



TUGAS AKHIR - MO 141326

**DESAIN TALI TAMBAT PADA STRUKTUR *FLOATING*
BREAKWATER DENGAN KONFIGURASI *TAUT MOORING*
*SYSTEM***

MUHAMMAD HASBI MANAN

NRP. 4313100118

Dosen Pembimbing :

Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D

Sujantoko, S.T, M.T

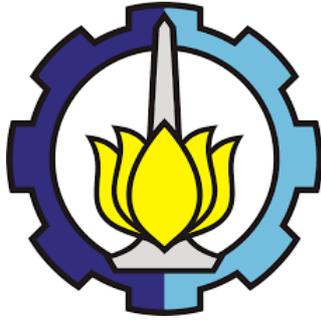
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



FINAL PROJECT - MO 141326

DESIGN OF MOORING FOR FLOATING BREAKWATER WITH TAUT MOORING SYSTEM CONFIGURATION

MUHAMMAD HASBI MANAN

NRP. 4313100118

Supervisors :

Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D

Sujantoko, S.T, M.T

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 60111
2017

**DESAIN TALI TAMBAT PADA STRUKTUR *FLOATING*
BREAKWATER DENGAN KONFIGURASI *TAUT MOORING*
*SYSTEM***

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Muhammad Hasbi Manan

NRP. 4313 100 118

Disetujui oleh :

1. Haryo d. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Sujantoko, S.T., M.Eng. (Pembimbing 2)

3. Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Penguji 1)

4. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2017

iii

**DESAIN TALI TAMBAT PADA STRUKTUR
FLOATING BREAKWATER DENGAN KONFIGURASI TAUT MOORING
SYSTEM**

Nama : **Muhammad Hasbi Manan**
NRP : **4313 100 118**
Jurusan : **Teknik Kelautan FTK - ITS**
Dosen Pembimbing : **Haryo Dwito Armono ST, M.Eng, PhD**
Sujantoko, ST, MT

ABSTRAK

Pada zaman ini struktur terapung menjadi bagian penting dari pembangunan konstruksi di dunia. Salah satu aplikasi bangunan terapung saat ini adalah bangunan pemecah ombak terapung. Penggunaan *Floating Breakwater* lebih efisien dan lebih murah dibandingkan dengan penggunaan *bottom-founded breakwater*. Penggunaan *Floating Breakwater* harus diