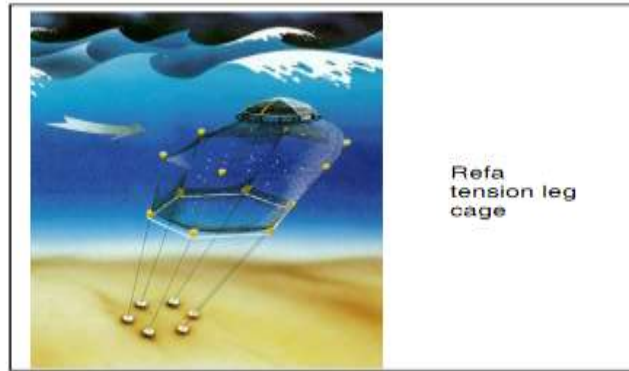
Gambar 2.2 *Aquaculture semi-submersible offshore system (Fermocean)*
(Scott D.C.B.,Munir J.F, 2000)



Gambar 2.3 *Aquaculture fish farm platform*
(Scott D.C.B.,Munir J.F, 2000)



Gambar 2.4 *Aquaculture Sea station*
(Scott D.C.B.,Munir J.F, 2000)



Gambar 2.5 *Aquaculture Rapa tension leg cage*
(Scott D.C.B.,Munir J.F, 2000)

2.2.3 Akuakultur Model *Farmocean* (semi-submersible)

Akuakultur model *Farmocean* lepas pantai menampung sekitar 6000, 4500 atau 3500 cbm air tergantung pada desain. *Farmocean* sendiri terbuat dari struktur baja galvanis pipa terpasang pada ponton heksagonal menggabungkan enam tangki ballast. Dalam mode operasi normal, peternakan mengapung dalam posisi semi-submersible dengan ponton tiga meter di bawah permukaan air. Platform atas dan silo pakan berada pada posisi tiga meter di atas permukaan.

Desainnya dibuat untuk menahan kondisi lepas pantai dan telah disetujui dan diverifikasi oleh DNV dari Norwegia. Struktur ini sangat kuat dengan tabung pemberat luar bagian bawah kandang. Karena ponton yang berat dan terendam, kandang tetap tenang di laut dapat mengurangi risiko kerugian dari ikan atau kerusakan kandang. Sistem ini telah diuji lebih dari 10 gelombang meteran tanpa kerusakan kandang.

Farmocean dilengkapi dengan komputer yang mengendalikan sistem makan. Hal tersebut memungkinkan dapat memberi makan ikan terus menerus selama periode tertentu dalam hari. Hal ini memberikan dampak pertumbuhan yang lebih baik dan faktor konversi pakan yang berkurang. Ikan juga akan diberi makan selama berhari-hari ketika pekerja pertanian tetap darat karena kondisi laut yang buruk. Makan juga terus dicocokkan dengan suhu air, kondisi gelombang dan pertumbuhan biomassa.

Semua kerpekerjaan biasanya dilakukan di platform atas sekitar silo pakan. Biasanya pekerja tersebut naik ke atas kandang untuk pengumpulan data harian dari komputer mengenai pakan, angin, gelombang dan suhu. Ilustrasi bentuk Akuakultur model *Farmocean* lepas pantai bagian atas dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bagian atas akuakultur model *Farmocean* lepas pantai
(Sumber : farmocean.se, 21 Februari 2017)

2.2.4 Pembebanan

Salah satu tujuan dari analisa yang dilakukan adalah untuk memastikan bahwa rancangan desain struktur yang akan kita buat memiliki kapasitas untuk menahan tegangan-tegangan yang timbul akibat beban yang bekerja. Pembebanan yang dimaksud adalah:

1. Beban mati (*dead load*), yaitu semua berat peralatan yang tetap termasuk berat struktur itu sendiri.
2. Beban hidup (*live load*), yaitu semua beban yang bisa dipindah seperti jaring yang bisa diganti, ikan dan semua aktivitas yang menunjang dalam proses budidaya tersebut.
3. Beban lingkungan, yaitu semua beban yang berasal dari lingkungan yang berpengaruh terhadap struktur.

2.2.5 Hukum Archimedes

Floater yang dibuat nantinya harus mempunyai gaya angkat keatas yang lebih besar dari pada gaya-gaya yang bekerja ke bawah agar floater bisa terapung. Teori yang dipakai sendiri adalah teori dari hokum Archimedes. Hukum Archimedes sendiri mempunyai rumus dasar:

$$FA = \rho_a \times V_a \times g \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

FA = Gaya keatas yang dialami benda (N)

ρ_a = Massa Jenis zat cair (kg/m³)

V_a = Volume air yang terdesak (m³)

g = Percepatan Gravitasi (m/det²)

2.2.6 Karakteristik Gelombang

Gelombang merupakan fenomena alam penaikan dan penurunan air secara periodik dan dapat dijumpai di semua tempat di seluruh dunia. Massa air permukaan selalu dalam keadaan bergerak, gerakan ini terutama ditimbulkan oleh kekuatan angin yang bertiup melintasi permukaan air dan menghasilkan energi gelombang dan arus.

Bentuk gelombang yang dihasilkan cenderung tidak menentu dan tergantung pada beberapa sifat gelombang, periode dan tinggi dimana gelombang dibentuk, gelombang jenis ini disebut “*Sea*”. Gelombang yang terbentuk akan bergerak ke luar menjauhi pusat asal gelombang dan merambat ke segala arah, serta melepaskan energinya ke pantai dalam bentuk empasan gelombang. Rambatan gelombang ini dapat menempuh jarak ribuan kilometer sebelum mencapai suatu pantai, jenis gelombang ini disebut “*Swell*”.

Menurut Triadmojo (1999) gelombang laut menjadi 3 macam berdasarkan gaya pembangkitnya, yaitu : gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin dipermukaan laut; gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh benda langit; dan gelombang tsunami yang terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa laut.

2.2.7 Gerakan Pada Bangunan Apung

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai enam mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu tiga mode gerakan osilasi translasional dan tiga mode gerakan osilasi rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut:

1. Mode gerak osilasi translasional :

Surge, gerakan osilasi transversal arah sumbu x.

Sway, gerakan osilasi transversal arah sumbu y.

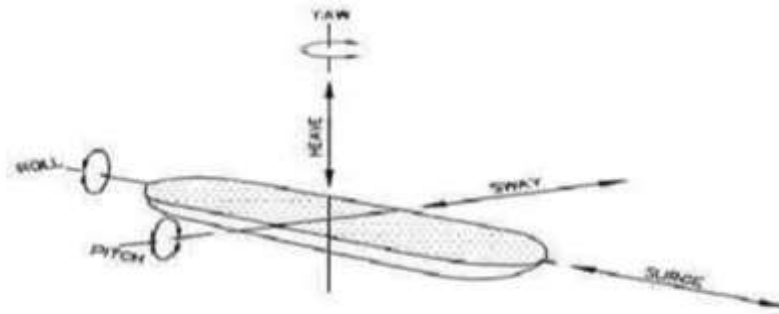
Heave, gerakan osilasi transversal arah sumbu z.

2. Mode gerak osilasi rotasional :

Roll, gerakan osilasi rotasional arah sumbu x.

Pitch, gerakan osilasi rotasional arah sumbu y.

Yaw, gerakan osilasi rotasional arah sumbu z.



Gambar 2.7 Enam derajat kebebasan pada kapal

2.2.7.1. Heave

Heave adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), dimana heaving adalah salah satu gerakan kapal pada permukaan perairan gelombang regular, dimana gerakan-gerakannya tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan kapal yang tidak lain adalah gaya gelombang (Murtedjo, 1990). Secara umum persamaan gerakan heaving suatu bangunan terapung pada gelombang regular adalah:

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

$a\ddot{Z}$: *Inertial force*

$b\dot{Z}$: *Damping force*

cZ : *Restoring force*

$F_0 \cos(\omega_\theta t)$: *Exciting force*

2.2.7.2. Surge

Surge merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu longitudinal (sumbu x). Secara umum persamaan surge pada bangunan terapung adalah:

$$a\ddot{X} + b\dot{X} + cX = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

$a\ddot{X}$: *Inertial force*

$b\dot{X}$: *Damping force*

cX : Restoring force

$F_0 \cos(\omega_\theta t)$: Exciting force

2.2.7.3. Sway

Sway merupakan gerak translasi pada bangunan terapung dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Persamaan umum bangunan apung pada kondisi *swaying* adalah:

$$a\ddot{Y} + b\dot{Y} + cY = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan:

$a\ddot{Y}$: Inertial force

$b\dot{Y}$: Damping force

cY : Restoring force

$F_0 \cos(\omega_\theta t)$: Exciting force

2.2.7.4. Roll

Rolling merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap initial velocity sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya. Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos \omega_\theta t \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan:

M_0 = Amplitudo momen eksitasi (m)

ω_θ = Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\phi}$ = Inertial moment

$b\dot{\phi}$ = Damping Moment

$c\phi$ = Restoring Momen

$M_0 \cos \omega_\theta t$ = Exciting moment

2.2.7.5. Pitch

Pitching merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat *pitching* perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos \omega_\theta t \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan :

M_0 = Amplitudo momen eksitasi (m)

ω_θ =Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\theta}$ = *Inertial moment*

$b\dot{\theta}$ = *Damping Moment*

$c\theta$ = *Restoring Momen*

$M_0 \cos \omega_\theta t$ = *Exciting moment*

2.2.7.6. Yaw

Gerak *yaw* merupakan gerak rotasional pada sumbu Z sebagai pusat gerak. Sama halnya seperti pada gerak *rolling* dan *pitching*, gerak ini pun akan berpengaruh terhadap kesetimbangan struktur, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan umum untuk *yawing* ialah: .

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos \omega_\theta t \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan :

M_0 = Amplitudo momen eksitasi (m)

ω_θ =Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\phi}$ = *Inertial moment*

$b\dot{\phi}$ = *Damping Moment*

$c\phi$ = *Restoring Momen*

$M_0 \cos \omega_\theta t$ = *Exciting moment*

2.2.8. Respon Bangunan Apung dalam Enam Derajat Kebebasan

Keenam gerakan yang dialami oleh bangunan apung merupakan osilasi linier dan harmonik.

Respon gerakan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan diferensial gerakan kopel yaitu:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k = F_j e^{i\omega t}; j, k = 1, 2, \dots \dots \dots, 6 \dots \dots (2.8)$$

Dengan:

M_{jk} : matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut

A_{jk} : matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik

B_{jk} : matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik

K_{jk} : matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatis

F_j : matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (M_4, M_5, M_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $ei \omega t$)

$\ddot{\zeta}_k$: elevasi gerakan pada mode ke k 21

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

ζ_k : elevasi percepatan gerak pada mode ke k

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

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

2.2.9 Spektrum Gelombang

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. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang yang tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Parameter Gelombang

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2.55\sqrt{m_0}$	$5.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3.44\sqrt{m_0}$	$6.67\sqrt{m_0}$

dengan:

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)} = \int_0^\omega S(\omega) d\omega$$

Salah satu model spektral yang diajukan oleh Pierson Morkowitz (1964) dan masih secara luas digunakan. Aplikasi umum dari satu parameter spektrum gelombang Pierson Morkowitz dibatasi oleh fakta jika kondisi laut kadang dijangkau secara penuh situasi dikembangkan. Pengembangan dari laut juga dibatasi oleh fetch. Secara luas program pengukuran gelombang, diketahui sebagai Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) yang berasal dari laut utara. Dari analisa dari pengukuran data JONSWAP spektrum diturunkan. Perumusan spektrum JONSWAP mewakili angin dengan batasan fetch.

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Persamaan spektrum JONSWAP menurut Djarmiko (2012) dapat ditulis sesuai dengan persamaan dibawah ini

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau \omega_0^2} \right] \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

$$\alpha = 0,0076 (X_0)^{-0,22}$$

$$X_0 = gX/U_w^2$$

X = panjang fetch (m)

$\alpha = 0,0081$, jika panjang fetch tidak diketahui

γ = parameter ketinggian atau peakedness parameter, yang harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai dengan 7.0. Untuk laut utara mempunyai harga 3.3.

τ = parameter bentuk atau shape parameter

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

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

$$\omega_0 = 2\pi\left(\frac{g}{U_w}\right)(X_0)^{-0,33}$$

Formulasi spectra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan dan analisa bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter γ yang lebih kecil, sekitar 2.0 sampai 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djarmiko, 2012). Persamaan Spektra JONSWAP di atas menggunakan input fetch dan kecepatan angin. Berikut ini merupakan Pers. (2.22) spektrum JONSWAP yang menggunakan input tinggi gelombang signifikan dan periode. Persamaannya adalah sebagai berikut (Djarmiko dan Sujantoko, 2003):

$$S(\omega) = 155 \frac{H_s^2}{T^4 \omega^4} \exp\left(\frac{-944}{T^4 \omega^4}\right) \gamma^\alpha \dots\dots\dots (2.10)$$

2.2.10 Response Amplitude Operators (RAO)

RAO atau sering disebut sebagai transfer function adalah fungsi response yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengena istruktur offshore. RAO disebut sebagai transfer function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar

(gelombang) dalam bentuk response pada suatu struktur. Menurut Chakrabarti(1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan :

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

3.2.11 Sistem Mooring

Menurut API RP 2SK 3rd tahun 2005, terdapat tiga tipe sistem tambat yang dibedakan yaitu *spread mooring*, *single point mooring* dan *dynamic positioning (DP)*. *Spread mooring* merupakan sistem tambat yang sangat baik digunakan untuk bangunan apung berbentuk seperti kapal (*ship-shaped vessels*).

3.2.11.1 Bagian dari *Single Point Mooring*

1. Tubuh pelampung

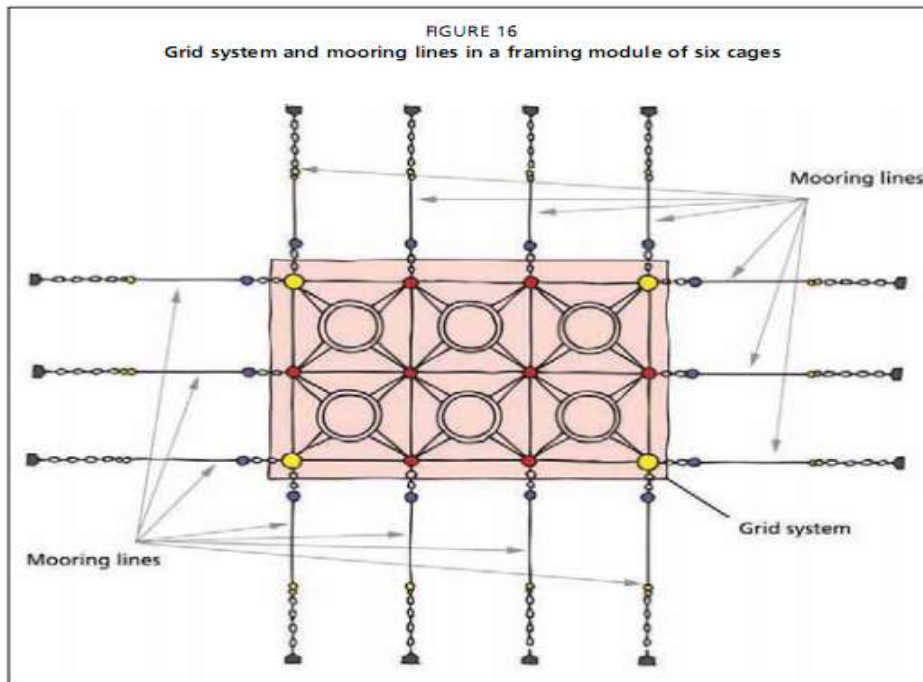
Tubuh pelampung biasanya didukung pada kaki statis melekat pada dasar laut, dengan bagian yang berputar di atas permukaan air yang terhubung ke tanker *off loading*. Kedua bagian tersebut dihubungkan oleh sebuah bantalan rol, disebut sebagai "bantalan utama". Kapal tanker ditambatkan bebas dapat *weathervane* sekitar *buoy* dan menemukan posisi yang stabil karena pengaturan ini.

2. Mooring dan jangkar elemen

Tambatan memperbaiki pelampung ke dasar laut. desain *buoy* harus menjelaskan perilaku pelampung yang diberikan berlaku angin, gelombang dan kondisi saat ini dan ukuran struktur. Ini menentukan pengaturan mooring optimal dan ukuran dari berbagai komponen kaki *mooring*. *Anchoring poin* yang sangat tergantung pada kondisi tanah lokal. komponen *mooring*. Ilustrasi penggunaan *mooring* pada akuakultur jenis *mooring grid* bisa di lihat pada Gambar 2.8.

- Jangkar atau tumpukan - Untuk terhubung *mooring* ke dasar laut.
- *Anchor Chain*

- *Chainstoppers* - Untuk menghubungkan rantai ke pelampung.



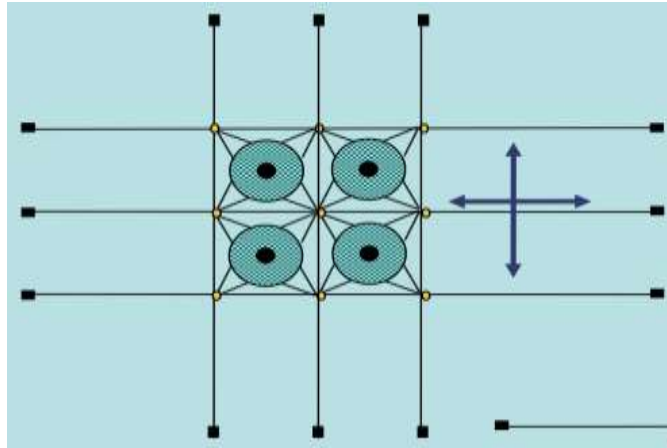
Gambar 2.8 *Grid system and mooring lines in a farming module of six cages*

(Sumber : FAO ; *Aquaculture operations in floating HDPE cages*)

3.2.11.2 Metode Tambat *Aquaculture*

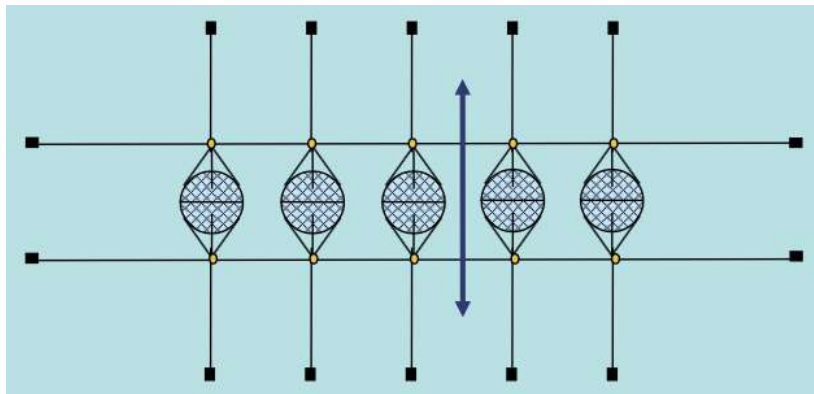
Dengan berkembangnya teknologi *mariculture* ke laut dalam maka praktik sistem penambatan yang biasa digunakan dalam industri perikanan ternak ini juga berkembang. Berikut ini beberapa konfigurasi tambat yang umum digunakan dalam *mariculture* yakni *rectangular array*, Ilustrasi metode tambat tipe *rectangular array*, *linear array*, *independent 4 points mooring*, *independent single point mooring* dan *single point mooring array* dapat dilihat pada Gambar 2.9, Gambar 2.10, Gambar 2.11, Gambar 2.12 dan Gambar 2.13

- *Multi Directional Anchor Lines*
 - *Rectangular Array*



Gambar 2.9 *Mooring* Konfigurasi Jajaran Persegi (WAS Aquaculture, 2009)

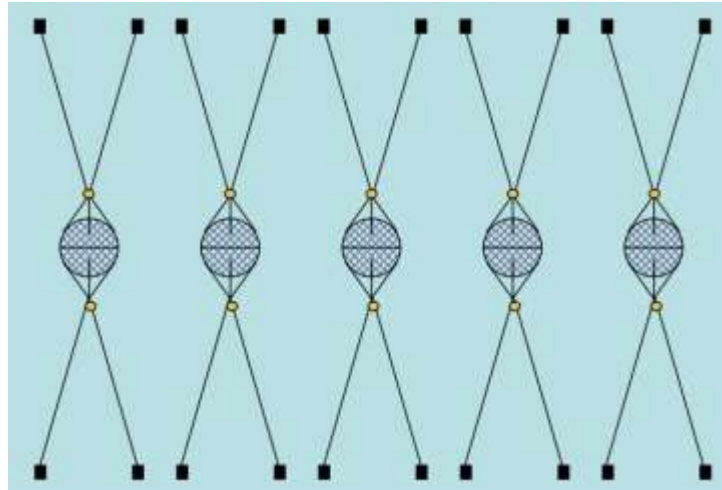
○ *Linear Array*



Gambar 2.10 *Mooring* Konfigurasi Jajaran Linear (WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut

- Konfigurasi susunan kisi-kisi akan efektif untuk jumlah keramba yang banyak
- Toleransi terhadap arus dari berbagai arah besar
- Kegagalan lokal akan berakibat fatal pada integritas sistem tambak secara keseluruhan
- Resiko penyebaran penyakit dan penumpukan polusi relatif besar
- *Independent 4 Points Mooring*

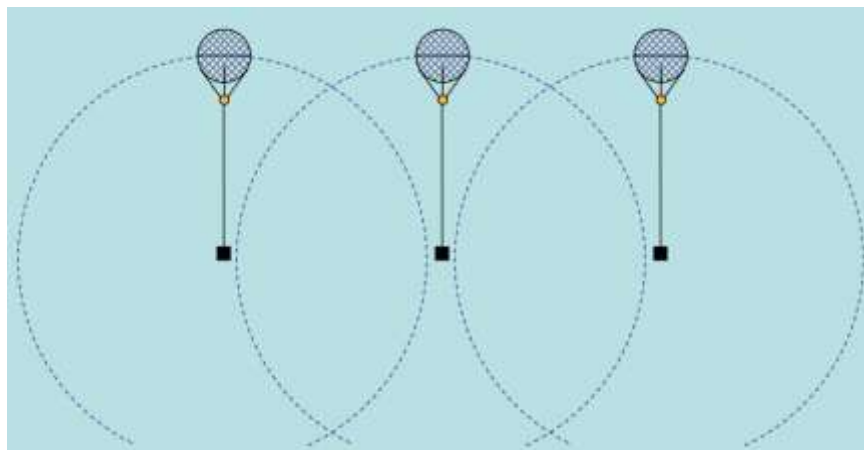


Gambar 2.11 *Mooring* Konfigurasi 4 Titik Tambat dengan Posisi Keramba Berdekatan
(WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut

- Efektif bila arah arus cenderung 2 arah saja
- Kemungkinan terjadi kegagalan relatif kecil
- Biaya paling mahal dibandingkan konfigurasi lain

- *Independent Single Point Mooring*

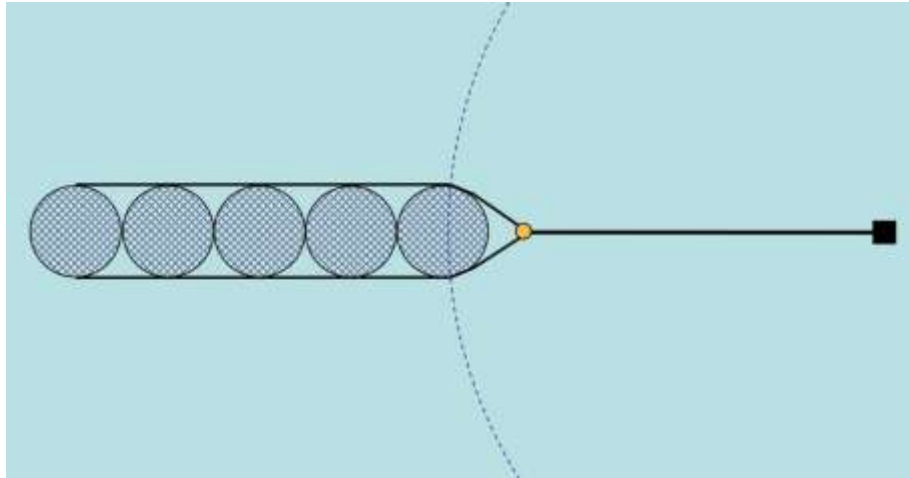


Gambar 2.12 *Mooring* Konfigurasi 1 Titik Tambat tiap Keramba
(WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut

- Konfigurasi paling sering digunakan untuk sektor maritim lain
- Biaya relatif murah
- Fleksibel terhadap berbagai arah arus
- Redudansi struktur tambat rendah

- *Single Point Mooring Array*



Gambar 2.13 *Mooring* Konfigurasi 1 Titik Tambat dengan Posisi Keramba Berdekatan (WAS Aquaculture, 2009)

Karakteristik konfigurasi jenis ini adalah sebagai berikut

- Harga relatif murah
- Mempermudah sistem pemberian pakan terpusat untuk feeder otomatis
- Redundansi rendah
- Lingkungan dibawah keramba terancam kontaminasi sisa peternakan dan pestisida
- Interaksi dinamis antar keramba dapat berakibat fatal

2.2.12 Tali tambat

Menurut API-RP2SK 3rd edition (2005), tipe tali tambat yang digunakan pada struktur terapung dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Semua tali tambat terbuat dari tali kabel (*wire rope*).

Wire rope lebih ringan daripada rantai. Karena itu, pada umumnya *wire rope* memiliki *restoring force* yang lebih di perairan laut dalam dan memerlukan *tension* awal yang rendah dari pada rantai. Bagaimanapun juga, untuk menghindari terangkatnya jangkar dari dasar laut maka diperlukan *wire rope* yang sangat panjang. Kerusakan yang disebabkan oleh abrasi antara *wire rope* dengan dasar laut yang keras terkadang dapat menjadi suatu masalah. Terlebih lagi *wire rope* memerlukan perawatan yang sangat hati-hati. Korosi pada *wire rope* dapat menyebabkan lebih banyak kegagalan.

2. Semua tali tambat terbuat dari rantai (*chain*).

Rantai telah menunjukkan keunggulannya pada operasi lepas pantai. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi terhadap *holding anchor* yang sangat signifikan.

3. Kombinasi antara *chain* dan *wire rope*.

Dengan pemilihan panjang yang tepat dari gabungan antara *wire rope* dan *chain*, maka akan diperoleh sistem tambat yang menguntungkan, yaitu: tension awal yang rendah, restoring force yang tinggi dan holding anchor yang lebih besar dan daya tahan terhadap abrasi dasar laut yang bagus. Hal tersebut membuat sistem ini cocok digunakan pada operasi laut dalam.

2.2.13. *Tension* Maksimum pada Tali Tambat

Gerakan pada bangunan lepas pantai dan akibat dari beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (*tension*) pada *chain*. *Tension* yang terjadi dapat dibedakan menjadi :

1. *Mean Tension*

Mean *tension* adalah *tension* pada *chain* yang berkaitan dengan mean offset pada bangunan lepas pantai.

2. *Maximum Tension*

Maximum tension adalah *mean tension* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.

Menurut *API-RP2SK* (2005), *maximum tension force* dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini:

1. $T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

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

2. $T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan:

$T_{mean} = \text{mean tension}$

$T_{max} = \text{maximum tension}$

$T_{wfmax} = \text{maximum wave frequency tension}$

T_{wfsig} = significant wave frequency tension

T_{lfmax} = maximum low-frequency tension

T_{lfsig} = significant low-frequency tension

Untuk mengetahui desain sistem tambat aman atau tidak, harus dilakukan pengecekan. Salah satunya pengecekan dapat dilakukan pada nilai *tension* pada masing-masing rantai jangkar. *Tension* pada rantai jangkar harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rule*. Pada *rule American Bureau of Shipping (ABS)* tahun 2004 telah menetapkan *safety factor* untuk *mooring line* harus lebih besar dari 1,67. Persamaan *safety factor* adalah:

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load} \dots \dots \dots (2.14)}{\text{Maximum Tension}}$$

2.2.14. Excursion

Excursion atau *Offset* adalah perpindahan posisi pada bangunan lepas pantai dengan jarak sejauh x meter setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari bangunan lepas pantai saat terkena beban lingkungan.

a. Mean Offset

Perpindahan pada bangunan lepas pantai akibat kombinasi dari pengaruh beban arus, *wave drift*, dan beban angin.

b. Maximum Offset

Mean offset yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency motion*. Menurut *API-RP2SK (2005)* simpangan maksimum dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini :

1. $S_{lfmax} > S_{wfmax}$, maka:

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \dots \dots \dots (2.15)$$

2. $S_{wfmax} > S_{lfmax}$, maka:

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan:

S_{mean} = mean offset

S_{max} = maximum offset

S_{wfmax} = maximum wave frequency offset

S_{wfsig} = significant wave frequency offset

S_{lfmax} = maximum low-frequency offset

S_{lfsig} = significant low-frequency offset

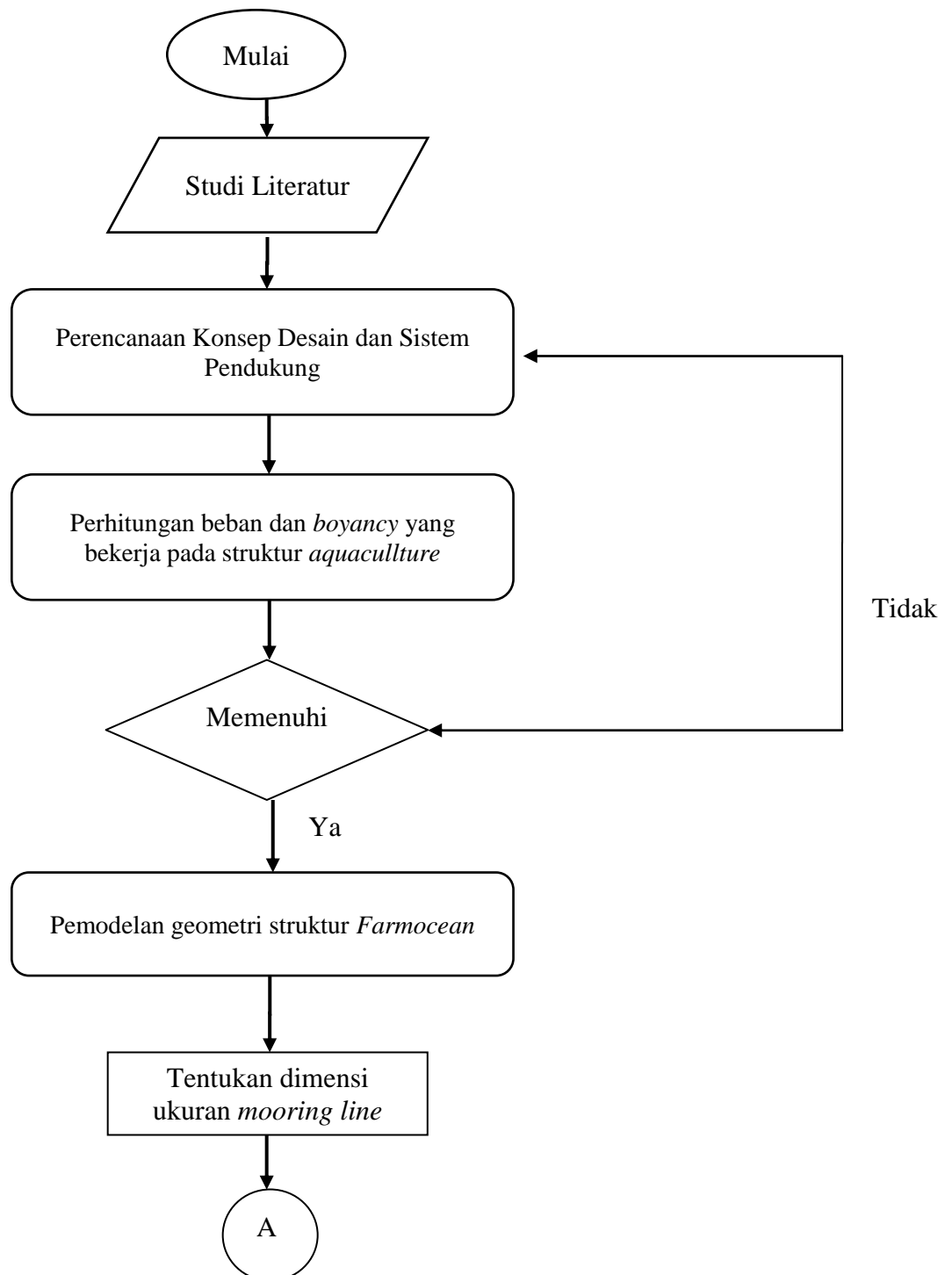
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

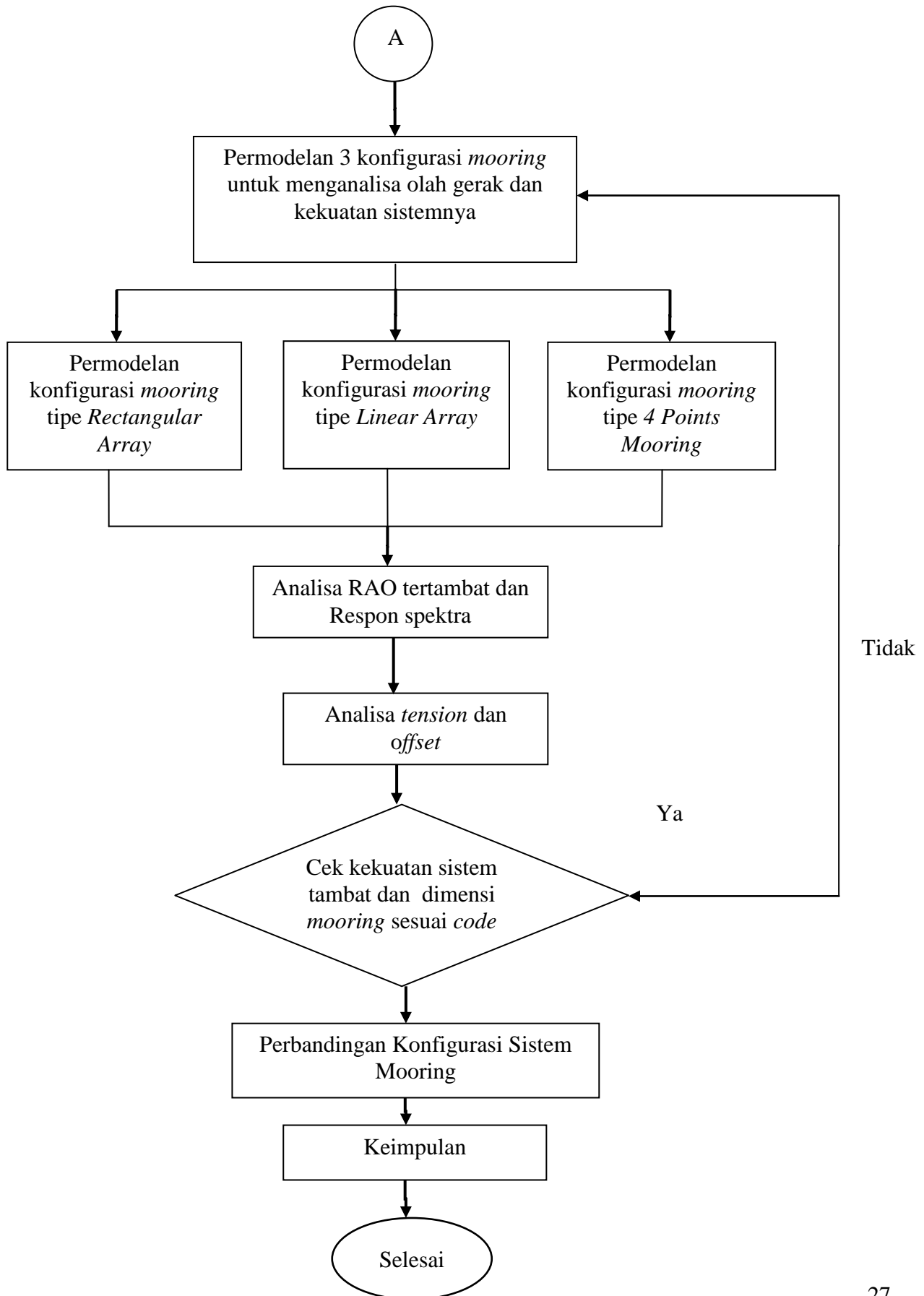
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Metodologi penelitian yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir diwujudkan dengan diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.1 dijelaskan seperti berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Pada pengerjaan tugas akhir ini studi literatur dilakukan dengan mencari jurnal, buku, tugas akhir lain dan informasi dari internet yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini. Data struktur dan lingkungan yang akan digunakan dalam tugas akhir ini bersumber dari jurnal, buku dan literatur lain. Data lingkungan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data Laut Timor yang meliputi data gelombang, dan arus yang di dapat dari DNVGL OS-E301.

2. Analisa Beban yang Bekerja pada Struktur

Dalam menganalisa olah gerak suatu struktur bangunan laut perlu dilakukan analisa beban yang bekerja. Untuk struktur *aquaculture* model *Farmocean* terdapat beberapa gaya yang berkontribusi antara lain beban struktur itu sendiri, *feeding system*, berat net, beban hidup saat *maintenance* dan beban lingkungan.

3. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur *Farmocean* perlu dilakukan dengan *drafting* menggunakan SolidWorks. Model struktur di ekspor kedalam format yang dapat dianalisa pada perangkat lunak ANSYS Aqwa dalam menganalisa sistem tambatnya.

4. Penentuan Ukuran *Mooring Line*

Ukuran dimensi dari *mooring line* diestimasi sesuai rekomendasi dari *code* dan *catalogue mooring line* yang tersedia dipasaran. Panjang *mooring line* disesuaikan dengan kedalaman laut perencanaan sedalam 50 meter.

5. Pemodelan Konfigurasi *Mooring*

Dari dimensi yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya struktur *Farmocean* dimodelkan dengan tiga konfigurasi *mooring* yaitu *rectangular array*, *23 mooring grid*, *linear array mooring grid* dan *4 points mooring*. Ketiga model tersebut dibuat secara terpisah menggunakan ANSYS Aqwa.

6. Analisa Hasil Sesuai Code dan *Standard*

Dari pemodelan sistem tambat pada tahap sebelumnya kemudian struktur dianalisa *tension* pada tiap *mooring line* dan *offset*-nya. Setelah didapatkan hasil terbesar kemudian di validasi menggunakan DNVGL OS-E301. Hasil yang tidak memenuhi maka harus kembali ke

tahap penentuan ukuran *mooring line*. Apabila telah memenuhi kriteria maka dilanjutkan ke tahap berikutnya.

7. Kesimpulan

Analisa sistem tambat telah dilakukan dengan 3 konfigurasi yang berbeda sehingga memiliki *offset* dan *tension* yang berbeda pula. Pada bagian ini hasil dari keseluruhan analisa maka akan didapatkan konfigurasi *mooring* paling baik untuk struktur *aquaculture* model *Farmocean* berdasarkan faktor panjang *mooring line* terpendek, *tension* terkecil, dan *offset* terkecil untuk diterapkan di perairan laut dalam Indonesia.

3.3. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam analisa ini adalah data struktur dan data lingkungan. Data struktur meliputi dimensi struktur dan berat struktur serta sistem pendukungnya yang memberikan kontribusi beban terhadap struktur.

3.3.1. Data Lingkungan

Data gelombang dan arus untuk analisa tugas akhir ini berasal dari DNVGL OS-E301 sesuai dengan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Laut yang dipilih adalah Laut Timor karena merupakan salah satu daerah dapat ditemukan ikan tuna di perairan Indonesia.

Tabel 3.1 Data lingkungan 100 tahunan Laut Timor (DNV OS E301)

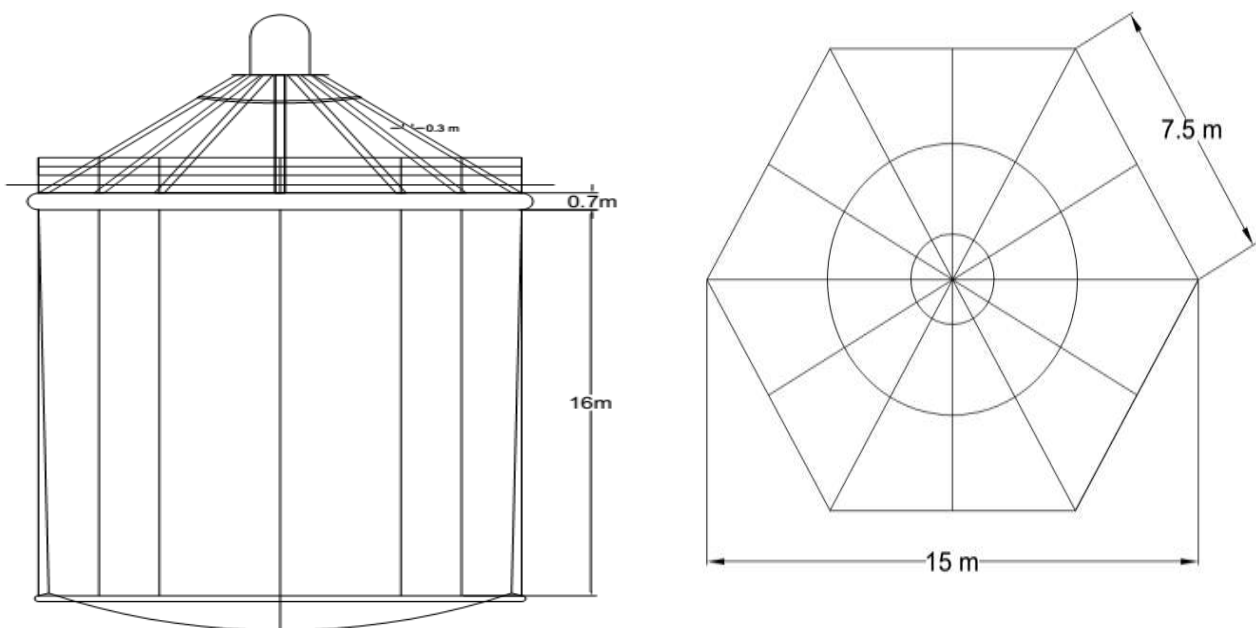
Gelombang	
HS	4.8 m
Tp	11.5 s
Angin	
16.6 m/s	
Arus	
1.1 m/s	

Tabel 3.2 Metaocean data for Timor Sea (1 tahunan)

Wave Height Range (m)	Wave Period (s)	Cycle
0.0-0.5	2.45	3761605
0.5-1.0	4.20	2846859
1.0-1.5	4.61	929956
1.5-2.0	4.90	234490
2.0-2.5	5.13	69334
2.5-3.0	5.32	26974
3.0-3.5	5.48	11108
3.5-4.0	5.62	4762
4.0-4.5	5.75	1711
Total		7886799

3.3.2. Data Struktur

Struktur *aquaculture* tipe *Farmocean* terdiri dari *Brace*, Ponton ring dan Sinker. Untuk Ponton ring dan Sinker tersebut dihubungkan dengan 6 buah *Sling*. Dimensi ukuran *Farmocean* dapat dilihat sesuai Gambar 3.2 dan Tabel 3.3.



Gambar 3. 2 Gambar Dimensi Struktur *Farmocean*

Tabel 3. 3 Data Dimensi Struktur *Farmocean*

No	Struktur	Outer Diameter	Iner Diameter	Thicknes	Schedule	Panjang (m)	Berat Volume (ton)	Jumlah
1	Brace 1	9,625 in	8,941 in	0,342 in	STD/40/40S	4,619	0,0297	6
2	Brace 2	9,625 in	8,941 in	0,342 in	STD/40/40S	4,559	0,0293	6
3	Poonton ring	30in	29,25 in	0,375 in	STD/40/40S	5	0,1125	6
4	Sinker	4 in			A36	31,4	0,25	1
5	Sling	2 in			6 x 36 WS+ IWRC	10	0,02	6

Dimensi dari tiap bagian struktur *aquaculture* model *Farmocean* dapat dilihat pada Tabel 3.2. Data lain pendukung struktur *aquaculture* model *Farmocean* yang juga berkontribusi terhadap analisa antara lain kapasitas berat live load, pakan ikan, dan berat jarring. Berat dari tiap elemen tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Data Beban Elemen Pendukung

Live load pekerjaan maintenance	0,2 ton
Kapasitas pakan ikan	2 ton
Berat netting	0,29 ton

3.3.3. Data Mooring Line

Jenis *mooring line* yang akan digunakan dalam analisa tugas akhir ini menggunakan bahan berjenis *wire rope*. Produk yang dipilih adalah Diamond Blue dari Bridon. Jenis tersebut dipilih karena memiliki variasi ukuran kecil dan ketahanan mampu mencapai 10 tahun. Ukuran yang dapat dipilih dapat dilihat datanya seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 *Marine wire rope specification from Diamond Blue dari Bridon*



Rope diameter		Approximate mass				Minimum breaking force (F _{min})			Axial stiffness @20% load		Torque generated @20% load		Metallic cross section	
		In air		Submerged							Ordinary lay			
mm	in	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kN	Tonnes	Tons (2000lb)	MN	Mlbs	kN.m	lbs.ft	mm ²	in ²
52		11.7	8.87	11.5	7.72	2231	227	251	140	32	1.5	1113	1338	2.07
54	2 1/8	12.6	8.87	11.5	7.72	2406	245	270	151	34	1.7	1246	1443	2.24
56		13.6	9.54	12.4	8.30	2587	264	291	163	37	1.9	1390	1552	2.41
57.2	2 1/4	14.2	10.0	13.0	8.71	2699	275	303	170	38	2.0	1481	1619	2.51
60		15.6	10.5	13.6	9.11	2970	303	334	187	42	2.3	1709	1781	2.76
60.3	2 3/8	15.7	10.6	13.7	9.20	3000	306	337	189	42	2.4	1735	1799	2.79
63.5	2 1/2	17.5	11.7	15.2	10.2	3327	339	374	209	47	2.7	2026	1995	3.09
64		17.7	11.9	15.4	10.4	3379	344	380	213	48	2.8	2075	2027	3.14
66.7	2 5/8	19.3	12.9	16.8	11.3	3670	374	412	231	52	3.2	2348	2201	3.41
68		20.0	13.5	17.4	11.7	3815	389	429	240	54	3.4	2489	2288	3.55
69.9	2 3/4	21.2	14.2	18.4	12.4	4031	411	453	254	57	3.7	2703	2418	3.75
72		22.4	15.1	19.5	13.1	4277	436	480	269	61	4.0	2954	2565	3.98
76		25.0	16.8	21.8	14.6	4765	486	535	300	67	4.7	3474	2858	4.43
76.2	3	25.1	16.9	21.9	14.7	4790	488	538	302	68	4.7	3502	2873	4.45
80		27.7	18.6	24.1	16.2	5280	538	593	333	75	5.5	4052	3167	4.91
82.6	3 1/4	29.5	19.9	25.7	17.3	5629	574	632	354	80	6.0	4460	3376	5.23
84		30.6	20.5	26.6	17.9	5821	593	654	367	82	6.4	4691	3491	5.41
88		33.5	22.5	29.2	19.6	6389	651	718	402	90	7.3	5393	3832	5.94
88.9	3 1/2	34.2	23.0	29.8	20.0	6520	665	732	411	92	7.5	5561	3911	6.06
92		36.6	24.6	31.9	21.4	6560	669	737	440	99	7.8	5782	4188	6.49
95.3	3 3/4	39.3	26.4	34.2	23.0	7039	717	791	472	106	8.7	6427	4494	6.97
96		39.9	26.8	34.7	23.3	7142	728	802	479	108	8.9	6570	4560	7.07
100		43.3	29.1	37.7	25.3	7750	790	871	520	117	10	7426	4948	7.67
101.6	4	44.7	30.0	38.9	26.1	8000	815	899	536	121	11	7788	5108	7.92
108	4 1/8	50.5	33.9	43.9	29.5	8305	847	933	606	136	12	8616	5771	8.95
114.3	4 1/2	56.6	38.0	49.2	33.1	9302	948	1045	679	153	14	10213	6464	10.0
120.7	4 3/4	63.1	42.4	54.9	36.9	10373	1057	1165	757	170	16	12027	7209	11.2
127	5	69.8	46.9	60.8	40.8	11484	1171	1290	838	188	19	14010	7981	12.4

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data dan Perhitungan Beban

4.1.1. Beban Struktur

Beban Struktur akibat gaya berat dapat dihitung sesuai dengan Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gaya berat struktur *Farmocean*.

Brace 1				Ring Poonton			
Volume	0.029707	m ³		Volume	0.112527	m ³	
Pipe				Pipe Density	7850	kg/m ³	
Density	7850	kg/m ³		Jumlah	6		
Jumlah	6			Gaya Berat	vpxn	5300.021	kg
Gaya Berat	vpxn	1399.202	kg			5.300021	Ton
		1.399202	Ton				
Brace 2				Sinker			
Volume	0.029321	m ³		Volume	0.24649	m ³	
Pipe				Density	7850	kg/m ³	
Density	7850	kg/m ³		Gaya Berat	vpxn	1934.947	kg
Jumlah	6					1.934947	Ton
Gaya Berat	vpxn	1381.027	kg				
		1.381027	Ton	Sling			
Jaring				Volume	0.020258	m ³	
	0.291314	ton		Jumlah	6		
TOTAL BERAT				Density	7850	kg/m ³	
	11260.6638	kg		Gaya Berat	vpxn	954.1529	kg
	11.2606638	ton				0.954153	Ton

4.1.2. Beban Hidup

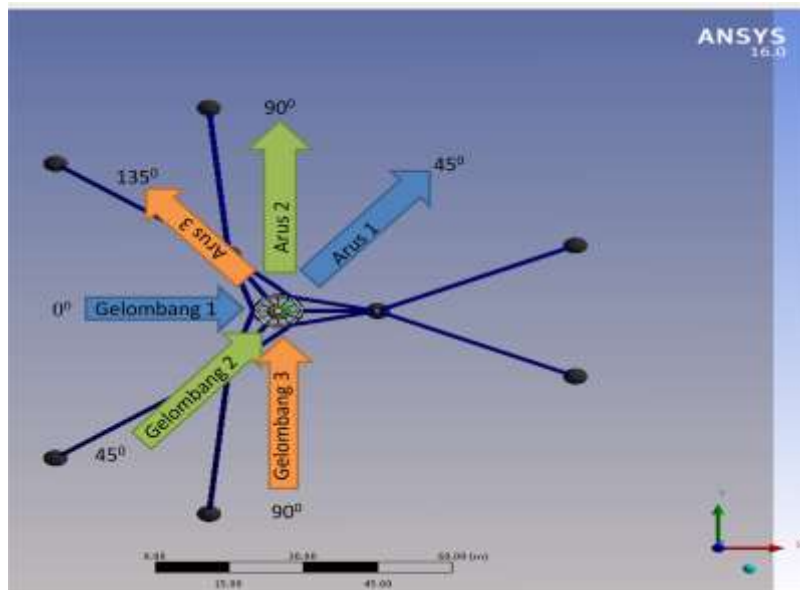
Dalam perancangan struktur *aquaculture FarmOcean* akan mendapat berat tambahan dari kegiatan operasi. Operasi yang dilakukan berupa pemberian pakan dan pengecekan terhadap keramba. Analisa ini diasumsikan untuk dioperasikan oleh 2 orang dewasa dengan bobot maksimal 100kg Sehingga menghasilkan total beban 0.2 ton.

4.1.3. Kombinasi Arah Pembebanan Gelombang

Dalam DNVGL OS-E301 terdapat beberapa kriteria analisis yang direkomendasikan dalam menganalisa respon dari suatu bangunan apung tertambat. Salah satu diantaranya adalah pembebanan gelombang dan arus. Untuk analisa dengan arah arus dan gelombang yang belum diketahui, arah arus diberikan *gap* sebesar 45° -dari arah gelombang. Karena ketiga konfigurasi *mooring* pada Tugas Akhir ini simetris maka dilakukan analisa gelombang dengan tiga arah datang gelombang yaitu 0°, 45°, dan 90°. Untuk lebih memahami arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1.

Tabel 4. 2 Arah Pembebanan Gelombang dan Arus

	Arah Gelombang ($^{\circ}$)	Arah Arus ($^{\circ}$)
Kombinasi 1	0	45
Kombinasi 2	45	90
Kombinasi 3	90	135



Gambar 4. 1 Ilustrasi Kombinasi Pembebanan Lingkungan

4.1.4. Analisa Data Lingkungan

Tipe spektrum gelombang yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini adalah tipe JONSWAP sesuai ketentuan DNVGL OS-E301. Dalam menentukan *peakedness* parameter sesuai yang diatur seperti persamaan berikut ini:

$$\gamma = 5 \text{ apabila } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \quad \dots (4.1)$$

$$\gamma = e^{5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}} \text{ apabila } 3.6 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 5 \quad \dots (4.2)$$

$$\gamma = 1 \text{ apabila } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \geq 5 \quad \dots (4.3)$$

Dari persamaan 4.1, 4.2, dan 4.3 diatas maka sesuai dengan data lingkungan didapatkan nilai hasil nilai perbandingan 5,25 sehingga menggunakan *peakened factor* $\gamma = 1$. Perhitungan lengkap dapat dilihat dalam Lampiran.

4.2. Pemodelan Geometri Struktur

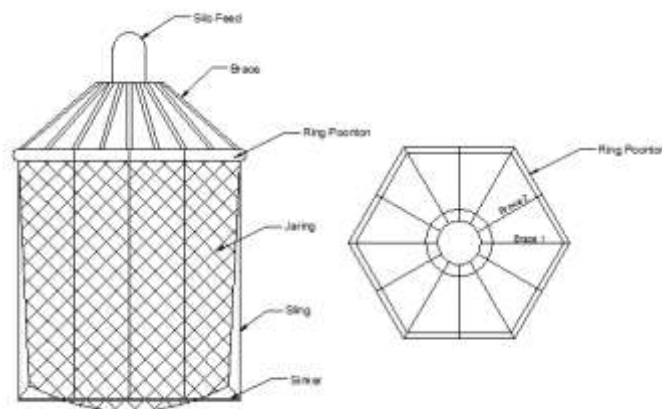
Pemodelan numeris dalam tugas akhir ini bertujuan untuk mencari analisa olah gerak dari struktur *aquaculture* model . Analisa akan dilakukan meliputi spektrum respons struktur, *offset*, dan *tension* pada tali tambat. Untuk mendapatkan hasil tersebut digunakan *software* ANSYS Aqwa. Pemodelan bentuk struktur awal akan dilakukan menggunakan SolidWorks karena kompleksitas bentuk struktur.

4.2.1. Pemodelan Bentuk Struktur dengan SolidWorks

Pemodelan bentuk struktur dilakukan dengan perangkat lunak SolidWorks. Tipe model yang dibuat adalah jenis part karena keseluruhan struktur dibuat menjadi satu kesatuan. Tahapan pertama dalam membuat model struktur adalah membuat garis –garis tengah untuk tiap bagian. Hasil garis yang dibuat akan terlihat seperti pada Gambar 4.2.

4.2.1.1. Pembuatan Garis Model

Tahap berikutnya model dibuat kedalam bentuk solid menyesuaikan dengan data yang diperoleh. Pemodelan *solid* ini bertujuan untuk mencari berat total struktur dan momen sehingga jari-jari girasi struktur dapat dihitung. Pemodelan dilakukan seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Draft Model Struktur *Farmocean*

4.2.1.2. Solid Model 3D

Tahap berikutnya model dibuat kedalam bentuk solid menyesuaikan dengan data yang diperoleh. Pemodelan *solid* ini bertujuan untuk mencari berat total struktur dan momen sehingga jari-jari girasi struktur dapat dihitung. Pemodelan dilakukan seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Model Struktur *FarmOcean* tipe *Solid* dalam SolidWorks

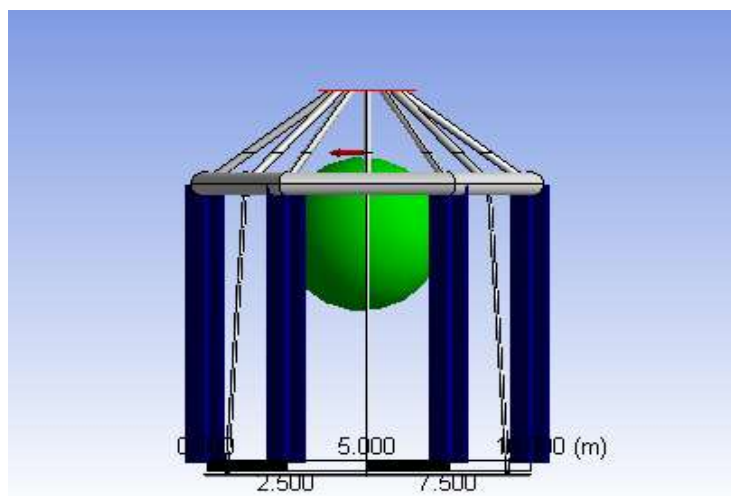
4.3. Permodelan Hidrodinamika

4.3.1. Surface Model 3D

Dalam ANSYS Aqwa model harus di input dalam bentuk *surface* seperti dalam Gambar 4.4. Sehingga model harus dibuat kembali dalam bentuk *surface* agar dapat dianalisa pada ANSYS Aqwa. Untuk mempermudah pemodelan maka tentukan titik 0 sumbu x, y, dan z pada sarat air. *Draft* berjarak sedalam 1m. Tahap selanjutnya adalah export model dengan ekstensi .igs.

4.3.2. Pemodelan Jaring

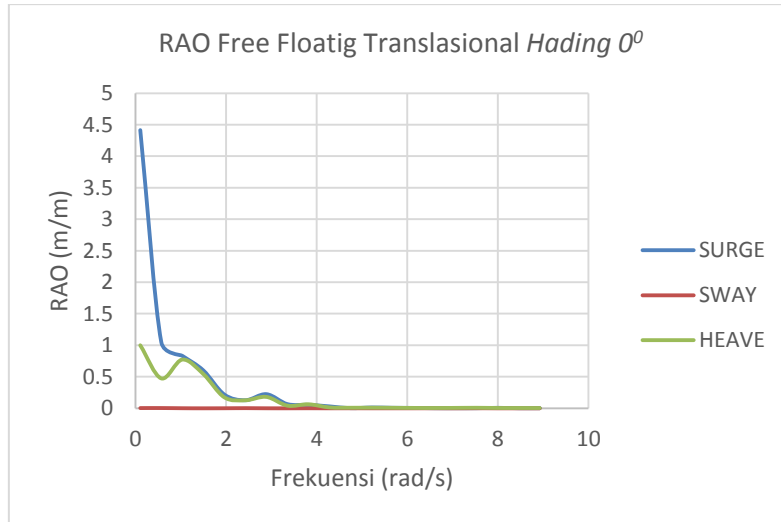
Model kemudian di import ke perangkat lunak ANSYS Aqwa. Lalu pada titik 0 dilakukan slice sebagai penentu bagian sarat air. Untuk mendapatkan model yang lebih representatif maka dilakukan pemodelan jaring sederhana dengan berat yang sama dengan berat sesungguhnya. Sehingga model struktur selesai seperti pada Gambar 4.4.



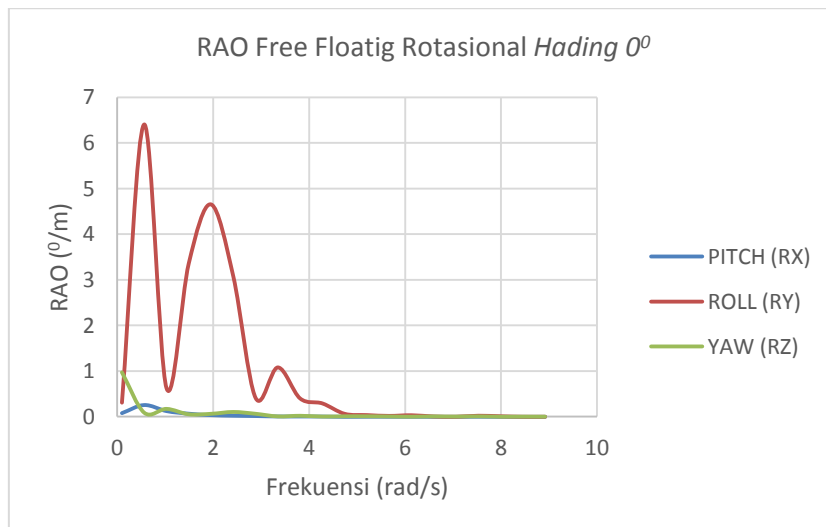
Gambar 4.4 *FarmOcean* dengan Sling Net pada ANSYS *Hydrodynamic Diffraction*

4.4 Response Amplitude Operator (RAO) Free floating

Perhitungan *motion* untuk kondisi *free floating* pada struktur sarat 1 m dengan kedalaman laut 50 m. Berikut adalah grafik *RAO free floating* Farmocean Semisubmersible Aquaculture pada untuk gerakan *surge, sway, heave, roll, pitch, yaw* dengan *heading angle* 0° , 45° , dan 90° .

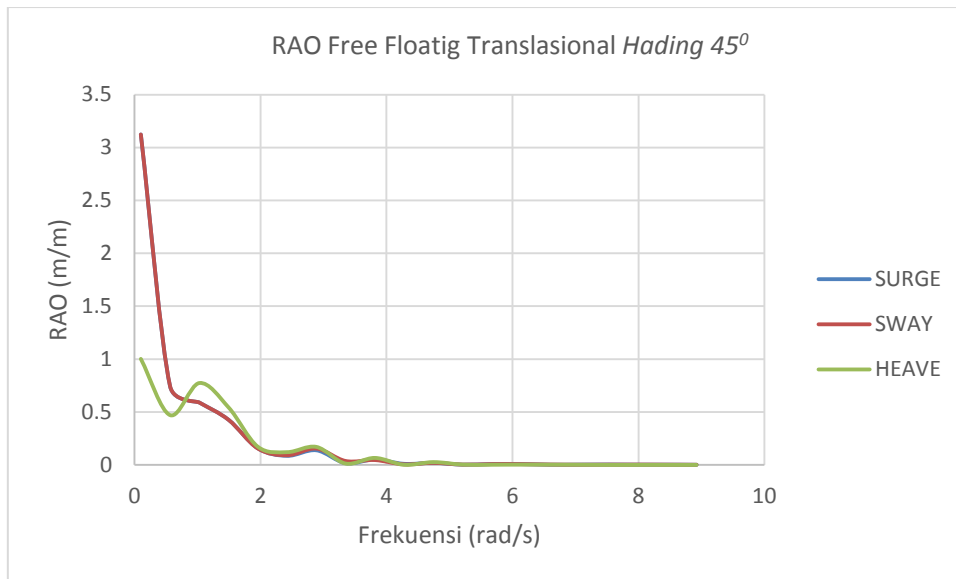


Gambar 4.5 RAO Translational Farmocean Semi-submersible Aquaculture kondisi *free floating* pada *heading* 0° .

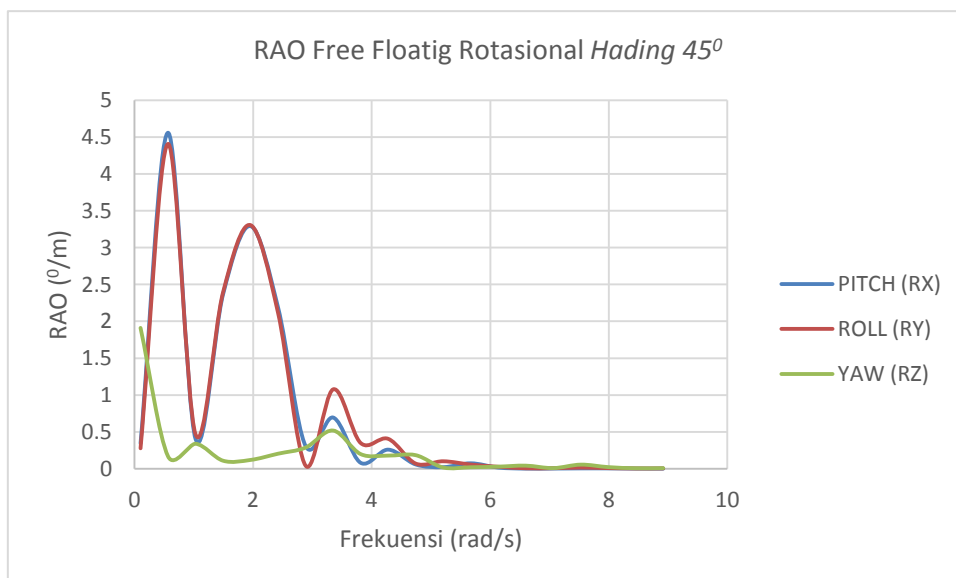


Gambar 4.6 RAO Rotasional Farmocean Semi-submersible Aquaculture kondisi *free floating* pada *heading* 0°

Pada *heading* 0° Gambar 4.5, amplitudo gerakan *surge* terjadi sebesar 4.4 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, amplitudo gerakan *heave* sebesar 1 m/m pada frekuensi rad/s dan amplitudo gerakan *sway* hampir mendekati 0.

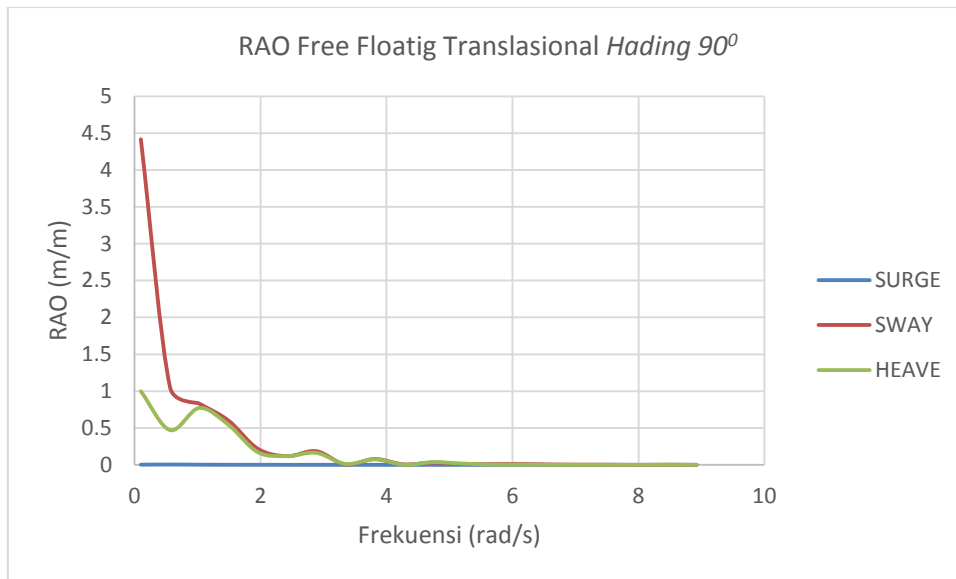


Gambar 4.7 RAO Translational Semi-submersible Aquaculture kondisi *free floating* pada *heading* 45°.

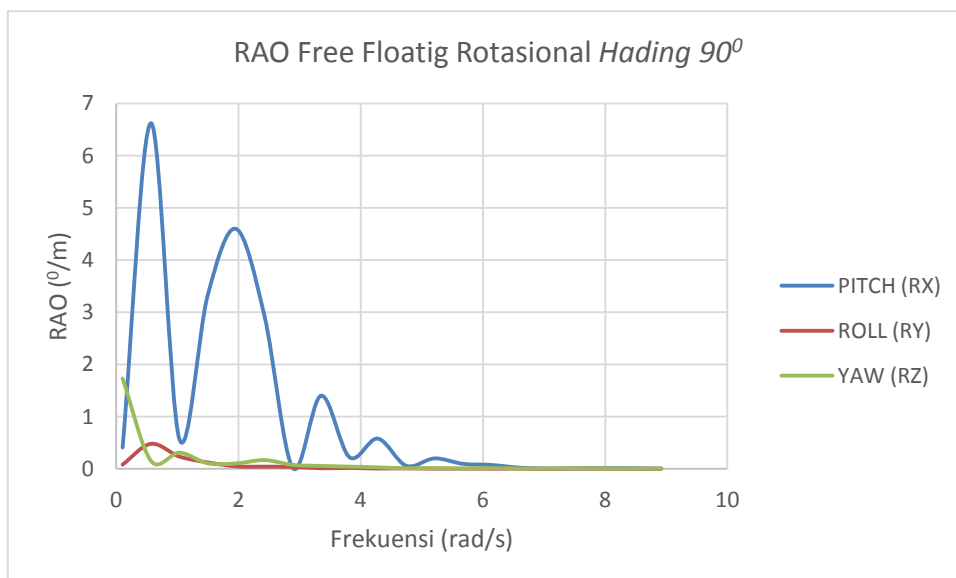


Gambar 4.8 RAO Rotational Semi-submersible Aquaculture kondisi *free floating* pada *heading* 45°.

Pada *heading* 45° Gambar 4.7, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 4.4 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s, amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 4.55 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 1.9 deg/m pada frekuensi 0.1 rad/s.



Gambar 4.9 RAO Translasi Semi-submersible Aquaculture kondisi *free floating* pada heading 90°.



Gambar 4.10 RAO Rotasional Semi-submersible Aquaculture kondisi *free floating* pada heading 90°

Pada heading 90° Gambar 4.9, amplitudo gerakan *sway* terjadi sebesar 4.41 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, amplitudo gerakan *heave* sebesar 1 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s dan amplitudo gerakan *surge* hampir mendekati 0.

4.5. Pemodelan Konfigurasi *Mooring*

Konfigurasi *mooring* yang dilakukan dalam analisa tugas akhir ini terdapat 3 jenis yaitu *Rectangular Array*, *Linear Array*, dan *4 Points Mooring*. Ketiga konfigurasi sistem tambat tersebut dimodelkan dalam perangkat lunak ANSYS AQWA. Untuk mendapatkan hasil analisis yang dapat dibandingkan maka dimensi *mooring line* menggunakan property yang sama. Jenis *mooring line* yang digunakan adalah tipe *Diamond Blue* dari Bridon dengan ukuran 52 mm. Dalam ANSYS Aqwa perlu melakukan input manual karakteristik *mooring line* meliputi diameter, massa persatuan panjang, *Minimum Breaking Force* (MBF), axial stiffness, dan luas area melintang. Data tersebut terdapat dalam katalog milik Bridon dengan data seperti pada Tabel 4.3.

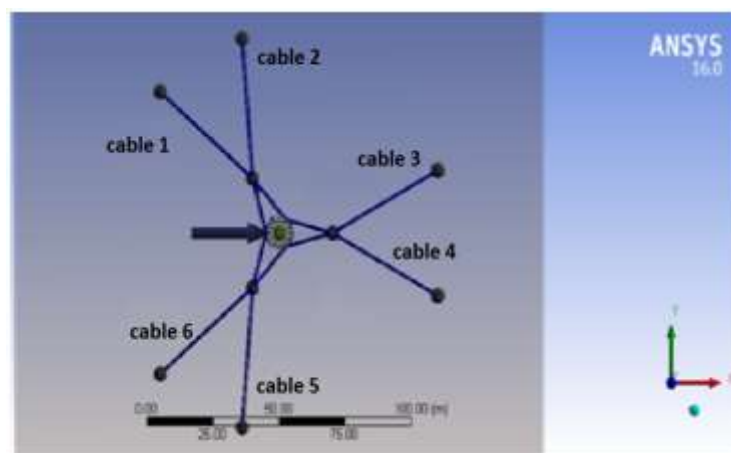
Tabel 4.3 Properti *Mooring Line* yang Digunakan



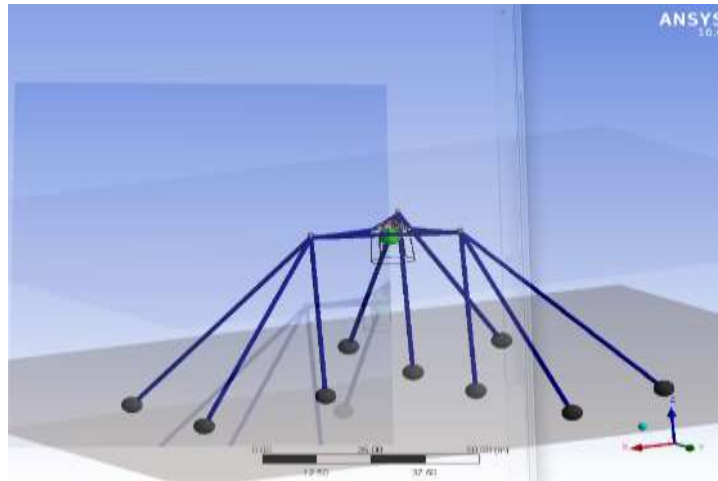
Rope diameter		Approximate mass				Minimum breaking force (F _{min})			Axial stiffness @20% load		Torque generated @20% load		Metallic cross section	
		In air		Submerged		kN	Tonnes	Tons (metric)	MN	Mlbs	Ordinary lay		mm ²	in ²
mm	in	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft						kN.m	lb.ft		
52		11.7	8.87	11.5	7.72	2231	227	251	140	32	1.5	1113	1336	2.07
54	2 1/8	12.6	8.87	11.5	7.72	2406	245	270	151	34	1.7	1246	1443	2.24
56		13.6	9.54	12.4	8.30	2587	264	291	163	37	1.9	1360	1552	2.41
57.2	2 1/4	14.2	10.0	13.0	8.71	2690	275	303	170	38	2.0	1481	1619	2.51
60		15.6	10.5	13.6	9.11	2970	303	334	187	42	2.3	1709	1781	2.76

4.5.1. Pemodelan *Mooring Rectangular Array*

Pemodelan konfigurasi sistem tambat *Rectangular Array* dibuat mengikuti bentuk acuan pada Gambar 2.9. Pada ujung *line* yang terhubung terhadap struktur dihubungkan pada 4 buah *bouy*. Dari *bouy* tersebut dibentangkan dengan 2 *mooring line* yang membentuk sudut 120°. Panjang *mooring line* dari *bouy* menuju titik jangkar adalah 54 m. Untuk lebih jelasnya dapat melihat tampak atas pada Gambar 4.5 dan tampak isometris pada Gambar 4.6.



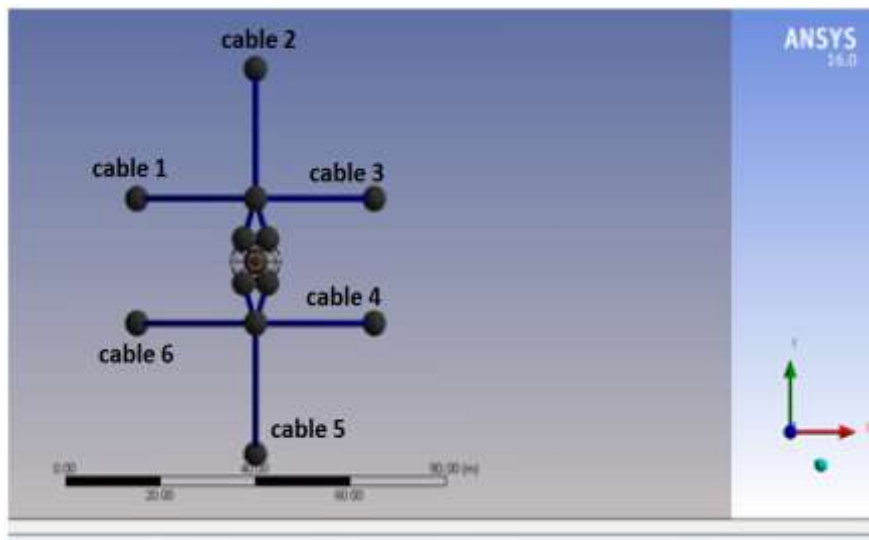
Gambar 4.11 Konfigurasi *Mooring Rectangular Array* Tampak Atas



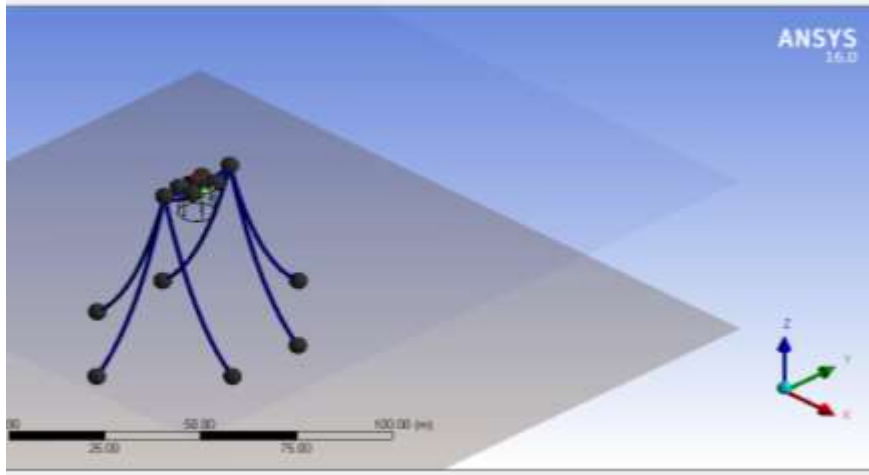
Gambar 4.12 Konfigurasi *Mooring Rectangular Array* Tampak Isometris

4.5.2. Pemodelan *Mooring Linear Array*

Konfigurasi *mooring* tipe *linear array* dilakukan menggunakan ANSYS AQWA sesuai dengan Gambar. Bouy diposisikan pada arah y positif dan y negatif sejauh 12 m. Dari kedua *bouy* tersebut *mooring line* dihubungkan ke 6 jangkar sesuai pada Gambar 4.13. Konfigurasi sistem *mooring* secara isometris dapat dilihat pada Gambar 4.14.



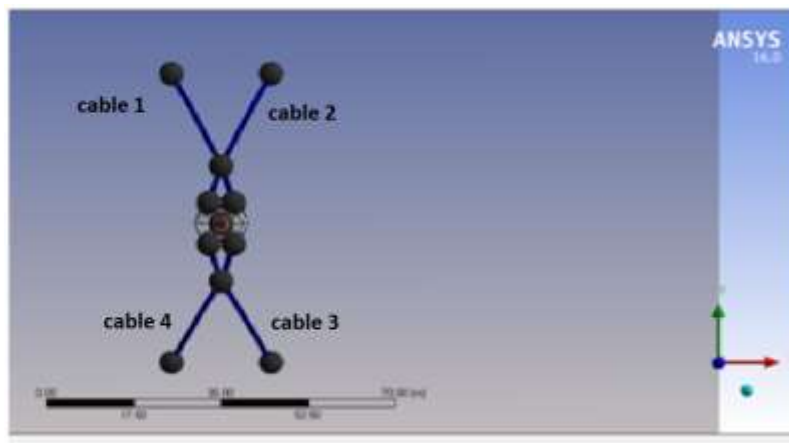
Gambar 4.13 Model dalam ANSYS Aqwa *Mooring Linear Array* Tampak Atas



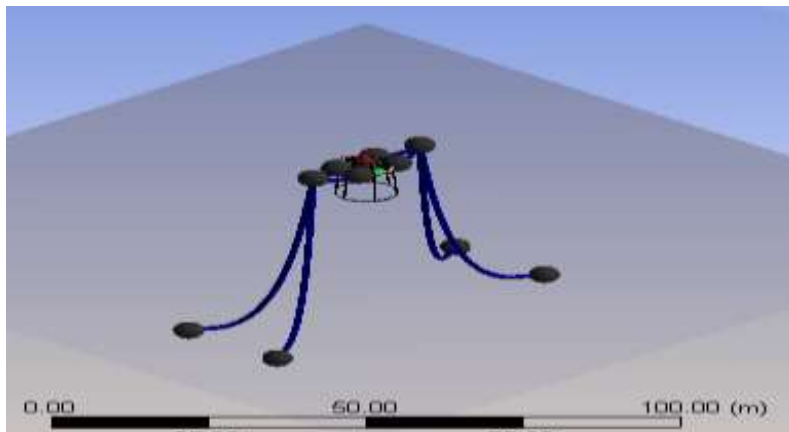
Gambar 4.14 Model dalam ANSYS Aqwa *Mooring Linear Array* Tampak Isometris

4.5.3. Pemodelan *Mooring 4 Points Mooring*

Pemodelan untuk bentuk konfigurasi 4 *points mooring* dilakukan menggunakan 2 buah *bouy* di letakkan pada posisi y positif dan y negatif terhadap struktur sejauh 12 m dari titik koordinat 0,0,0 pada struktur. Bentuk konfigurasi dapat dilihat pada Gambar 4.5 untuk tampak atas dan Gambar 4.16 untuk tampak isometris.



Gambar 4.15 Model dalam ANSYS Aqwa *4 Points Mooring* Tampak Atas



Gambar 4.16 Model dalam ANSYS Aqwa *4 Points Mooring* Tampak Isometris

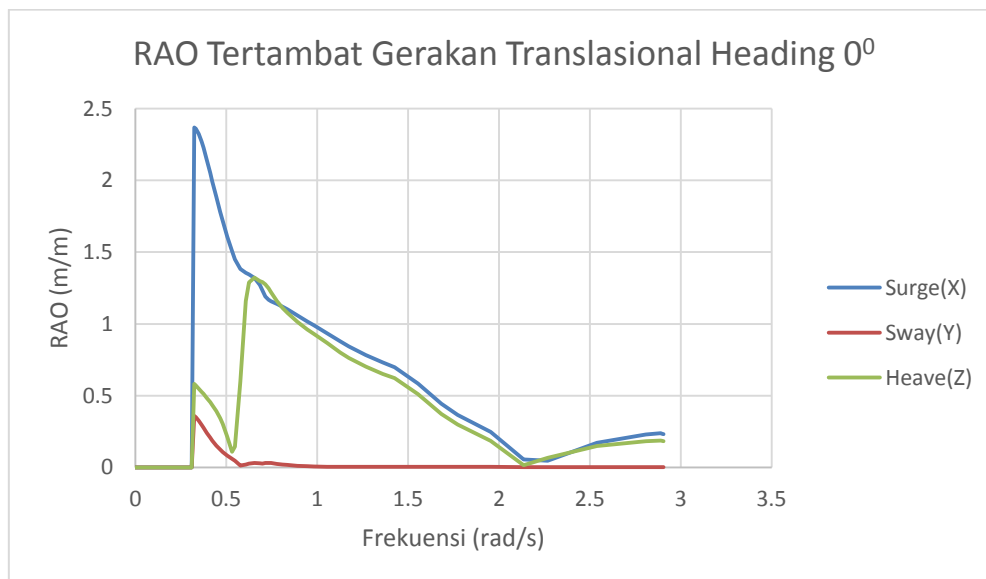
4.6. RAO Tertambat

Analisa *Response Amplitude Operator* (RAO) tertambat dari struktur *aquaculture* model *FarmOcea* dilakukan Berikut adalah grafik RAO hasil analisa ANSYS Aqwa pada gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, *yaw* dengan *heading angel* 0° , 45° , dan 90° . RAO untuk struktur *aquaculture* model *Farmoce*an kondisi tertambat dianalisa dengan tiga konfigurasi *mooring* pada kedalaman laut 50 m.

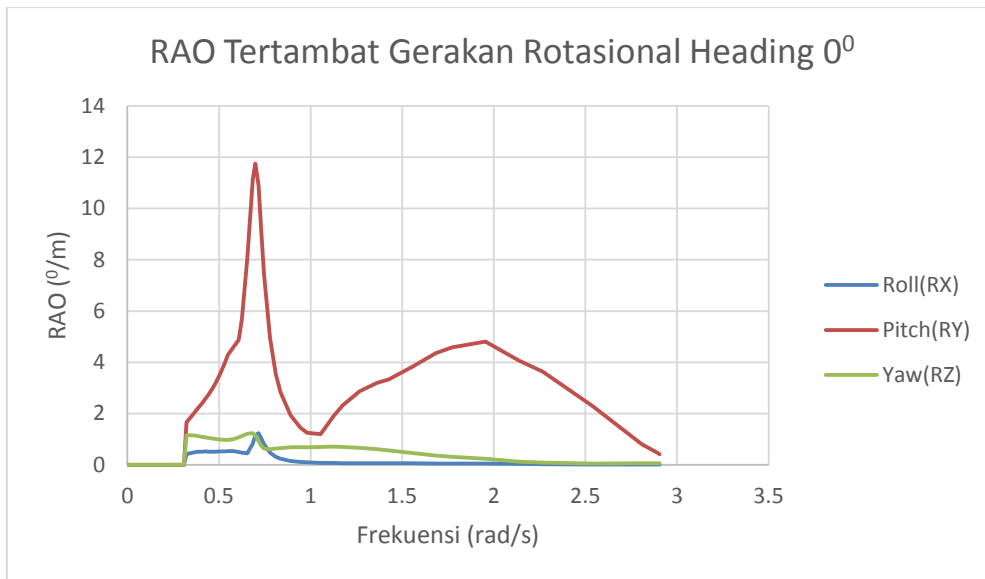
4.6.1. Konfigurasi *Rectangular Array*

• RAO Tambat *Rectangular Array* Arah 0°

RAO pada analisa gelombang arah 0° pada struktur tertambat konfigurasi *rectangular array* memiliki nilai gerak *Surge* terbesar 2,5 pada frekuensi 0,31 rad/s. amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.34 m/m pada frekuensi 0.6 rad/s dan amplitudo gerakan *sway* hampir mendekati 0. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 1.79 deg/m pada frekuensi 1.2 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 6.57 deg/m pada frekuensi 0.54 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 3.5 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gmbar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.18.



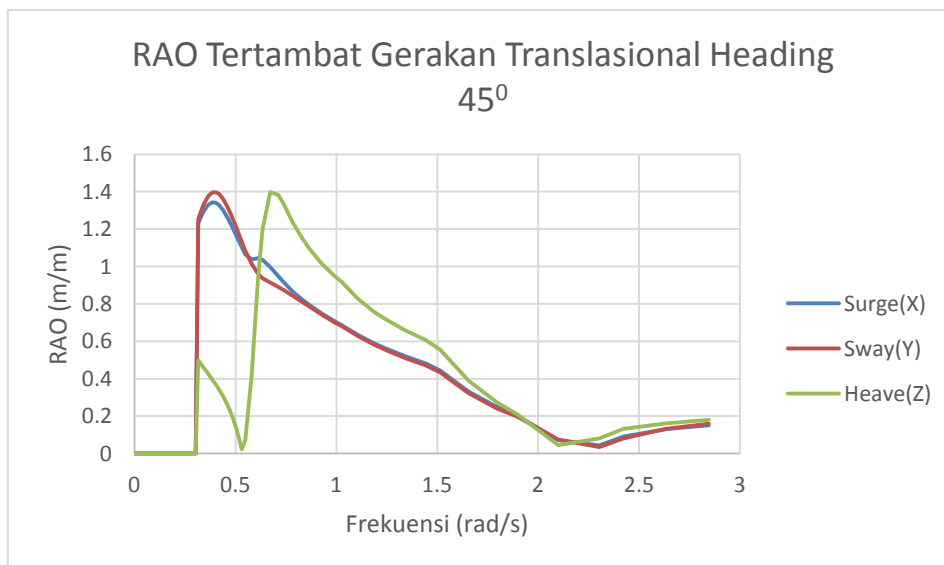
Gambar 4.17 RAO Translasional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 0°



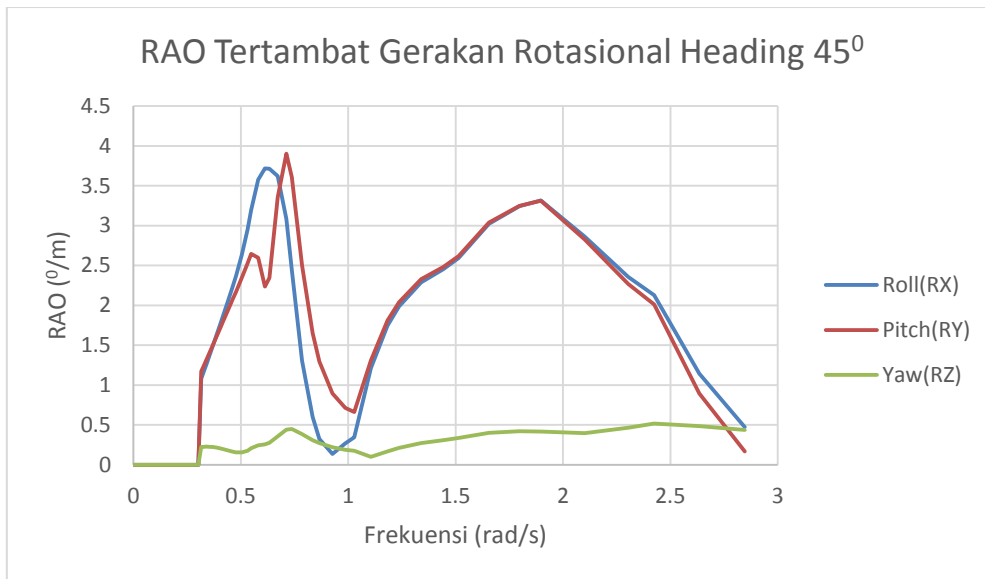
Gambar 4.18 RAO Rotasional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 0°

• RAO Tambat *Rectangular Array* Arah 45°

RAO pada analisa gelombang arah 45° pada struktur tertambat konfigurasi *rectangular array* memiliki nilai gerak *Surge* sebesar sebesar 1.79 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* 1.84 m/m pada frekuensi 0.3 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.28 m/m pada frekuensi 0.7 rad/s. amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 4.2 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 4.25 deg/m pada frekuensi 0.7 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 0.8 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan Gambar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.20.



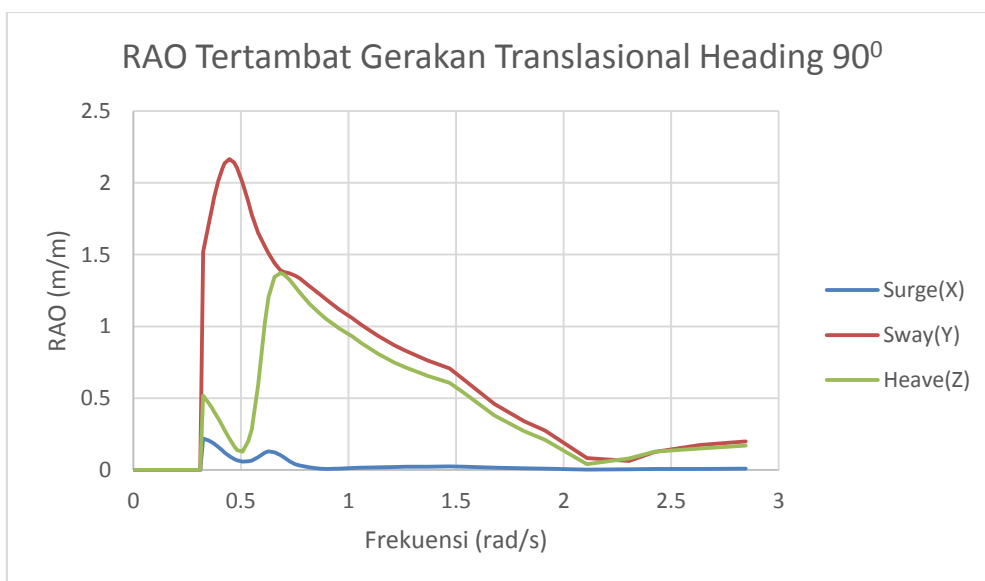
Gambar 4.19 RAO Translasional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 45°



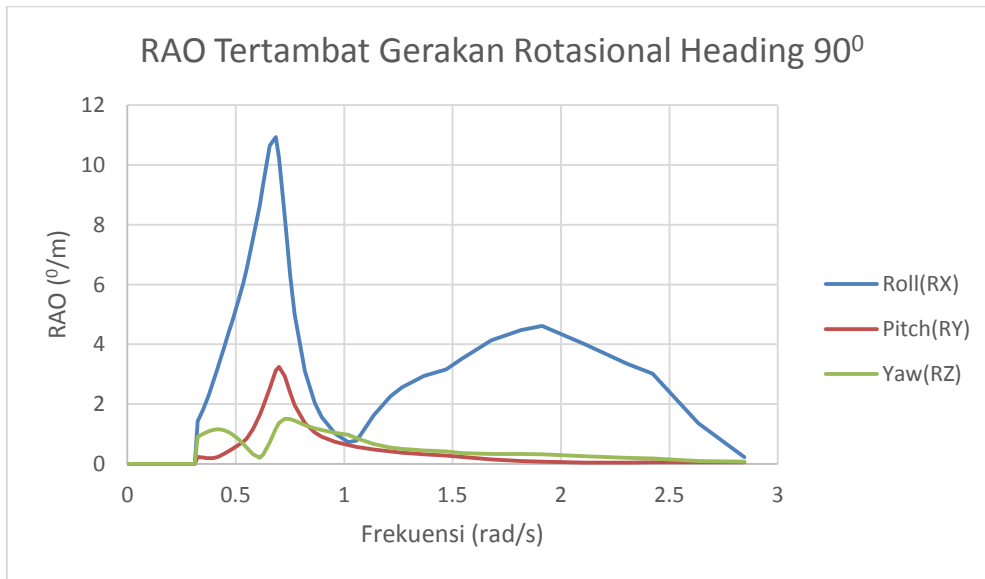
Gambar 4.20 RAO Rotasional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 45°

• RAO Tambat Rectangular Array Arah 90°

RAO saat menerima gelombang arah 90° pada struktur tertambat konfigurasi *rectangular array* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 0.11 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 2.3 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.5 m/m pada frekuensi 0.7 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 4.4 deg/m pada frekuensi 1.33 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 3.8 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 1.1 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.21 RAO Translasional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 90°

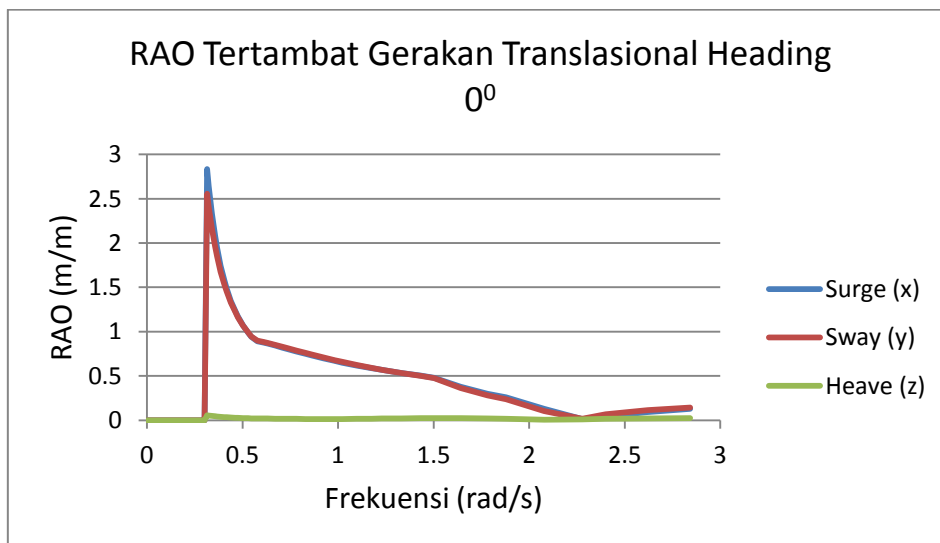


Gambar 4.22 RAO Rotasional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah arah 90°

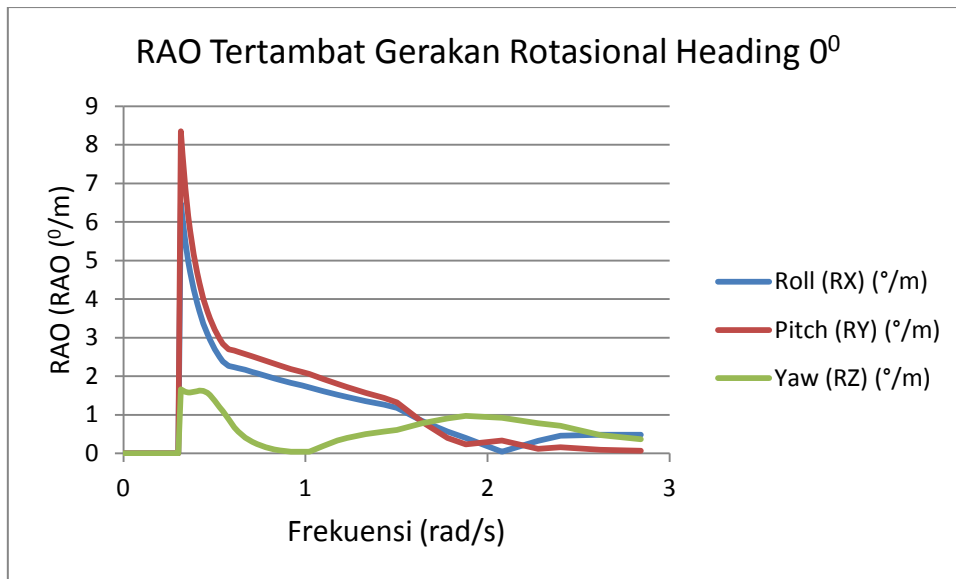
4.6.2. Konfigurasi *Linear Array*

- RAO Tambat *Linear Array* Arah 0°

RAO saat menerima gelombang arah 0° pada struktur tertambat konfigurasi *Linear array* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 2.83 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 2.5 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.05 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 6.4 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 8.3 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 1.6 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.23 dan Gmbar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.24.



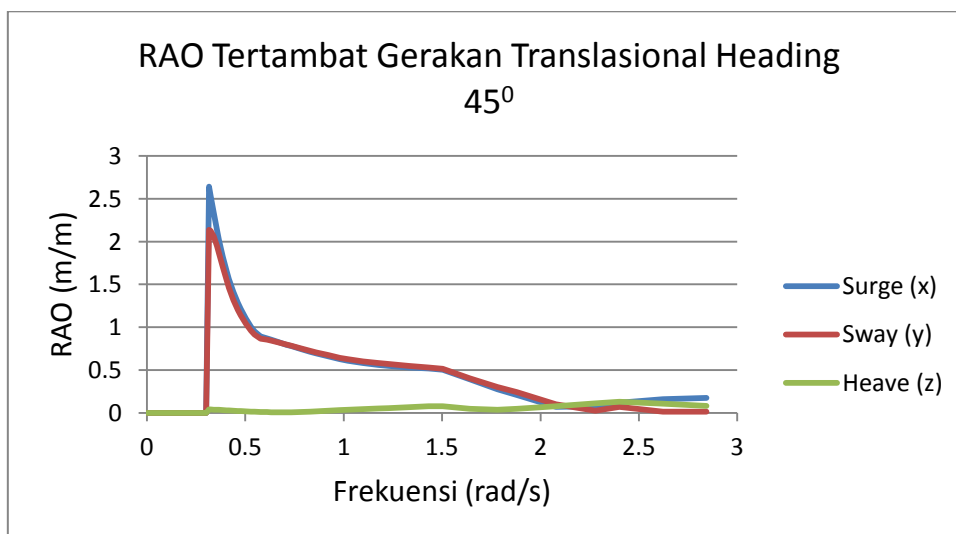
Gambar 4.23 RAO Translasional untuk Konfigurasi *Linear Array* arah 0°



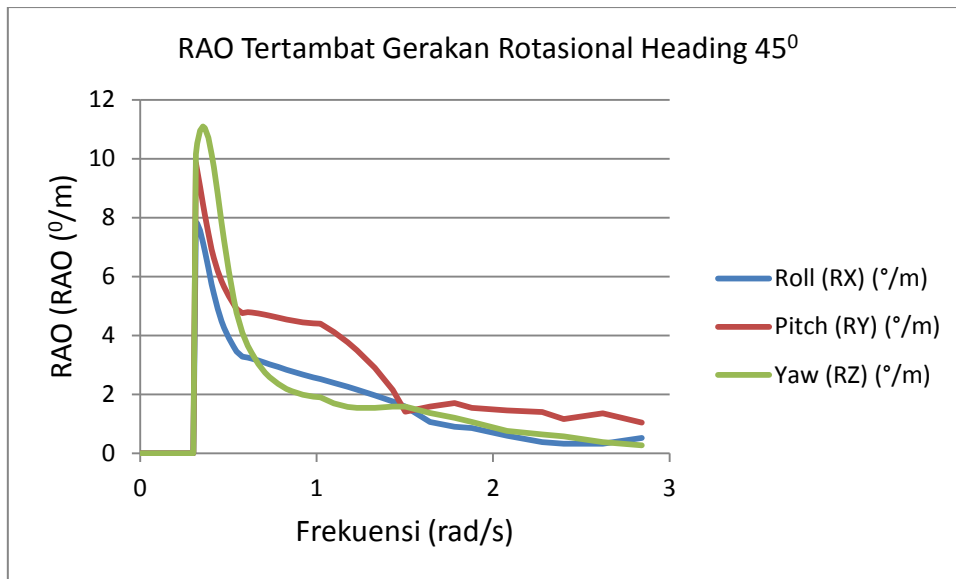
Gambar 4.24 RAO Rotasional untuk Konfigurasi *Linear Array* arah 0°

• RAO Tambat *Linear Array* Arah 45°

RAO saat menerima gelombang arah 45° pada struktur tertambat konfigurasi *Linear array* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 2.6 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 2.1 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.038m/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 7.8 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 9.8 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 11.0 deg/m pada frekuensi 0.35 rad/s. Gmbar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan Gambar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.26.



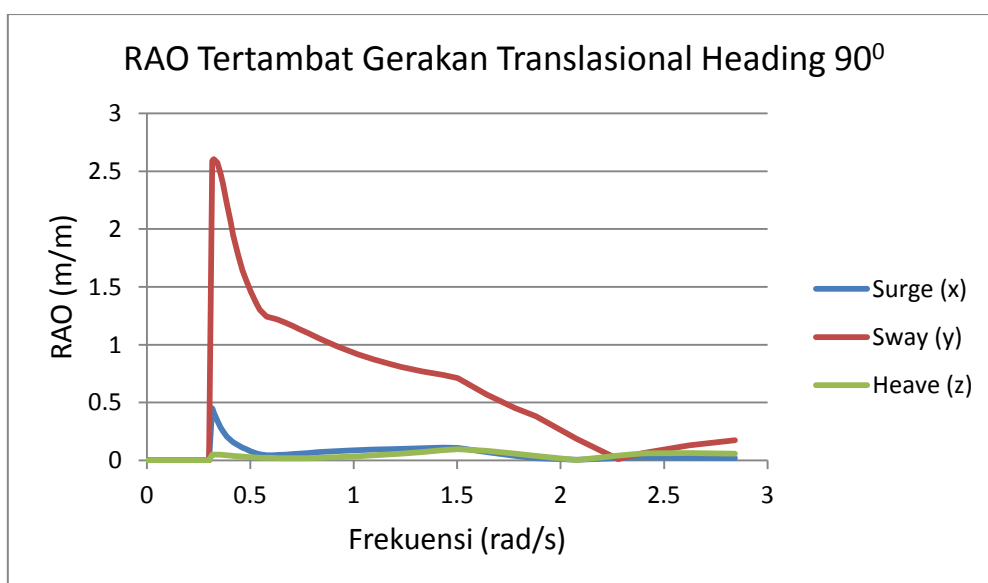
Gambar 4.25 RAO Translasional untuk Konfigurasi *Linear Array* arah 45°



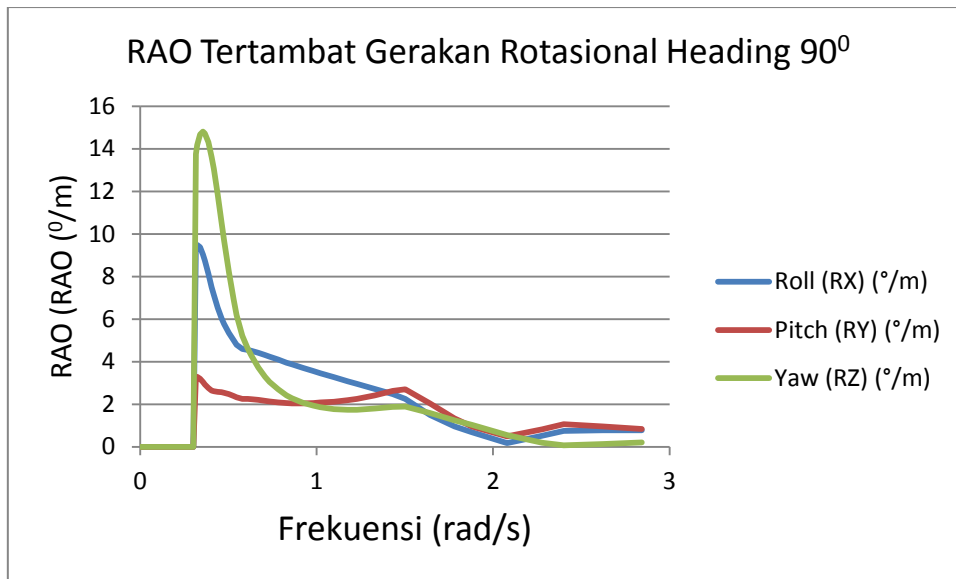
Gambar 4.26 RAO Rotasional untuk Konfigurasi *Linear Array* arah 45°

• RAO Tambat *Linear Array* Arah 90°

RAO saat menerima gelombang arah 90° pada struktur tertambat konfigurasi *Linear array* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 0.4 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 2.6 m/m pada frekuensi 0.32 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.09m/m pada frekuensi 1.5 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 9.4 deg/m pada frekuensi 0.32 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 3.2 deg/m pada frekuensi 0.32 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 14.8 deg/m pada frekuensi 0.35 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.27 dan Gambar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.27 RAO Translasional untuk Konfigurasi *Linear Array* arah 90°

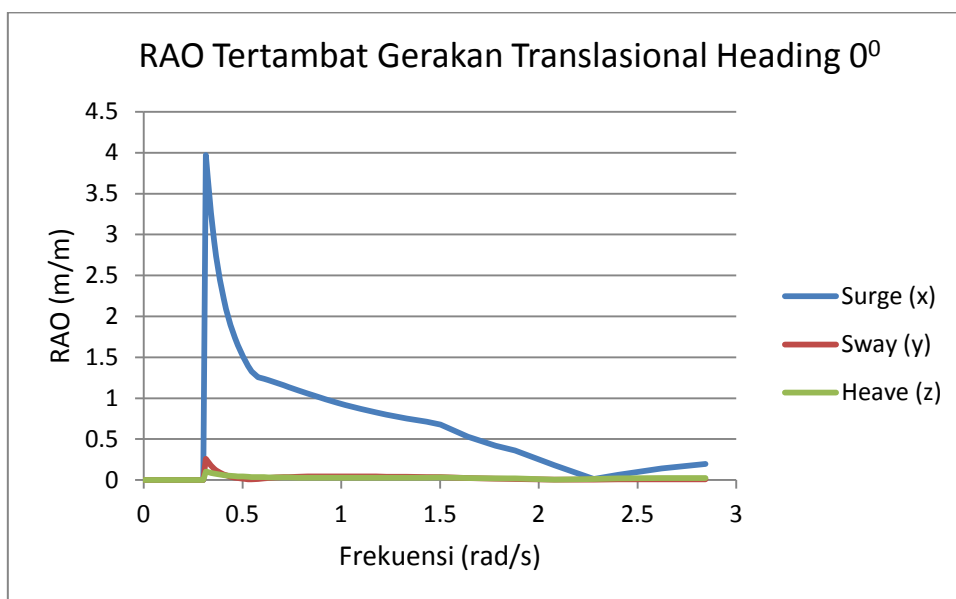


Gambar 4.28 RAO Rotasional untuk Konfigurasi *Linear Array* arah 90°

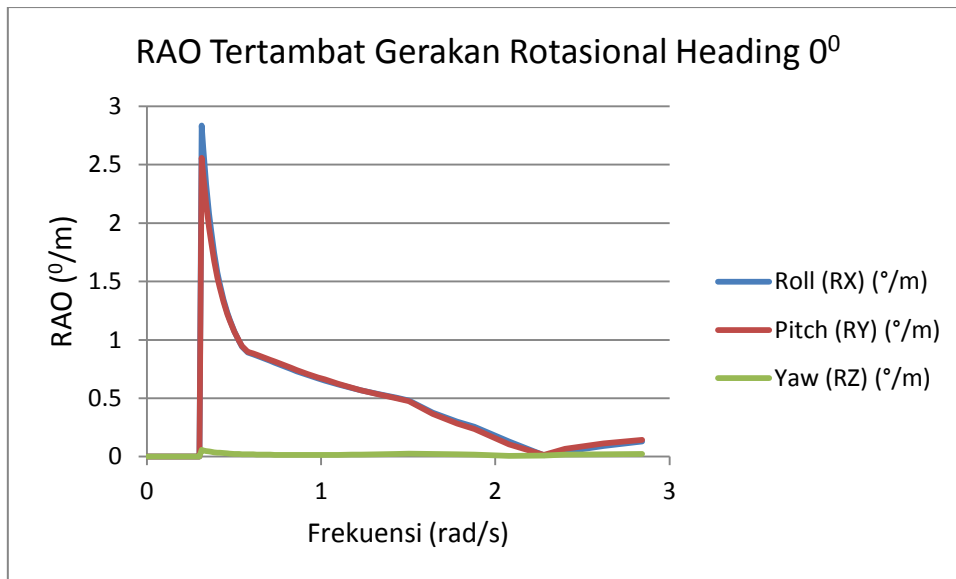
4.6.3. Konfigurasi 4 *Points Mooring*

• RAO Tambat 4 *Points Mooring* Arah 0°

RAO saat menerima gelombang arah 0° pada struktur tertambat konfigurasi 4 *point mooring* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 3.9 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 0.2 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.1m/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 2.8 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 2.5 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 0.05 deg/m pada frekuensi 0.35 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan Gambar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.30.



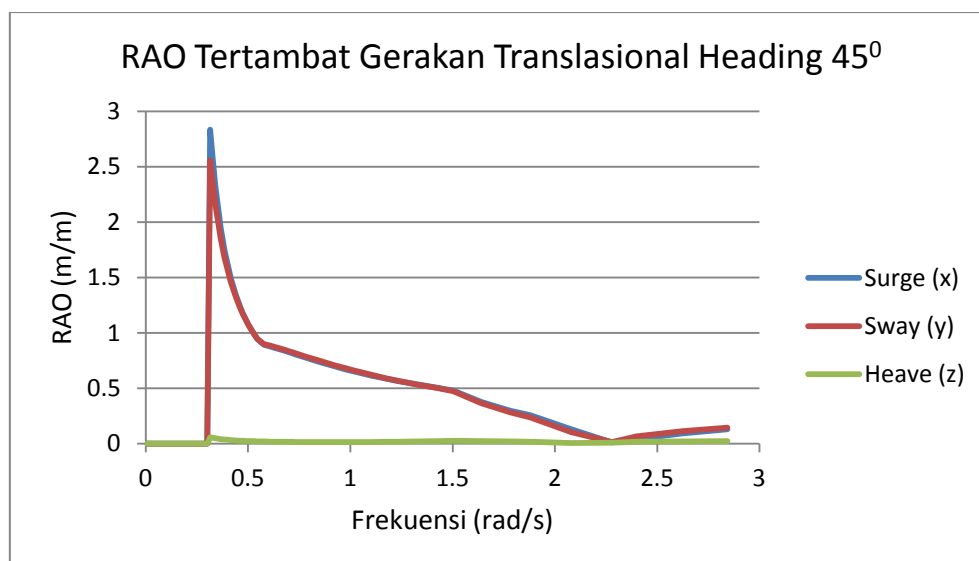
Gambar 4.29 RAO Translasional untuk Konfigurasi 4 *Point Mooring* Arah 0°



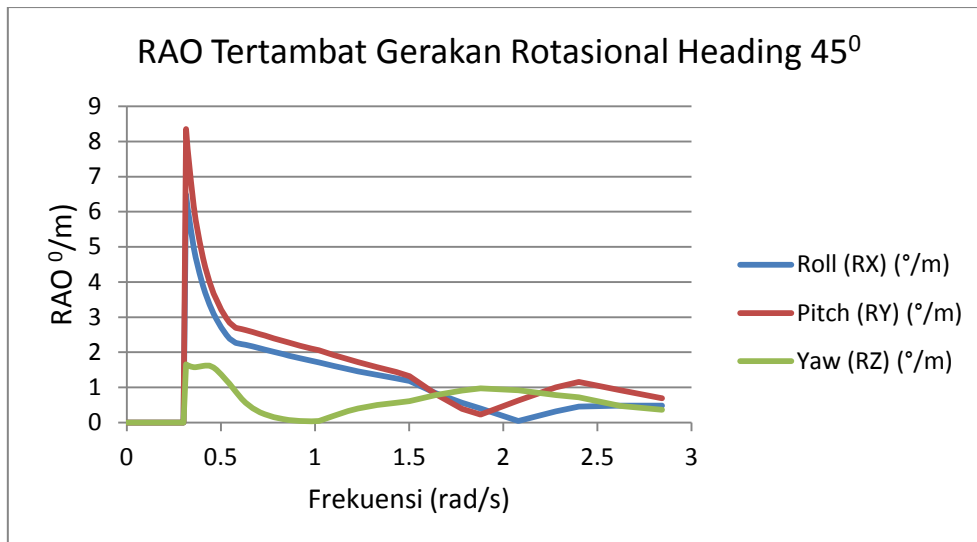
Gambar 4.30 RAO Rotasional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 0°

• RAO Tambat 4 Points Mooring Arah 45°

RAO saat menerima gelombang arah 45° pada struktur tertambat konfigurasi *Linear array* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 2.8 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 2.55 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.05m/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 6.4 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 8.3 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 1.66 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan Gmbar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.32.



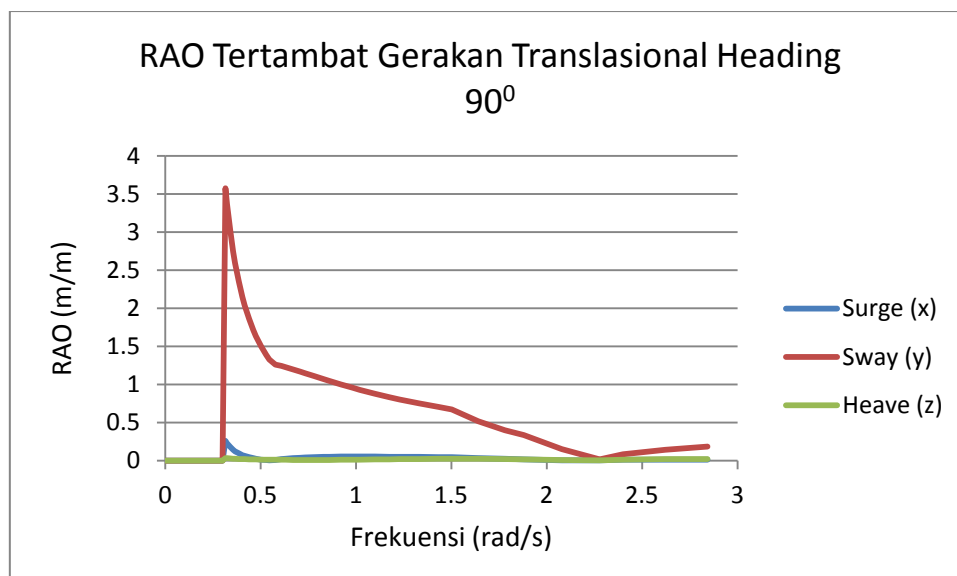
Gambar 4.31 RAO Translasional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 45°



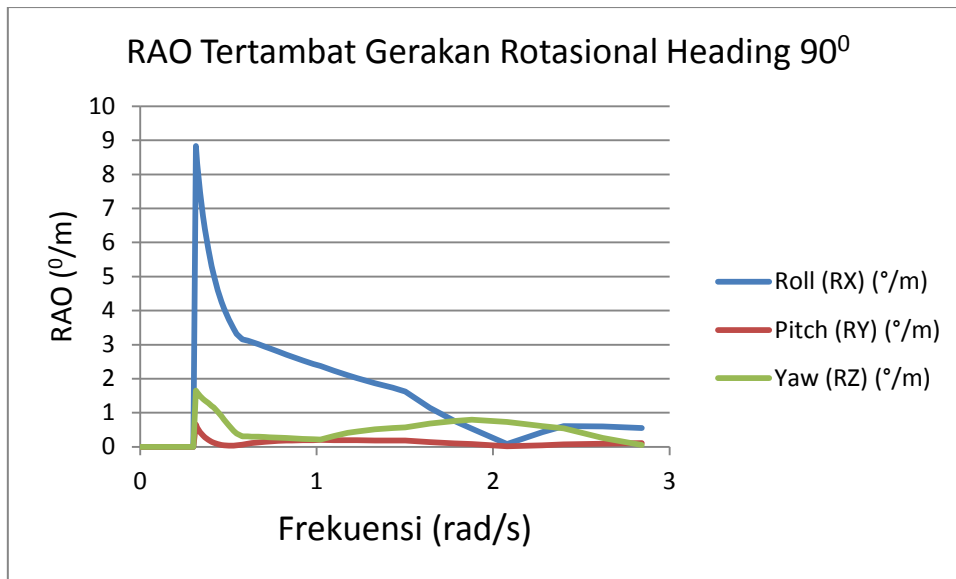
Gambar 4.32 RAO Rotasional untuk Konfigurasi 4 *Point Mooring* Arah 45°

• RAO Tambat 4 *Points Mooring* Arah 90°

RAO saat menerima gelombang arah 45° pada struktur tertambat konfigurasi *Linear array* memiliki gerak *surge* terjadi sebesar 0.26 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 3.5 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.035m/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 8.8 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 0.6 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan *yaw* terjadi sebesar 1.6 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s. Gambar grafik RAO translasional dapat dilihat pada Gambar 4.34 dan Gambar grafik RAO rotasional dapat dilihat pada Gambar 4.35.



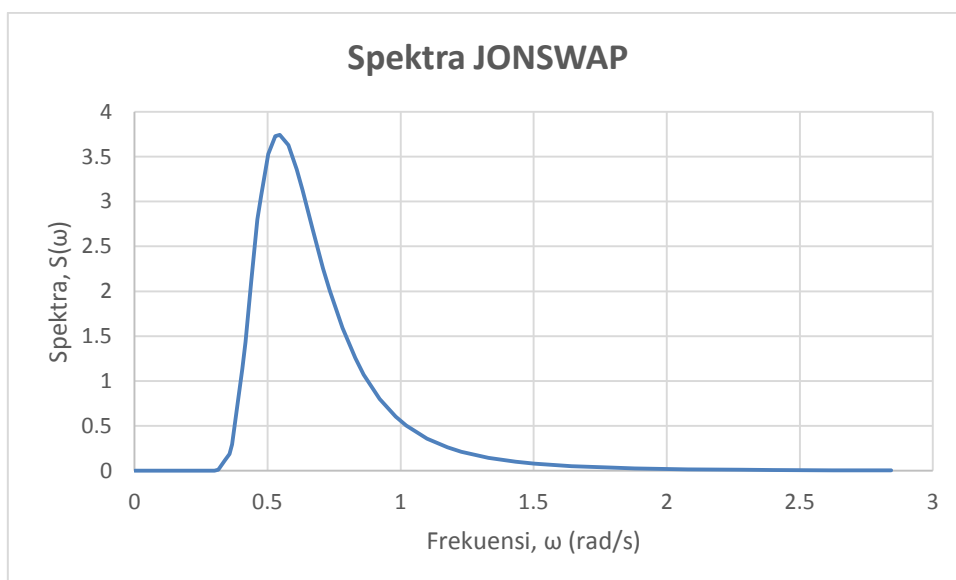
Gambar 4.33 RAO Translasional untuk Konfigurasi 4 *Point Mooring* Arah 90°



Gambar 4.34 RAO Rotasional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 90°

4.7. Spektra Gelombang Irregular JONSWAP ANSYS AQWA

Dengan menggunakan data gelombang laut timor dari DNVGL OS-E301 dengan tinggi gelombang signifikan sebesar 4,8 m, dengan periode 11.5 s. Maka sesuai dengan DNVGL OS-E301 dapat dikalkulasikan perhitungan nilai faktor γ yaitu 1, karena $\frac{T_p}{\sqrt{H_s}} = 5,429$. Maka grafik spektra gelombang JONSWAP-nya memiliki nilai spectral density tertinggi 3,728 m²/(rad/s) pada frekuensi 0.52 rad/s seperti pada Gambar 4.35



Gambar 4.35 Spektra JONSWAP

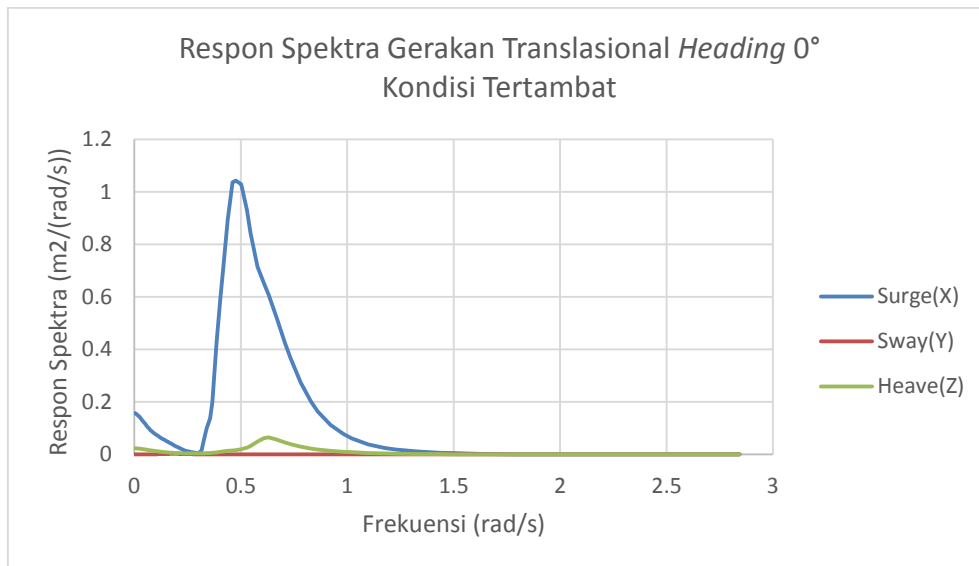
4.8. Spektra Respon Gerak Struktur Tertambat

Hasil RAO tertambat untuk mendapatkan spektrum respon gerak dari struktur *aquaculture* model *FarmOcean* dikuadratkan dan dikalikan dengan spektrum gelombang. Tahap ini dilakukan untuk setiap kombinasi *heading* dengan jenis konfigurasi *mooring* sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut

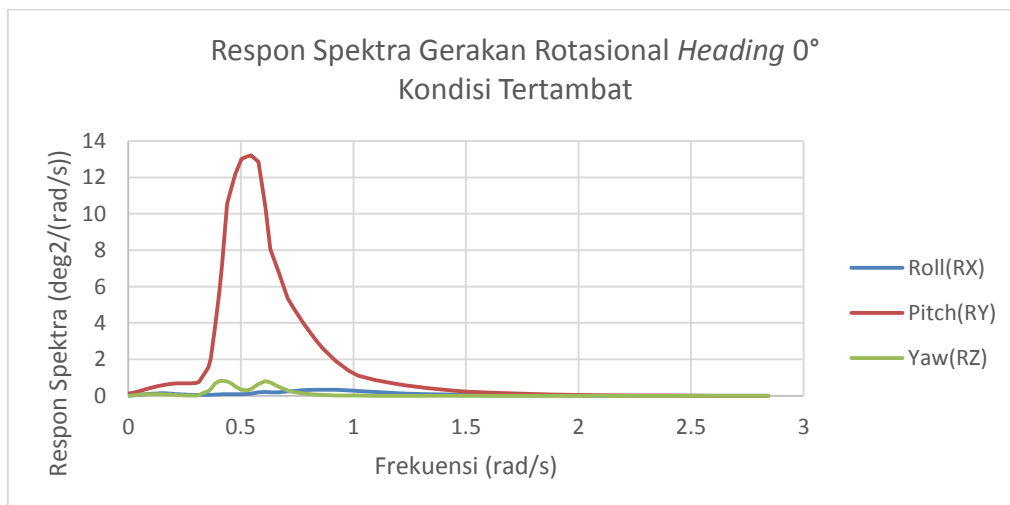
4.8.1. Konfigurasi *Rectangular Array*

- Respon Arah 0°

Respon gerak translasi terbesar terjadi pada gerakan Surge sebesar $0,212 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. Hal tersebut terjadi karena arah datangnya gelombang adalah dari arah 0° sehingga translasi terbesar terjadi pada sumbu x seperti dalam Gambar 4.36. Gerakan rotasional terbesar terjadi pada gerak pitch yaitu sebesar $13,2 \text{ }^\circ/(\text{rad/s})$ seperti pada Gambar 4.37.



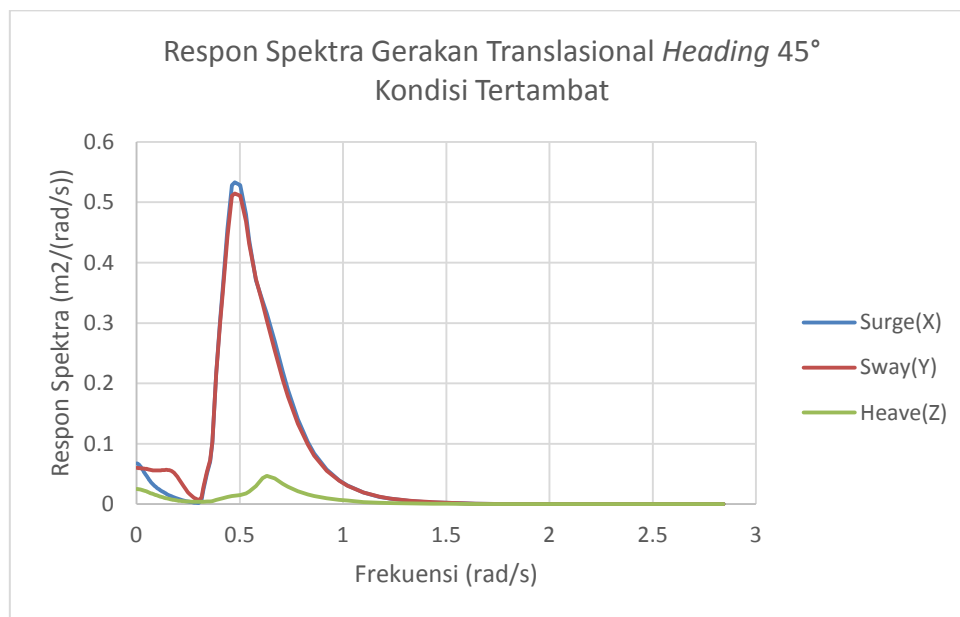
Gambar 4.36 Respon Spektra Translasi untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 0°



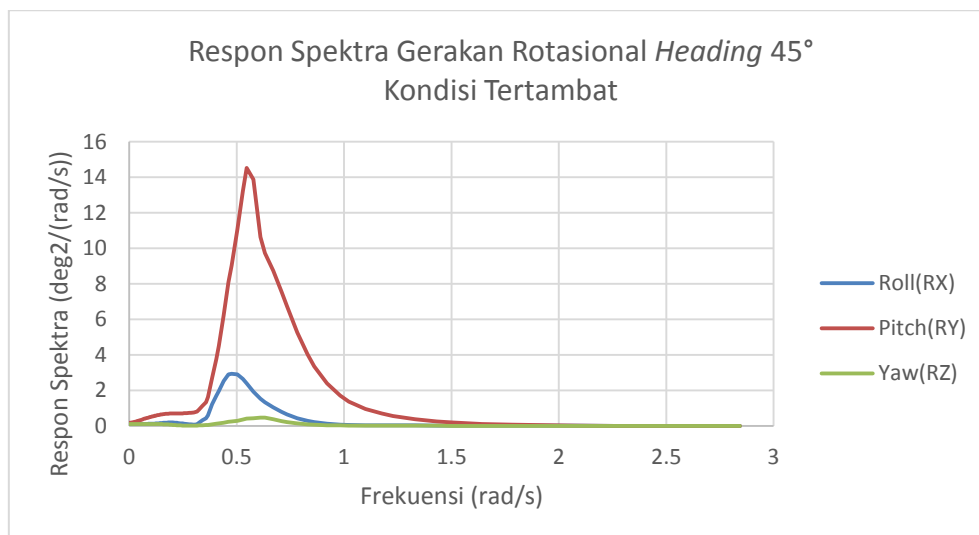
Gambar 4.37 Respon Spektra Rotasi untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 0°

- Respon Arah 45°

Pada arah pembebanan gelombang 45° respon yang terjadi pada gerak translasi dan rotasi memiliki karakteristik yang identik terhadap gerakan sumbu x dan y. Pada gerak translasi surge dan sway memiliki nilai tertinggi 0,53 m²/(rad/s) dan 0,51 m²/(rad/s). Pada respon gerak rotasi nilai terbesar terjadi pada pitch dengan nilai tertinggi 14,5 °²/(rad/s). Hal tersebut sesuai dengan grafik 4.38 dan 4.39.



Gambar 4.38 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 45°

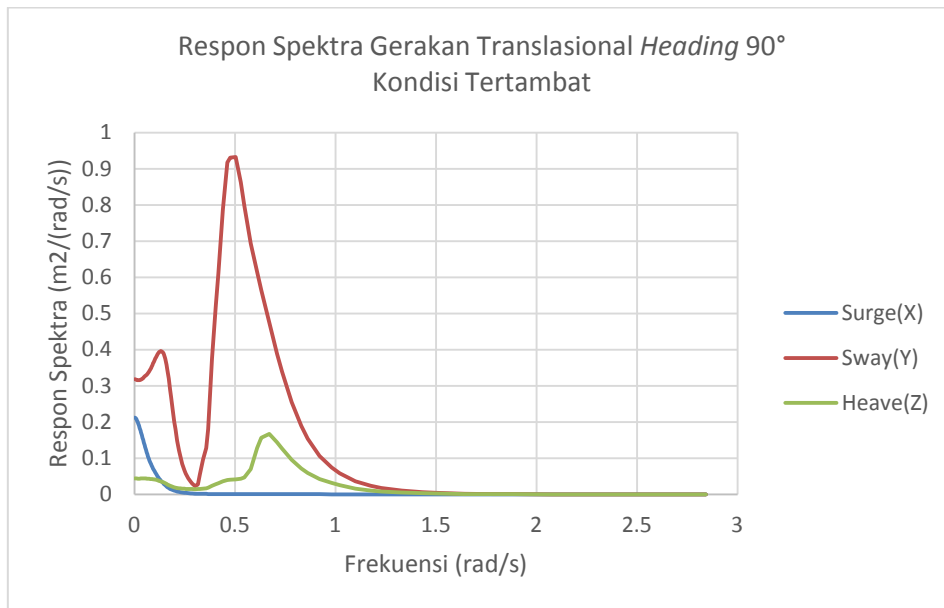


Gambar 4.39 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 45°

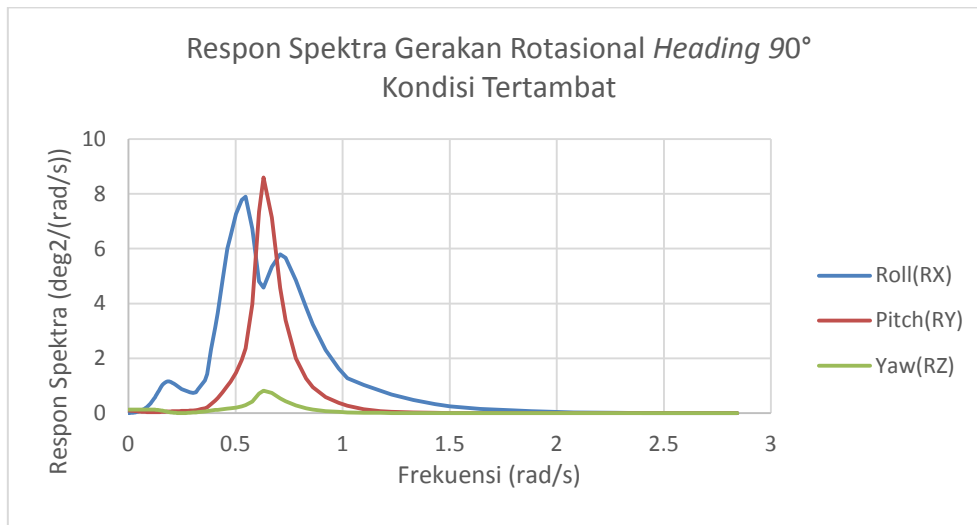
- Respon Arah 90°

Respon gerak translasi terbesar terjadi pada gerakan *Sway* sebesar 0,93 m²/(rad/s). Hal tersebut terjadi karena arah datangnya gelombang adalah dari arah 90° sehingga translasi terbesar terjadi pada sumbu y seperti dalam Gambar 4.40. Gerakan rotasiional terbesar terjadi

pada gerak *Roll* dan *Pitch* yaitu sebesar $7,89 \text{ } ^\circ/(\text{rad/s})$ dan $8,59 \text{ } ^\circ/(\text{rad/s})$ seperti pada Gambar 4.41.



Gambar 4.40 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 90°



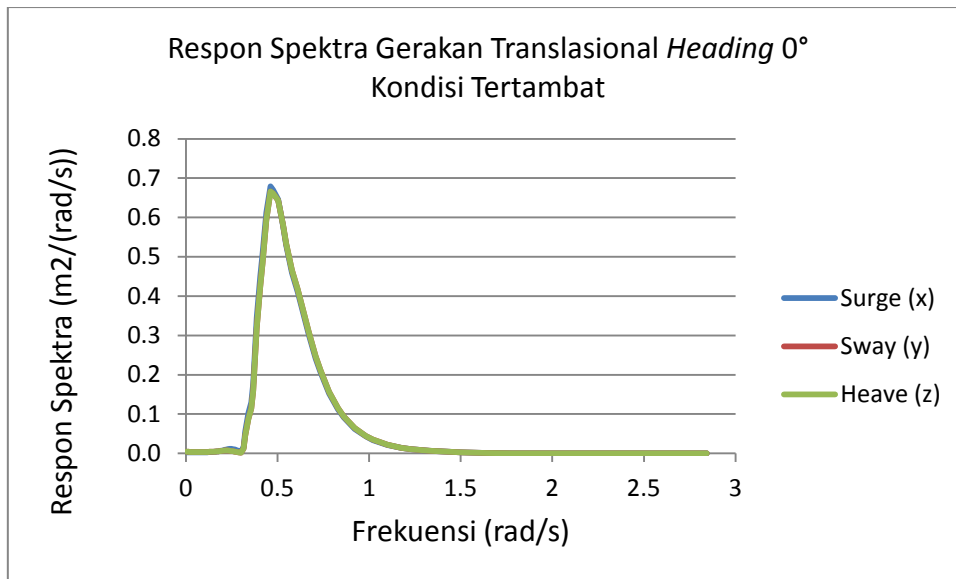
Gambar 4.41 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi *Rectangular Array* Arah 90°

4.8.2. Konfigurasi *Linear Array*

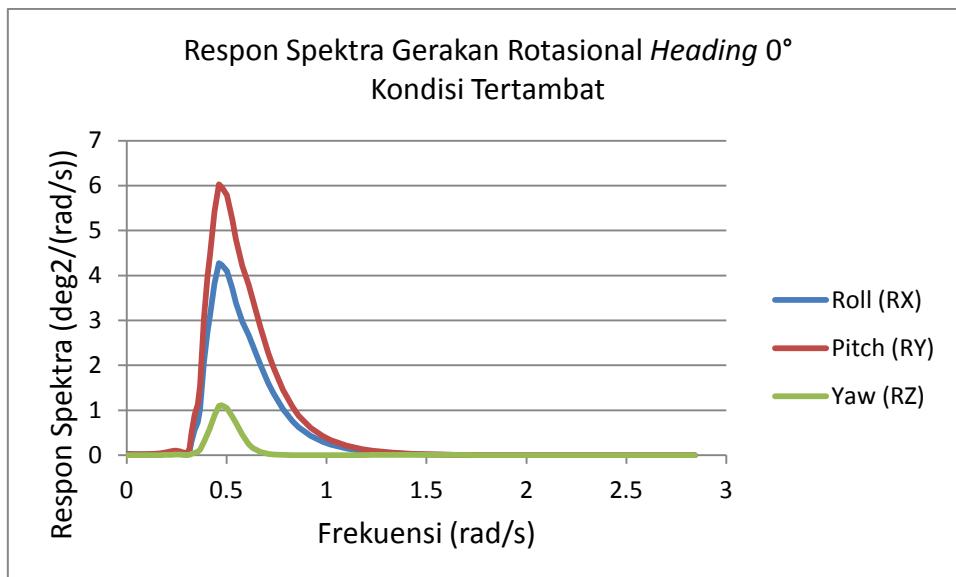
Berikut adalah respon gerakan yang terjadi pada konfigurasi mooring tipe linear array. Respon gerak ini terjadi dengan analisis spektral gelombang JONSWAP.

- Respon Arah 0°

Respon gerak translasi pada gerakan *Surge*, *Sway* dan *Heave* memiliki nilai yang hampir sama yakni sebesar $0,67 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, $0,66 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ dan $0,66 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. seperti dalam Gambar 4.42. Gerakan rotasiional terbesar terjadi pada gerak *Pitch* yaitu sebesar $6,02 \text{ } ^\circ/(\text{rad/s})$ dan gerak *Roll* $4,27 \text{ } ^\circ/(\text{rad/s})$ seperti pada Gambar 4.43.



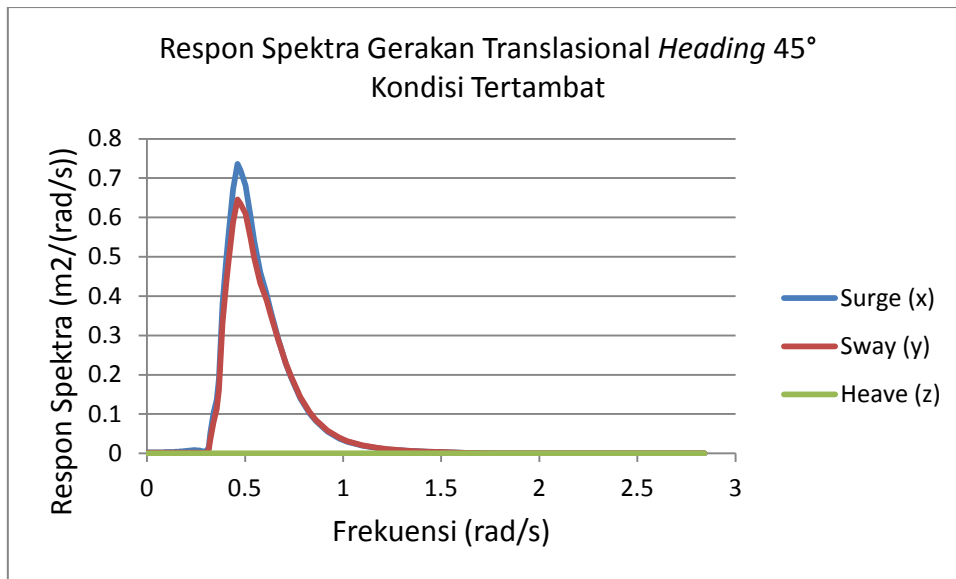
Gambar 4.42 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi *Linear Array* Arah 0°



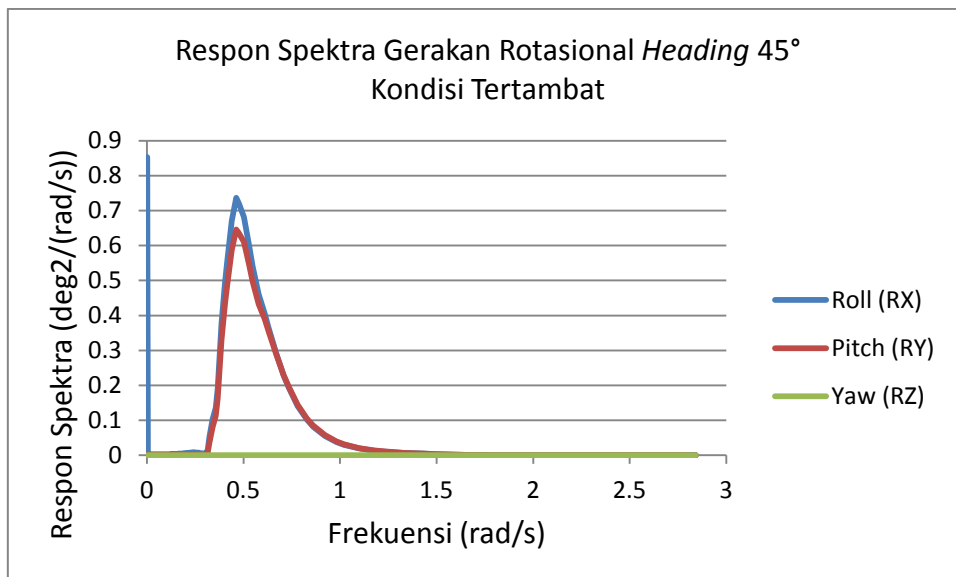
Gambar 4.43 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi *Linear Array* Arah 0°

- Respon Arah 45°

Pada arah pembebanan gelombang 45° respon yang terjadi pada gerak translasi dan rotasi memiliki karakteristik yang identik terhadap gerakan sumbu x dan y. Pada gerak translasi Surge memiliki nilai tertinggi $0,73 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ dan Sway $0,64 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. Pada respon gerak rotasi nilai terbesar terjadi pada Roll dengan nilai tertinggi $0,71 \text{ }^\circ/(\text{rad/s})$. Hal tersebut sesuai dengan grafik 4.44 dan 4.45.



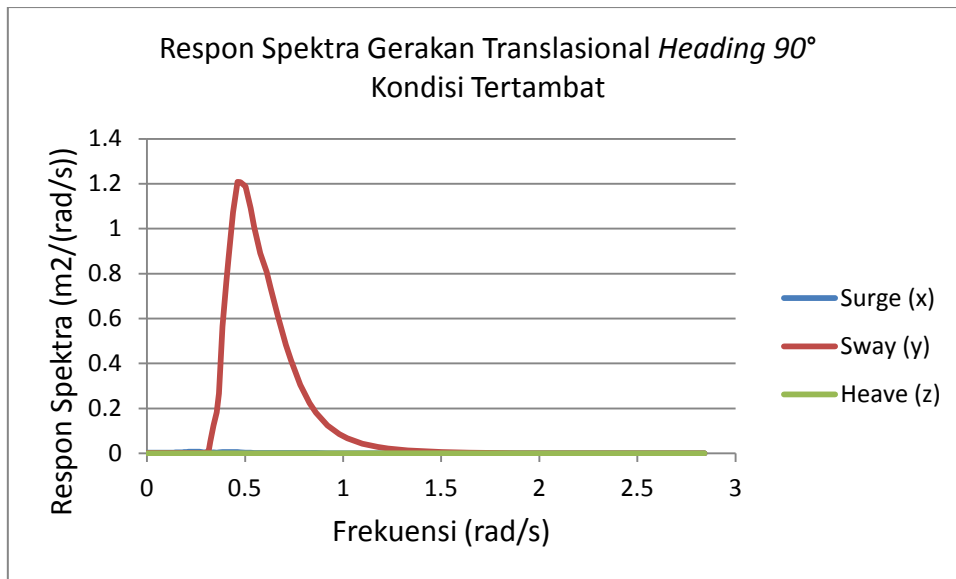
Gambar 4.44 Respon Spektra Translasional untuk Konfigurasi *Linear Array* Arah 45°



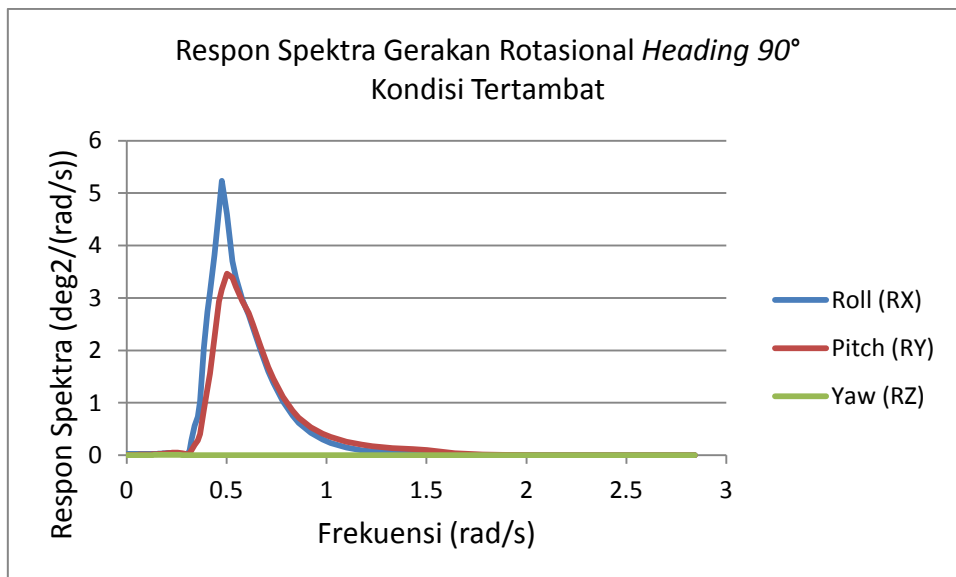
Gambar 4.35 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi *Linear Array* Arah 45°

• Respon Arah 90°

Respon gerak translasi terbesar terjadi pada gerakan *Sway* sebesar 1,20 m²/(rad/s). Hal tersebut terjadi karena arah datangnya gelombang adalah dari arah 90° sehingga translasi terbesar terjadi pada sumbu y seperti dalam Gambar 4.46. Gerakan rotasional terbesar terjadi pada gerak *Roll* yaitu sebesar 5,23 °²/(rad/s) seperti pada Gambar 4.47.



Gambar 4.46 Respon Spektra Translasional untuk Konfigurasi *Linear Array* Arah 90°



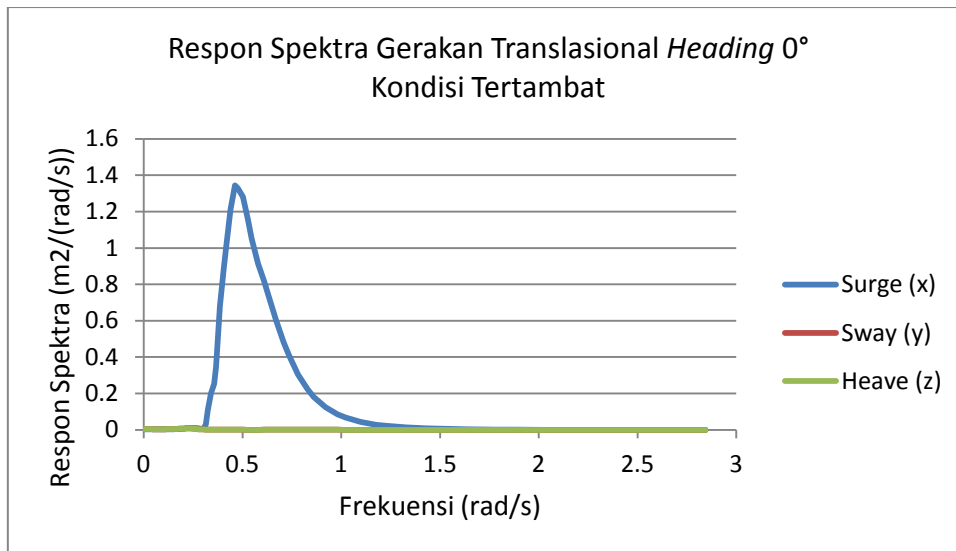
Gambar 4.47 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi *Linear Array* Arah 90°

4.8.3. Konfigurasi 4 *Points Mooring*

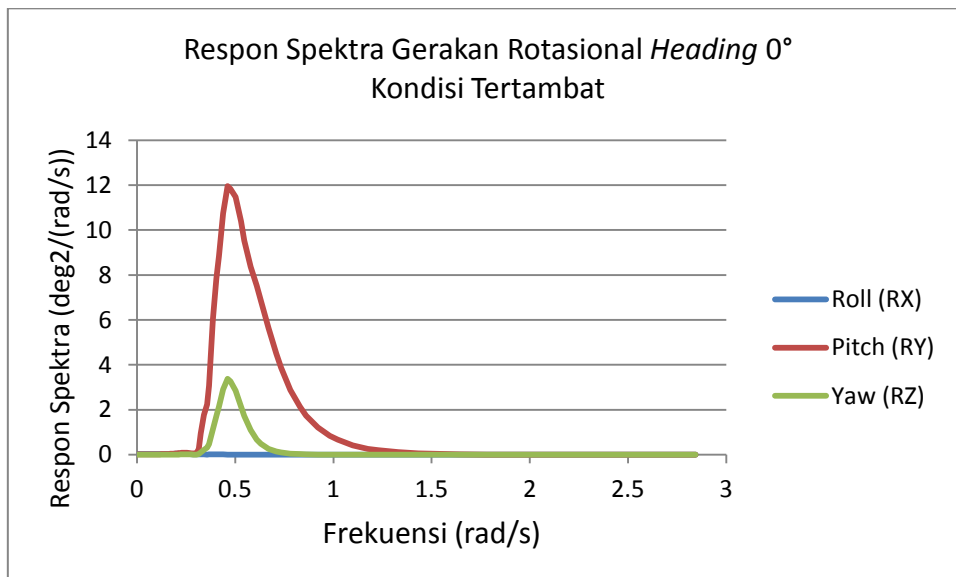
Spektra respon gerak dari konfigurasi tambat 4 points mooring dapat dilihat sesuai dengan Gambar 4.48 hingga Gambar 4.54.

- Respon Arah 0°

Respon gerak translasi terbesar terjadi pada gerakan *Surge* sebesar $1,33 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. seperti dalam Gambar 4.48. Gerakan rotasional terbesar terjadi pada gerak *Pitch* yaitu sebesar $11,95 \text{ }^\circ/(\text{rad/s})$ dan gerak *Roll* $3,38 \text{ }^\circ/(\text{rad/s})$ seperti pada Gambar 4.49.



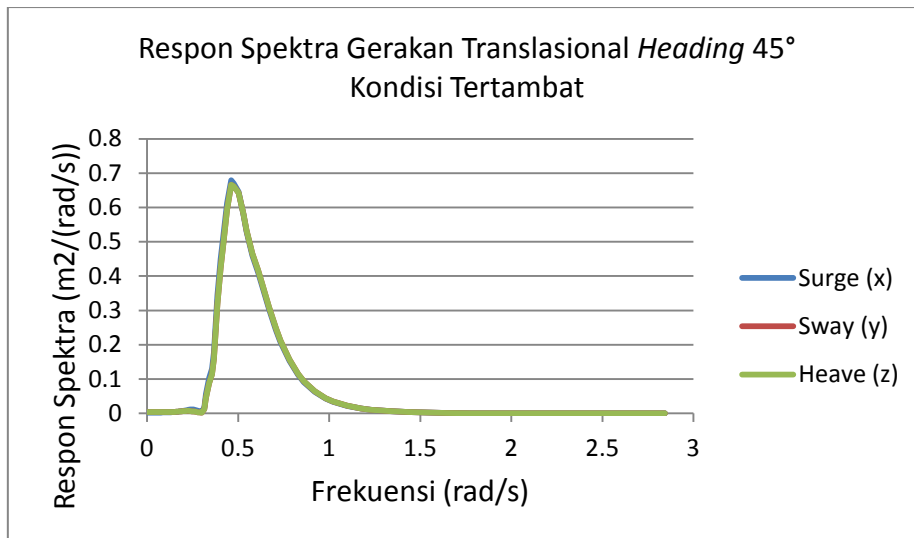
Gambar 4.48 Respon Spektra Translasional untuk Konfigurasi 4 *Point Mooring* Arah 0°



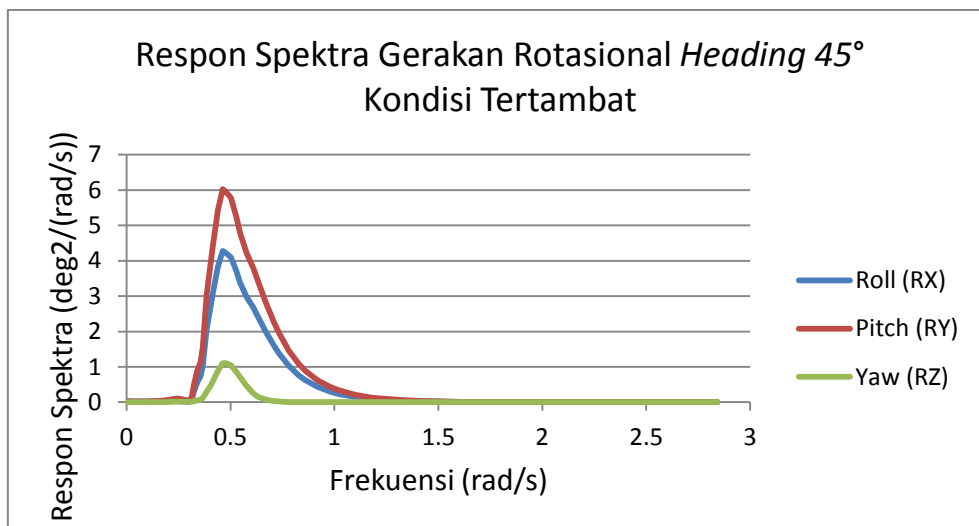
Gambar 4.49 Respon Spektra Rotasional untuk Konfigurasi 4 *Point Mooring* Arah 0°

• Respon Arah 45°

Pada arah pembebanan gelombang 45° respon yang terjadi pada gerak translasi dan rotasi memiliki karakteristik yang identik terhadap gerakan sumbu x,y dan z. Pada gerak translasi Surge memiliki nilai tertinggi 0,67 m²/(rad/s). Pada respon gerak rotasi nilai terbesar terjadi pada *Pitch* dengan nilai tertinggi 6.02 °²/(rad/s). Hal tersebut sesuai dengan Gambar 4.50 dan 4.51.



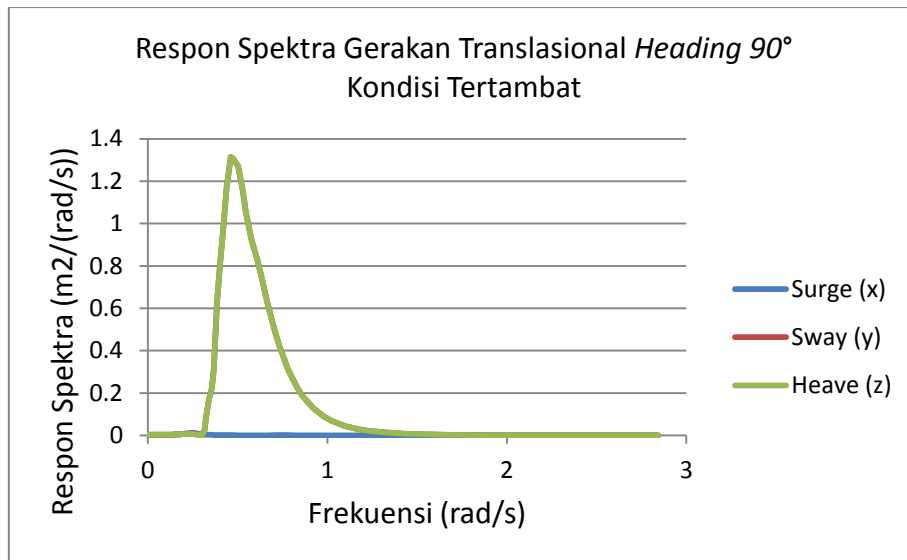
Gambar 4.50 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 45°



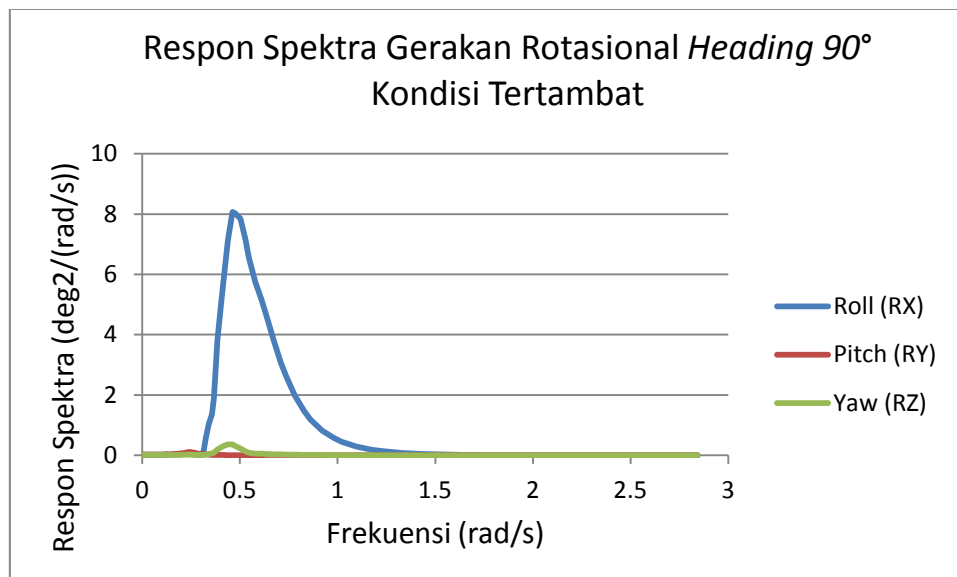
Gambar 4.51 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 45°

• Respon Arah 90°

Respon gerak translasi terbesar terjadi pada gerakan *Sway* dan *Heave* sebesar 1,32 $m^2/(rad/s)$ dan 1,30 $m^2/(rad/s)$. Hal tersebut terjadi karena arah datangnya gelombang adalah dari arah 90° sehingga translasi terbesar terjadi pada sumbu y seperti dalam Gambar 4.52. Gerakan rotasiional terbesar terjadi pada gerak *Roll* yaitu sebesar 8,06 $^{\circ}^2/(rad/s)$ seperti pada Gambar 4.53.



Gambar 4.52 Respon Spektra Translasiional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 90°



Gambar 4.43 Respon Spektra Rotasiional untuk Konfigurasi 4 Point Mooring Arah 90°

4.9. Analisa Offset dan Tension pada Mooring Line tiap Konfigurasi

Untuk mengetahui besarnya *offset* dan *tension* pada *mooring line* dilakukan *time domain analysis*. Analisis *time domain* ini dilakukan mulai detik 0 hingga 10800 atau selama tiga jam sesuai dengan rekomendasi DNVGL OS-E301. Analisa ini dilakukan satu persatu untuk masing-masing konfigurasi sistem tambat meliputi *rectangular array*, *linear array*, dan *4 points mooring*. Tiap konfigurasi sistem tambat tersebut dianalisa dengan satu struktur *aquaculture model FarmOcean*.

4.9.1. Heading 0°

4.9.1.1. Offset

Analisa *offset* dilakukan untuk frekuensi gelombang, frekuensi rendah, dan posisi aktual. Hasil analisa dalam perangkat lunak ANSYS Aqwa didapatkan *offset* dari struktur dengan arah gelombang 0° seperti Tabel 4.4. Nilai *offset* terbesar terjadi pada konfigurasi 4 *points mooring*.

Tabel 4.4 *Offset Output ANSYS Aqwa*

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	<i>Max offset</i> (m)
<i>Rectangular array</i>	3.27
<i>Liniear array</i>	4.52
<i>4 point mooring</i>	6.58

4.9.1.2. Tension

Tension pada *mooring line* untuk struktur *aquaculture* model *FarmOceandian* analisa untuk masing-masing *cable*. Keluaran analisa ini adalah *tension* maksimum pada *heading* 0°. Hasil analisa *tension* dari ANSYS Aqwa dapat dilihat pada Tabel 4.5. *Tension* terbesar terjadi pada *Cable 4* dalam konfigurasi 4 *Points Mooring* sebesar 854,5 kN.

Tabel 4.5 *Tension Maksimum yang Terjadi pada Tiap Cable Heading 0°*

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	<i>Max Tension(KN)</i>						Minimum Breaking Force (MBF)(KN)
	<i>Cable 1</i>	<i>Cable 2</i>	<i>Cable 3</i>	<i>Cable 4</i>	<i>Cable 5</i>	<i>Cable 6</i>	
<i>Rectangular array</i>	384,2	342,6	285,5	557,5	503,1	409,3	2231
<i>Liniear array</i>	347,3	315,0	305,6	481,7	589,6	366,8	
<i>4 point mooring</i>	365,0	320,0	306,9	854,5	-	-	

4.9.2. Heading 45°

4.9.2.1. Offset

Analisa *offset* dianalisa kembali menggunakan ANSYS Aqwa untuk setiap konfigurasi *mooring* dengan arah kombinasi gelombang datang dari arah 45°. Hasil *output* berupa posisi *offset* dari struktur *Farmocean* yang dianalisa seperti dalam Tabel 4.6. Nilai *offset* terbesar terjadi pada konfigurasi *Liniear array*.

Tabel 4.6 *Offset Output ANSYS Aqwa Arah 45°*

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	<i>Max offset</i> (m)
<i>Rectangular array</i>	2.98
<i>Liniear array</i>	5.93
<i>4 point mooring</i>	5.13

4.9.2.2. *Tension*

Analisa *tension* yang sebelumnya dilakukan untuk *mooring line* pada pembebanan dari arah *heading* 0° dilakukan kembali dengan arah *heading* 45°. Hasil analisa menggunakan perangkat lunak ANSYS Aqwa memperoleh hasil *tension* tiap *mooring cable* seperti pada Tabel 4.7. *Tension* terbesar terjadi pada *Cable 5* dalam konfigurasi *Rectangular array* sebesar 627,5 kN.

Tabel 4.7 *Tension Maksimum yang Terjadi pada Tiap Cable Heading 45°*

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	<i>Max Tension(KN)</i>						Minimum Breaking Force (MBF)(KN)
	<i>Cable 1</i>	<i>Cable 2</i>	<i>Cable 3</i>	<i>Cable 4</i>	<i>Cable 5</i>	<i>Cable 6</i>	
<i>Rectangular array</i>	409,5	422,7	321,3	627,5	520,0	379,3	2231
<i>Liniear array</i>	390,2	400,5	321,8	317,6	445,0	571,3	
<i>4 point mooring</i>	437,4	531,0	326,1	320,5	-	-	

4.9.3. *Heading 90°*

4.9.3.1. *Offset*

Analisa *offset* dilakukan kembali untuk arah *heading* gelombang 90°. Semua konfigurasi *mooring* dianalisa sehingga mendapatkan hasil seperti Tabel 4.8. Nilai *offset* terbesar terjadi pada konfigurasi *4 point mooring*.

Tabel 4.8 *Offset Output ANSYS Aqwa Heading 90°*

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	<i>Max offset</i> (m)
<i>Rectangular array</i>	2.49
<i>Liniear array</i>	3.72
<i>4 point mooring</i>	4.23

4.9.3.2. *Tension*

Arah pembebanan terakhir dilakukan dengan melakukan analisa tegangan tali pada *mooring line*. Sama seperti pada analisa sebelumnya analisa *tension* pada *mooring line* dilakukan kembali untuk arah 90°. Sehingga memperoleh hasil seperti pada Tabel 4.9. *Tension* terbesar terjadi pada *Cable 2* dalam konfigurasi *4 Point Mooring* sebesar 854,5 kN.

Tabel 4.9 *Tension* Maksimum yang Terjadi pada Tiap *Cable Heading* 90°

Jenis konfigurasi mooring	Max Tension(KN)						Minimum Breaking Force (MBF)(KN)
	Cable 1	Cable 2	Cable 3	Cable 4	Cable 5	Cable 6	
Rectangular array	384,2	342,6	285,5	557,5	503,1	409,3	2231
Liniear array	347,3	315,0	305,6	481,7	589,6	366,8	
4 point mooring	365,0	320,0	306,9	854,5	-	-	

4.10. Analisa Perhitungan DNVGL OS-E301 kriteria ULS

Untuk kriteria ULS terdapat *safety factor* untuk *class 1* dan *class 1*. Dalam analisa tegangan pada tugas akhir ini *class* yang digunakan adalah *class 1* karena struktur *aquaculture* pada umumnya berdekatan terhadap keramba lain. Cek kekuatan tali tambat sesuai DNVGL OS-E301.

4.10.1. Hasil Faktor Keselamatan Konfigurasi Rectangular Array

Analisa tiap *cable* dengan memperhitungkan perbandingan antara kekuatan *mooring line* dengan *tension* yang terjadi menghasilkan nilai *u* seperti Tabel 4.10 di bawah ini. Nilai maksimum faktor *u* untuk konfigurasi *rectangular array* sebesar 0.63 pada *cable 4*.

Tabel 4.10 Nilai Faktor *u* Tiap *Mooring Line* Konfigurasi *Rectangular Array*

Cable no.	<i>U</i>
Cable 1	0,45
Cable 2	0,56
Cable 3	0,40
Cable 4	0,63
Cable 5	0,52
Cable 6	0,46

4.10.2. Hasil Faktor Keselamatan Konfigurasi Linear Array

Analisa tiap *cable* dengan memperhitungkan perbandingan antara kekuatan *mooring line* dengan *tension* yang terjadi menghasilkan nilai *u* seperti Tabel 4.11. Nilai maksimum faktor *u* untuk konfigurasi *linear array* sebesar 0.61 pada *cable 2*.

Tabel 4. 11 Nilai Faktor *u* tiap *Mooring Line* pada Konfigurasi *Linear Array*

Cable no.	U
Cable 1	0,42
Cable 2	0,61
Cable 3	0,53
Cable 4	0,48
Cable 5	0,59
Cable 6	0,57

4.10.3. Hasil Faktor Keselamatan Konfigurasi 4 *Points Mooring*

Analisa tiap *cable* dengan memperhitungkan perbandingan antara kekuatan *mooring line* dengan *tension* yang terjadi menghasilkan nilai u seperti Tabel 4.12. Perhitungna nilai u dibawah ini dapat dilihat pada lampiran. Nilai maksimum faktor u untuk konfigurasi 4 *Points Mooring* sebesar 0.86 pada *cable* 4.

Tabel 4.12 Nilai Faktor u Tiap *Mooring Line* pada Konfigurasi 4 *Points Mooring*

Cable no.	u
Cable 1	0,45
Cable 2	0,78
Cable 3	0,53
Cable 4	0,86

4.11. Panjang Total *Mooring Line*

Dalam menentukan konfigurasi yang paling baik untuk diterapkan maka faktor ekonomis juga perlu dipertimbangkan. Pada Tugas Akhir ini penulis mempertimbangkan faktor panjang yang berbanding lurus dengan harga *mooring line*. Panjang total *mooring cable* tiap konfigurasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Total *Mooring Cable* yang Digunakan Tiap Konfigurasi

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	Panjang 1 <i>calbe</i> (m)	Jumlah kabel	Totalpanjang kabel (m)
<i>Rectangular array</i>	54	6	324
<i>Liniear array</i>	54	6	324
<i>4 point mooring</i>	54	4	216

4.12. Penentuan Konfigurasi Paling Efisien

Dari hasil analisa Tugas Akhir ini secara keseluruhan maka dapat disederhanakan dalam pemilihan konfigurasi yang paling efektif. Dalam menentukan efektif tidaknya suatu sitem tambat pada tugas akhir ini diambil beberapa parameter yaitu *offset*, *tension*, panjang kabel dan nilai faktor keselamatan DNVGL OS-E301. Nilai terbaik dari tiap parameter terdapat dalam kotak hijau dalam Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perbandingan Konfigurasi *Mooring* Paling Efektif

Jenis konfigurasi <i>mooring</i>	<i>Offset Max</i> (m)	<i>Tension Max</i> (KN)	Panjang Total Kabel (m)	Faktor Keselamatan <i>u</i>
<i>Rectangular array</i>	3.27	627,5	324	0,63
<i>Liniear array</i>	5.93	605,0	324	0,61
<i>4 point mooring</i>	6.58	854,5	216	0,86
Unggul	<i>Rectangular array</i>	<i>Liniear array</i>	<i>4 point mooring</i>	<i>Liniear array</i>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari pengerjaan Tugas Akhir Analisa sistem *mooring* dan olah gerak struktur *aquaculture* lepas pantai model *farmocean* untuk perairan dalam Indonesia ini dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Konfigurasi *4 points mooring* paling besar mengalami *tension mooring line* paling besar yaitu 854,5 kN. Pada konfigurasi *linear array* *tension mooring line* terbesar 605 kN. Untuk konfigurasi *rectangular array* *tension* terbesar terjadi sebesar 627,5 kN.
2. *Offset* maksimum yang terjadi pada konfigurasi *4 points mooring* sebesar 6,58 m, sedangkan pada *linear array* *mooring* terjadi *offset* sebesar 5,9 m. Pada konfigurasi *rectangular array* *offset* terbesar yaitu 3,27 m.
3. Konfigurasi terbaik adalah *linear array* dengan *tension cable* terbesar 605 kN dan memiliki faktor keselamatan *u* berdasarkan DNVGL OS-E301 terbesar 0,61.

5.2. Saran

Beberapa saran yang diajukan oleh penulis untuk penelitian lebih lanjut antara lain :

1. Analisa menggunakan perangkat lunak dalam analisa yang mampu memodelkan jaring secara khusus.
2. Menganalisa kekuatan sistem tambat pada sistem *aquaculture* yang lebih kompleks dengan jumlah *cage* lebih dari satu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

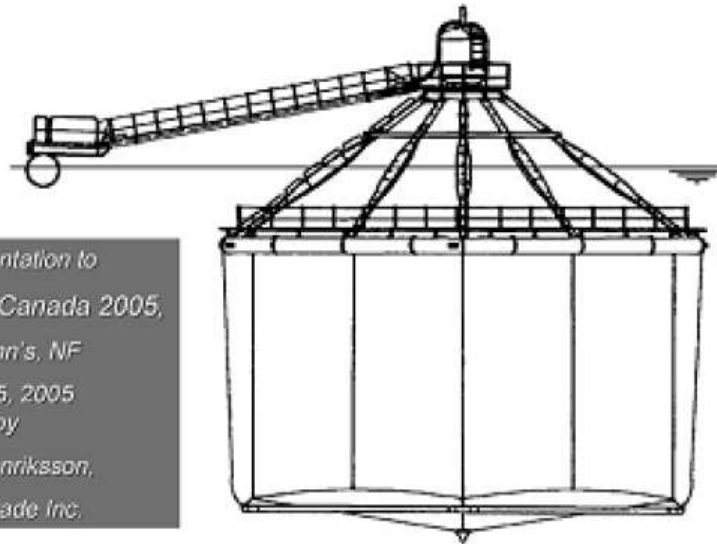
DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. (2000). "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform – Working Stress
API RP 2SK. 2005. "*Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*".
American Petroleum Institute. USA.
- Arianti, E. 2013. "Analisa Pengaruh Surface Buoy, Submerged Buoy Dan Tethered Submerged Buoy Terhadap Kinerja Sistem Tambat Semi-Submersible "Essar Wildcat". Surabaya : FTK-ITS.
- Aziz, M. H., 2015 "Desain Aquaculture Dengan Menggunakan Pipa Hdpe Untuk Budidaya Ikan Baronang". Surabaya : FTK-ITS.
- Bardach, J.E., Ryther, J.H., dan W.L.Mc. Larney. 1972. "*Aquaculture*". Birmingham, Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University.
- Beveridge.1996."Pengaruh Gelombang untuk struktur akuakultur".Bali: Universitas Udayana
- Chakrabarti, S.K., 1987. "*Hydrodynamics of Offshore Structures*", USA: Computational Darch, Adrian, Ronald, Jonson. 2015. "*Engineering Procedures for Design and Analysis of Submersible Fish Cages with Copper Netting for Exposed Marine Environment*". Uneversity of New Hampsire, Durham.
- Djatkiko, E. B., 2012. "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak". Surabaya: ITS Press.
- DNVGL-OS-E301.2015. "Offshore Standard".Norway
- FAO. 1995. *Code of Conduct for Responsible Fisheries*.FAO. Fisheries Technical Paper 457. Rome, FAO
- FAO. 2005. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries Technical Paper 457. Rome, FAO.
- FAO. 2015. "*Aquaculture operations in floating HDPE cage*". Saudi Arabia: *Ministry Of Agriculture Of The Kingdom Of Saudi Arabia*.
- Farmocean.se, 2017. Offshore Cage, (Available at : <http://www.farmocean.se/indexA.htm>)
- Fredrikson, Jundon, Robinson, Igor, Michael, Barbaros. 2004. "*The design and analysis of a four-cage grid mooring for open ocean*

- aquaculture*". Department of Mechanical Engineering, University of New Hampshire, Durham.
- Ignatius, B., 2016 "*Cage mooring system*". India :*Central Marine Fisheries Research Institute*.
- Mochamad, 2016. "*Budidaya Lobster Di Perairan Dalam*".Bali : Universitas Udayana
- Mulyadi, Rahmad, Muhammad, Bagus, Yahya. 2016. "*Pengembangan Desain Akuakultur Ramah Lingkungan untuk Budidaya Lobster*". Surabaya : LPPM-ITS.
- Rezha Afriyansyah dan Wasis Dwi Aryaw. 2013. "Perancangan Buoy Mooring System Untuk Loading – Unloading Aframax Tanker Di Terminal Kilang Minyak Balongan". Surabaya : FTK-ITS.
- Rubino.2008. "*Offshore Aquaculture in the United States: Economic Considerations, Implications & Opportunities*". United States. National Oceanic & Atmospheric Administration.
- Safudin. 2000. "*ANALISIS RESPON DINAMIS STRUKTUR SPAR BUOY*". Bandung : FTSP-ITB.
- Scott, D.B.C. & Muir, J.F. 2000. Offshore cage systems – a practical overview.In: *Mediterranean Offshore Mariculture*. (Eds. J.F. Muir and Basurco, B.), pp. 79-89. Options Mediterraneanes, Series B, No. 30. CIHEAM, Zaragoza.
- Shainee, H. Ellingsen, B.J. Leira, A. Fredheim. 2013. "*Design Theory In Offshore Fish Cage Designing*". Trondheim, Norway
: Department of Marine Technology, NTNU.
- Siswanto, S. 2013. "Analysis On The Variation Of Spread Angle Configurations For The Spread Mooring System Of Semi-Submersible "Essar Wildcat". Surabaya : FTK-ITS.
- Sulaiman, Mage, Bahrain, Kader ,Adi, Pauzi. 2013. "Mooring Analysis For Very Large Offshore Aquaculture Ocean Plantation Floating Structure". Malaysia : Faculty of Mechanical Engineering, Department of Marine Technology, University Technology Malaysia, UTM,
- WAS Aquaculture. 2009. "*Mooring system of aquaculture*."
- Yuni, Wibowo. 2017. "*Ansys Aqwa Training*".Surabaya :BPPT Hidrodinamika Surabaya (www.isw.co.id) diakses pada 12 Juii 2018

LAMPIRAN A
Data dan Model Struktur *Farmoccean*
Semisubmersible
Offshore Aquaculture

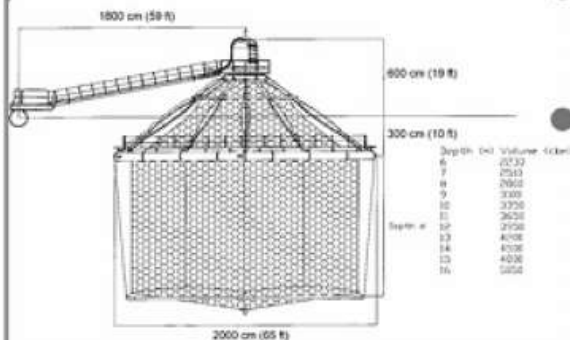
Semi-submersible offshore cages



*A Presentation to
Aquaculture Canada 2005,
St. John's, NF
July 5, 2005
by
Lars Henriksson,
Nordtrade Inc.*

**FARMOCEAN
INTERNATIONAL**

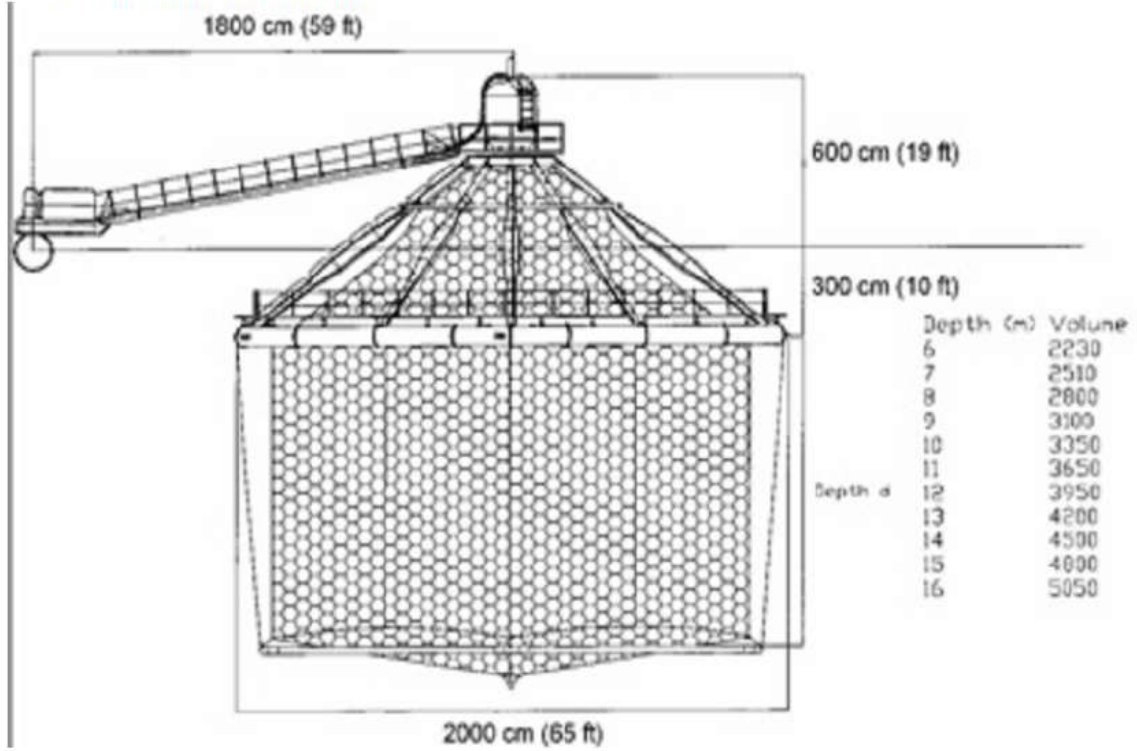
Farmocean Dimensions



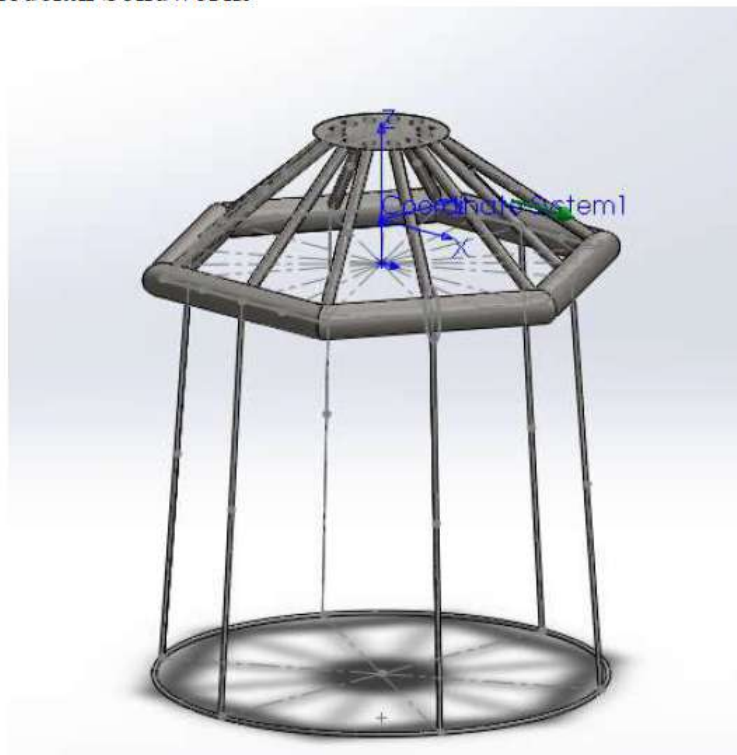
- Diameter
 - 20 m (65 ft)
- Depth required
 - min 25 m (80 ft)
 - (Shallower water means shorter net and thus less volume)
- Ideal depth
 - >40 m (>110 ft)

**FARMOCEAN
INTERNATIONAL**

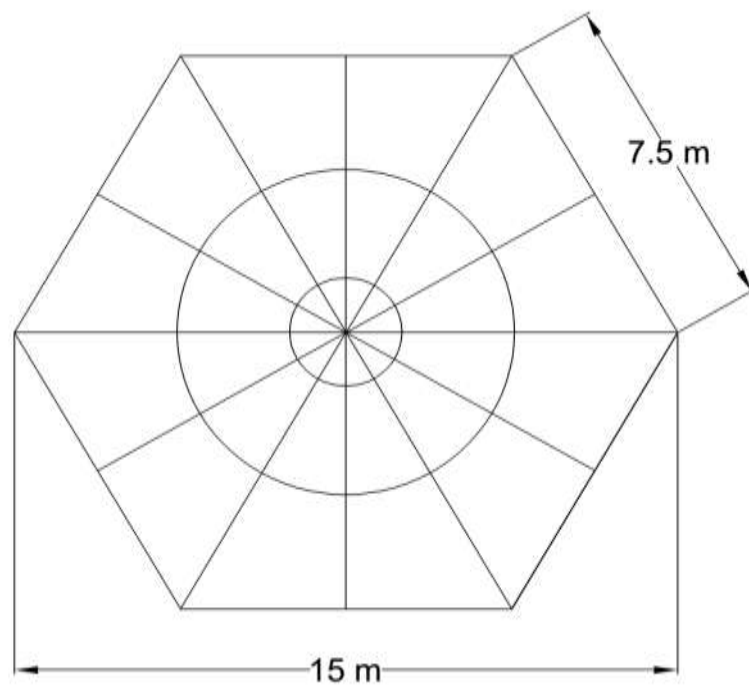
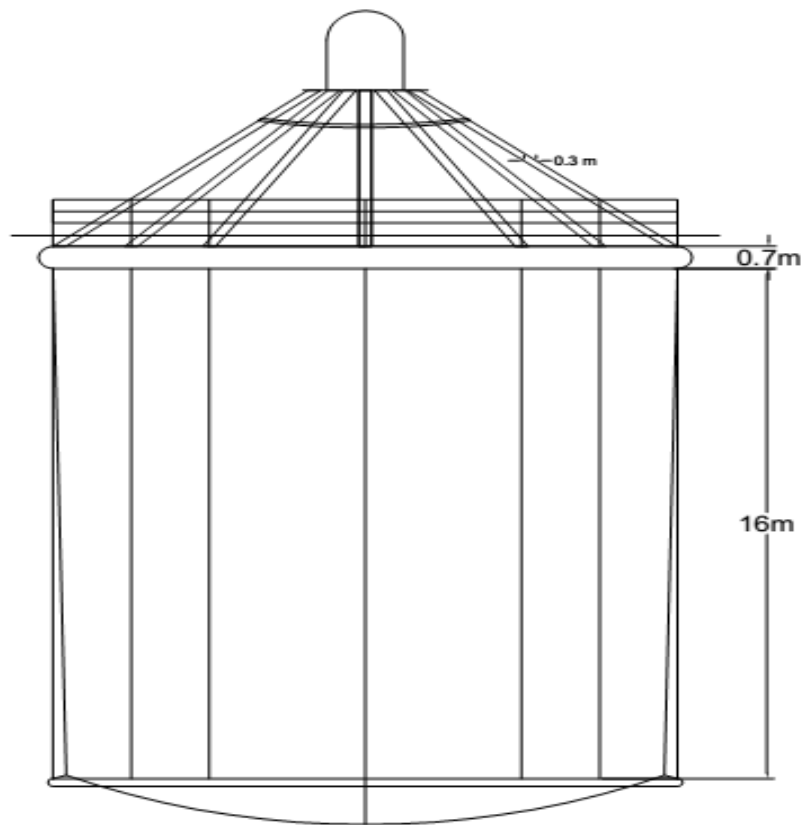
- **Dimensi Asli Struktur**



- **Permodelan Solidworks**

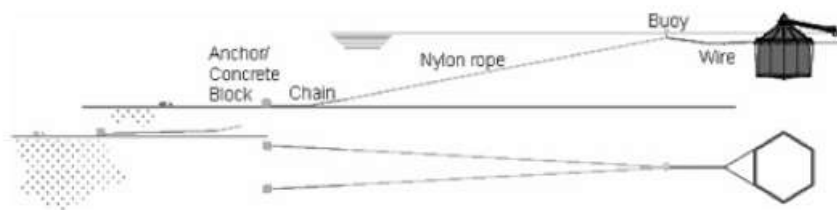


- Gambar Desain Struktur *Aqua culture*



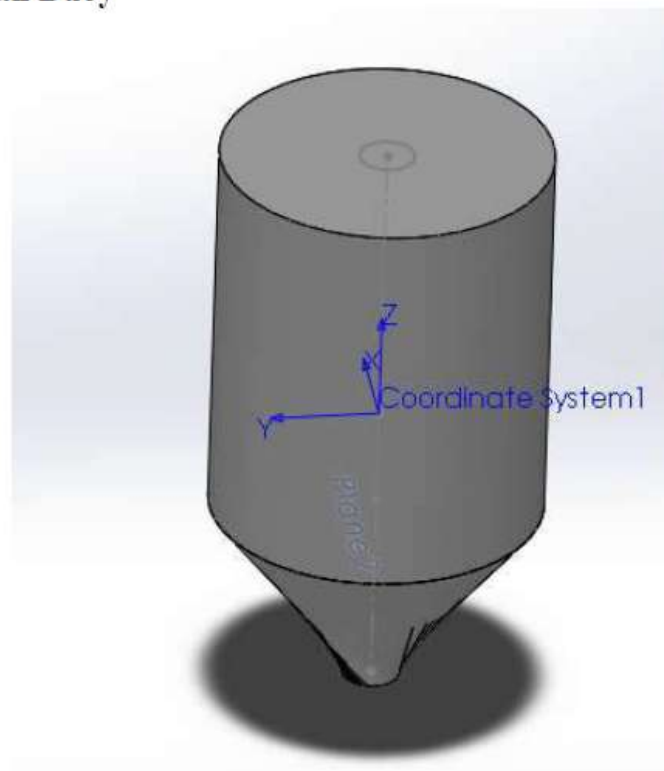
- **Mooring line pada struktur**

3 way 6 point mooring system



FARMOCEAN
INTERNACIONAL

- **Permodelan Buoy**



A couple of definitions



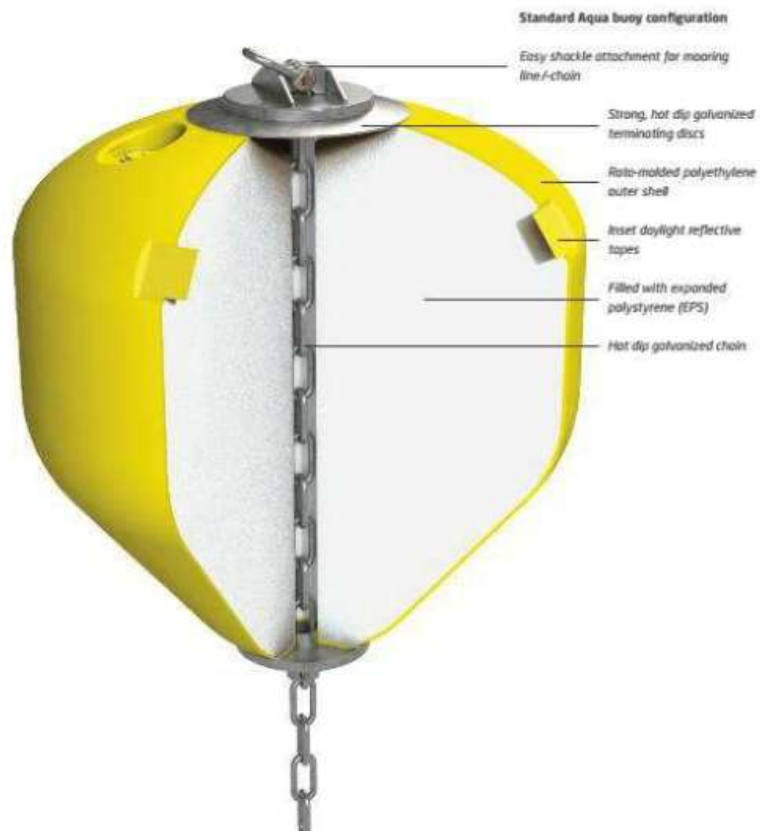
Operational position



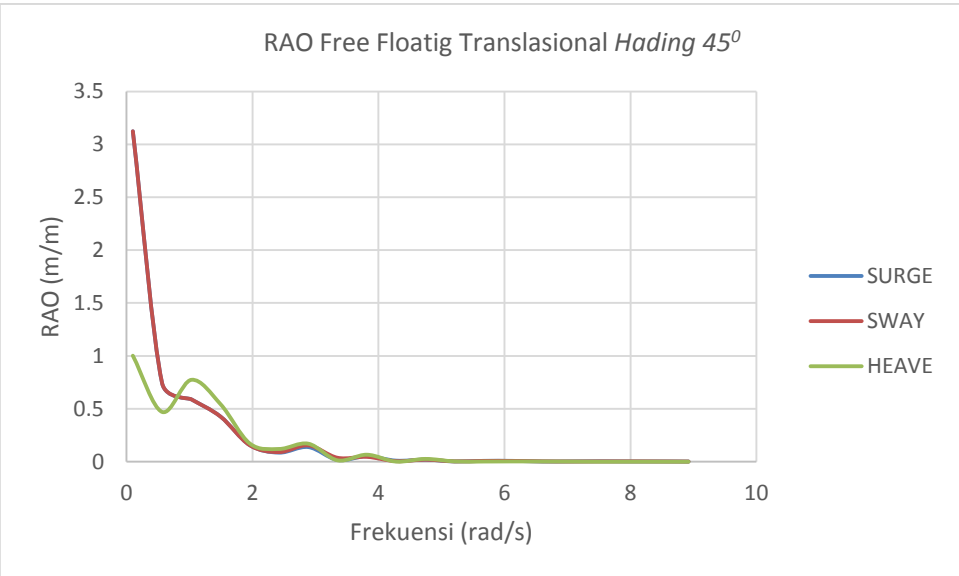
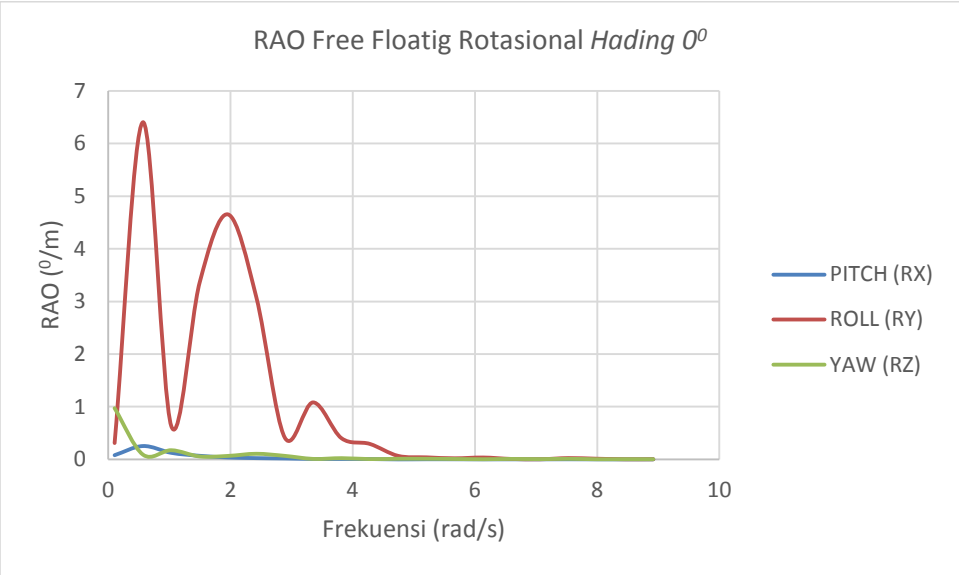
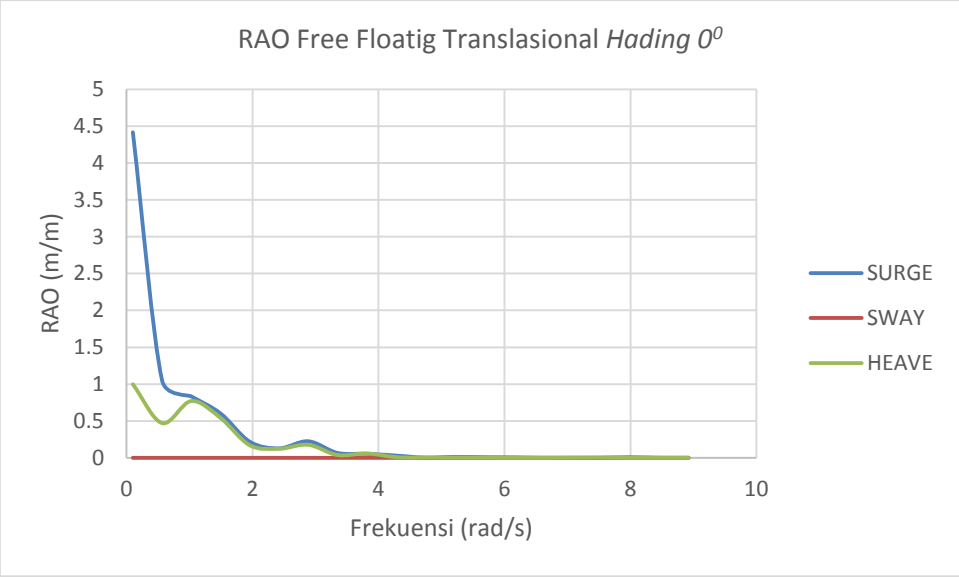
Service position

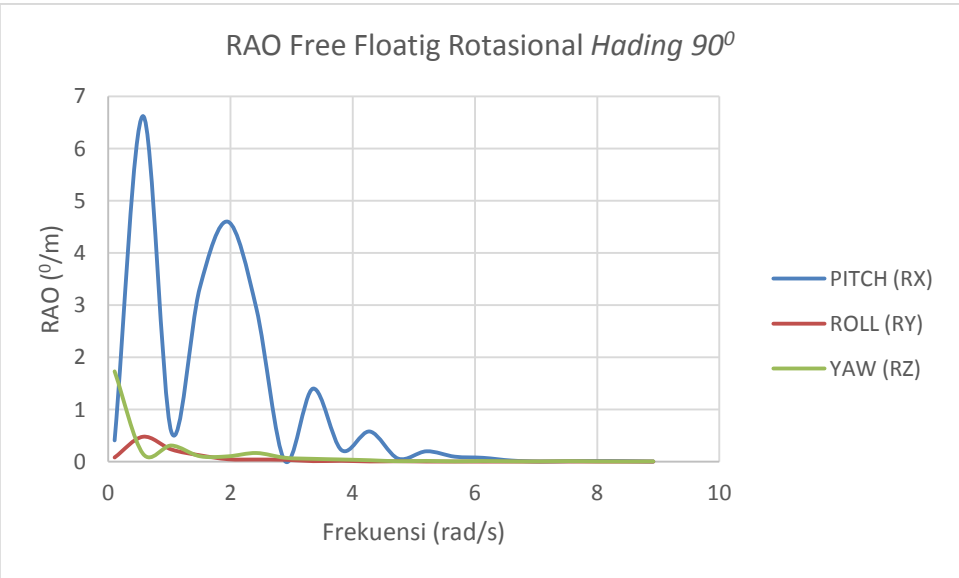
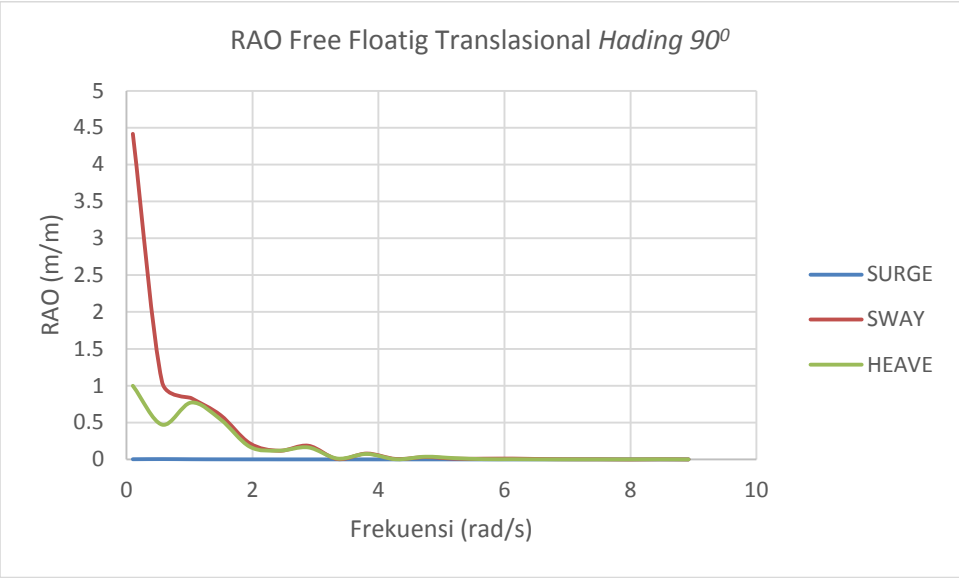
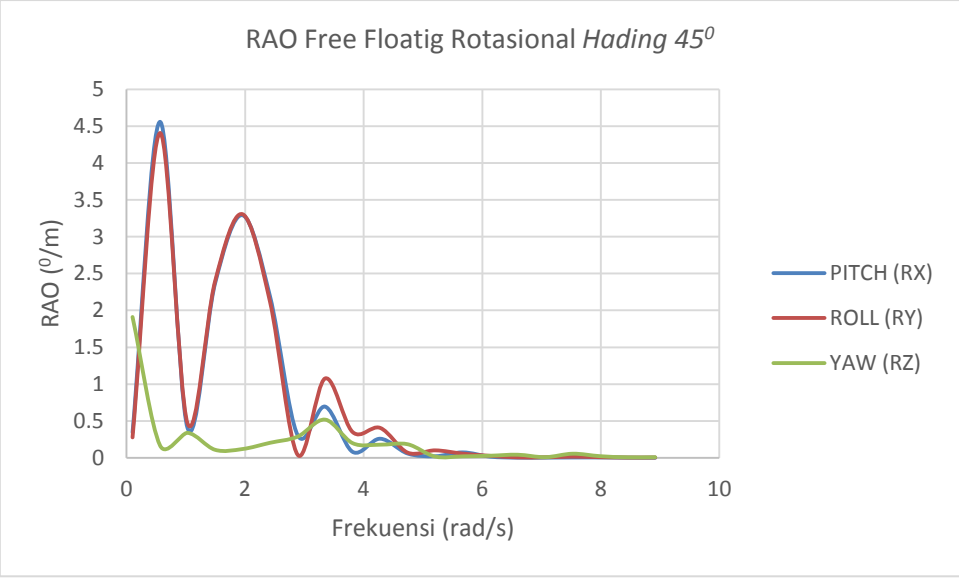
FARMOSTEAL
INTERNATIONAL

- Buoy Tipe Aqua 850



LAMPIRAN B
Hasil RAO Free Floating Struktur
Farmocean Semisubmersible
Offshore Aquaculture

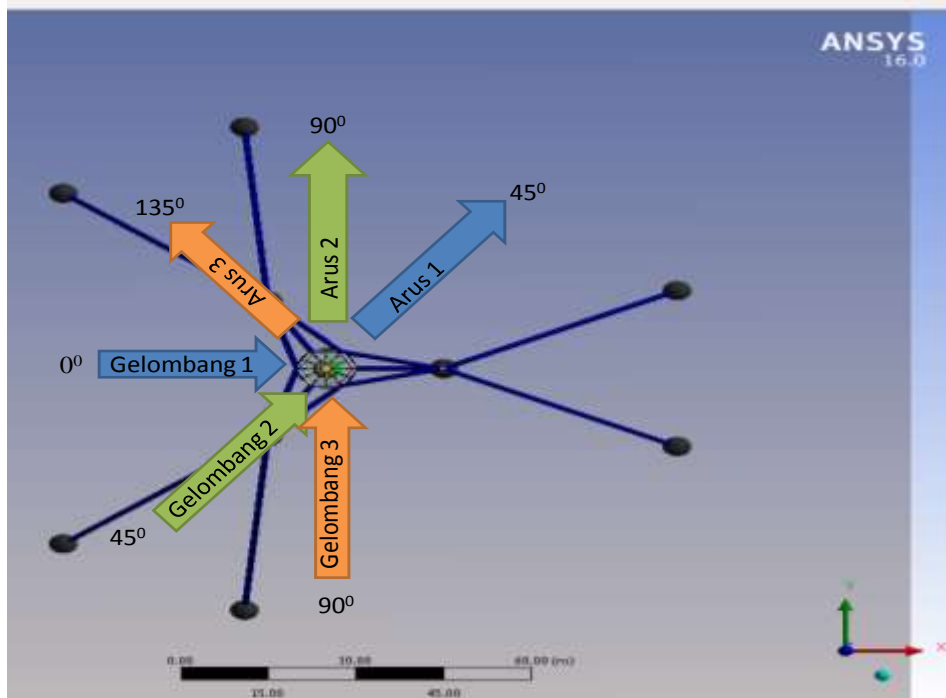




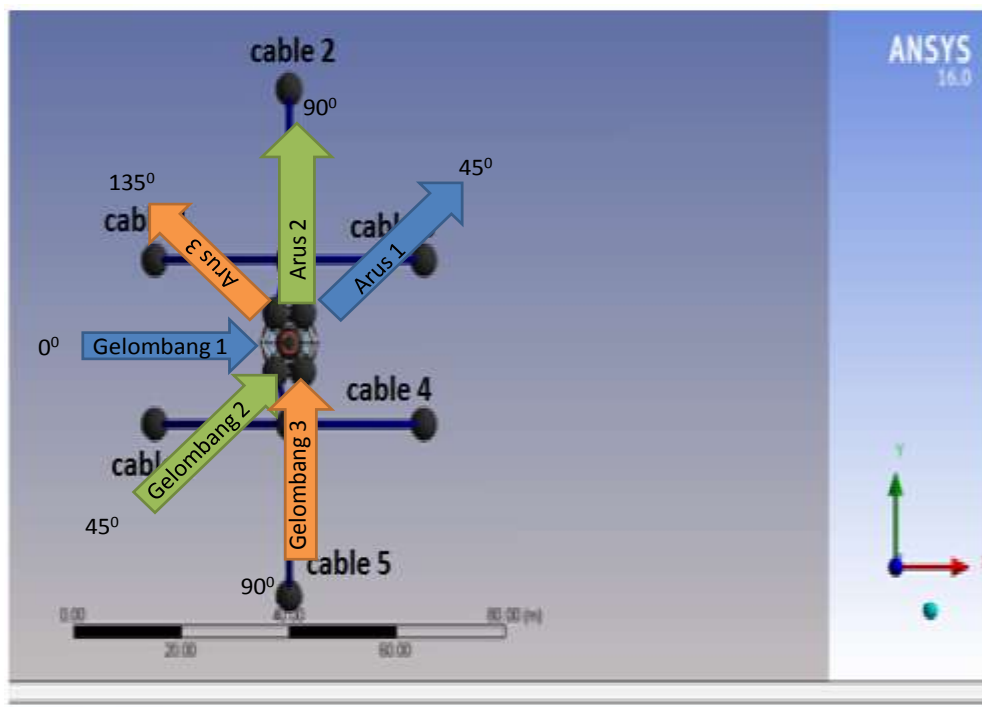
LAMPIRAN C
Skema Pembebanan pada Struktur

Pembebanan lingkungan (Heading) pada struktur

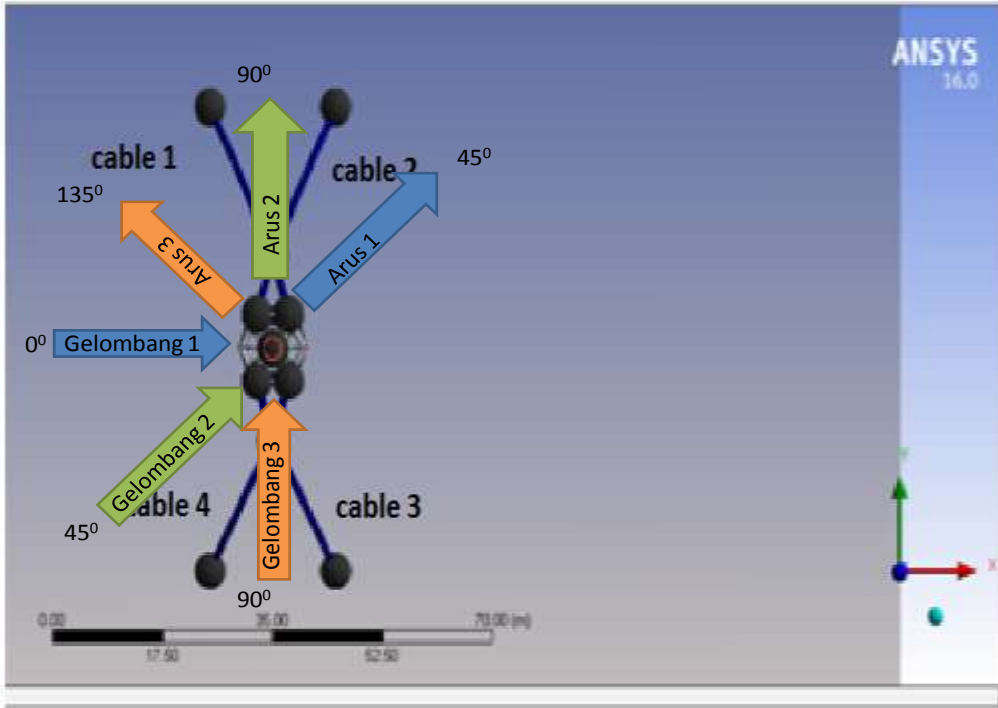
- Konfigurasi Rectangular Array



- Konfigurasi Linear Array



- Konfigurasi 4 Point Mooring



LAMPIRAN D
Perhitungan Berat dan Buoyancy

Beban			
Live Load	200kg	Jumlah Brace	12Brace
Feeds Load	2000kg		
Total Load	2200kg		2,2Ton
Load tiap brace	$\frac{\text{Total Load}}{\text{Jumlah Brace}}$	=	183,3333333 kg
		Sinker	
OD	0,1m	Diameter Lengkung	10m
L	31,4m	Thickness	0,010m
ID	0,08095m	Density	7850kg/m3
V	0,08496751m3	Berat	666,995kg 0,66699ton

Sinker Rigid			
OD	0.1 m	Diameter Lengkung	10 m
L	31.4 m		
		Density	7850 kg/m3
V	0.24649 m3	Berat	1934.947 kg 1.934947 ton

Slring wire rope sling 6 x 19 EIP, IWRC					
OD	2 in	0.0508 m			
L	10 m	V	0.020258 m3		
Density	7850 kg/m3	Berat	954.1529 Kg		
Jumlah	6		0.954153 ton		
Bouyancy	124.5868 kg				
	0.124587 ton				

Jaring		Berat	0.29131447 ton
		Buyoancy	0.357303338 ton

Bracing 1

OD=	9.625 in	0.2445 m	24 cm
Thickness=	0.342 in	0.009 m	0.87 cm
d/t<40			
28.14327485			
ID	8.941 in	0.2271014 m	22.7 cm
Density	7850 kg/m ³		
	181.85039		
Panjang	4 in	4.619 m	461.9 cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$	0.029707048 m ³	
Jumlah	6 buah		

Bracing 2

OD=	10 in	0.2 m	24 cm
Thickness=	0.342 in	0.009 m	0.87 cm
d/t<40			
28.1432749			
ID	9 in	0.227101 m	22.7 cm
Density	7850 kg/m ³		
Panjang	179.4882 in	4.559 m	455.9 cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$	0.029321 m ³	
Jumlah	6 buah		

Ring Poonton

OD=	30 in	0.762 m	76.2 cm
Thickness=	0.375 in	0.009525 m	0.9525 cm
80			
ID	29.25 in	0.74295 m	74.295 cm
Density	7850 kg/m ³		
Panjang		5 m	500 cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$	0.112526993 m ³	
Jumlah	6 buah		

Brace 1				Ring Poonton			
Volume	0.029707	m3		Volume	0.112527	m3	
Pipe				Pipe Density	7850	kg/m3	
Density	7850	kg/m3		Jumlah	6		
Jumlah	6			Gaya Berat	vpxn	5300.021	kg
Gaya Berat	vpxn	1399.202	kg			5.300021	Ton
		1.399202	Ton				
Brace 2				Sinker			
Volume	0.029321	m3		Volume	0.24649	m3	
Pipe				Density	7850	kg/m3	
Density	7850	kg/m3		Gaya Berat	vpxn	1934.947	kg
Jumlah	6					1.934947	Ton
Gaya Berat	vpxn	1381.027	kg				
		1.381027	Ton	Sling			
Jaring	0.291314	ton		Volume	0.020258	m3	
TOTAL BERAT				Jumlah	6		
				Density	7850	kg/m3	
11260.6638	kg			Gaya Berat	vpxn	954.1529	kg
11.2606638	ton					0.954153	Ton

Sinker			
Volume	0.24649	m3	
Water Density	1025	kg/m3	
Buoyancy	252.652	kg	
kg	0.25265	ton	
ton			
Jaring	0.24276	ton	
TOTAL BUOYANCY			
	14.636	ton	

- **Dimensi brace**

No	Struktur	Outer Diameter	Iner Diameter	Thicknes	Schedule	Panjang (m)	Volume (m3)	Jumlah
1	Brace 1	9,625 in	8,941 in	0,342 in	STD/40/40S	4,619	0,0297	6
2	Brace 2	9,625 in	8,941 in	0,342 in	STD/40/40S	4,559	0,0293	6
3	Poonton ring	30in	29,25 in	0,375 in	STD/40/40S	5	0,1125	6
4	Sinker	4 in			A36	31,4	0,25	1
5	Sling	2 in			6 x 36 WS+ IWRC	10	0,02	6

- **Perhitungan Bouyancy**

Bouyancy pada kondisi tercelup (Tanpa Ballasting)				
No	Struktur	Berat	Bouyancy	Total
1	Feed & live load	2,2	0	-2,2
2	Brace 1	1,399	0	-1,399
3	Brace 2	1,388	0	-1,388
4	Poonton ring	5,3	12,76	7,46
5	Sinker	1,934	0,25	-1,68
6	Sling	0,954	0,125	-0,83
7	Jaring	0,29	0,24	0,04
Total				0

Bouyancy pada kondisi tercelup draf 1 m (Dengan Ballasting)				
No	Struktur	Berat	Bouyancy	Total
1	Feed & live load	2,2	0	-2,2
2	Brace 1	1,399	0,068674	-1,33
3	Brace 2	1,388	0,068674	-1,32
4	Poonton ring	5,3	14,02	8,72
5	Sinker	1,934	0,25	-1,68
6	Sling	0,954	0,125	-0,83
7	Jaring	0,2	0,24	0,04
8	Ballasting	1,39	0	-1,39
Total				0

LAMPIRAN E
Kalkulasi Faktor u Berdasarkan DNVGL
OS-E301 dan Faktor γ JONSWAP

Safety factor Parsial untuk Analisa ULS (DNVGL OS-E301, 2015) Dengan nilai Sc = 2231000KN

Consequence Class	Type of analysis of wave frequency tension	Partial Safety factor on mean tension γ_{mean}	Partial Safety factor on dynamic tension γ_{dyn}
1	Dynamic	1.10	1.50
2	Dynamic	1.40	2.10
1	Quasi-static	1.70	
2	Quasi-static	2.50	

Kalkulasi faktor u untuk konfiurasi Rectangular Array

Line	Tc mpm (N)	Tc Mean(N)	Tc mean *y mean (N)	tcdyn * dyn (N)	total (N)	total/sc
Cable 1	448891,4	299260,9	329187,0	673337,0	1002524,0	0,45
Cable 2	559869,0	373246,0	410570,6	839803,4	1250374,0	0,56
Cable 3	403695,2	269130,1	296043,1	605542,7	901585,8	0,40
Cable 4	627463,1	418308,7	460139,6	941194,6	1401334,2	0,63
Cable 5	520049,1	346699,4	381369,3	780073,6	1161442,9	0,52
Cable 6	462474,6	308316,4	339148,0	693711,8	1032859,8	0,46

Kalkulasi faktor u untuk konfiurasi Linear Array

Line	Tc mpm (N)	Tc Mean(N)	Tc mean *y mean (N)	tcdyn * dyn (N)	total (N)	total/sc
Cable 1	420756,1	280504,0	308554,4	631134,1	939688,5	0,42
Cable 2	605049,7	403366,5	443703,1	907574,6	1351277,7	0,61
Cable 3	408963,8	272642,5	299906,8	613445,7	913352,5	0,41
Cable 4	481743,5	321162,3	353278,6	722615,2	1075893,8	0,48
Cable 5	589588,8	393059,2	432365,1	884383,1	1316748,2	0,59
Cable 6	571296,7	380864,5	418950,9	856945,1	1275896,0	0,57

Kalkulasi faktor u untuk konfiurasi 4 point mooring

Line	Tc mpm (N)	Tc Mean(N)	Tc mean *y mean (N)	tcdyn * dyn (N)	total (N)	total/sc
Cable 1	446677,0	297784,6	327563,1	670015,5	997578,6	0,45
Cable 2	777138,1	518092,1	569901,3	1165707,0	1735608,4	0,78
Cable 3	531830,1	354553,4	390008,7	797745,2	1187753,9	0,53
Cable 4	854534,9	569689,9	626658,9	1281802,0	1908461,3	0,86

Perhitungan Faktor Gamma Spektrum JONSWAP

Perhitungan peaked gamma factor JONSWAP			
	H_s	=	4.8
	T_p	=	11.5
	$\frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$	=	5.24901
untuk	$\frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$	\geq	5
maka	γ	=	1

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Arrizal Khakim dilahirkan di kota Jombang Jawa Timur pada 9 Agustus 1995, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Slamet Sam dan Tatik Tri Kamulyaningsih. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Kedungpari III, SMPN 1 Mojowarno dan SMAN Mojoagung. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui program SNMPTN. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di berbagai organisasi dan kegiatan kemahasiswaan. Penulis aktif dalam organisasi tingkat jurusan, fakultas dan institute. Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (Himatekla) sebagai Kepala Departemen Kajian Strategi. Selain itu penulis juga aktif dalam kepanitiaan tingkat jurusan hingga Institut. Pada tahun 2016 penulis bekesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di BPPT-Hidrodinamika Surabaya dan juga pada tahun 2018 melaksanakan kerja praktek di PT. PAL Indonesia Surabaya. Selama menempuh studi strata 1 yang ditempuh 5 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan struktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik tentang analisa sistem *mooring* pada struktur *offshore aquaculture*.

Kontak Penulis :

Email : arrizal_x7@yahoo.co.id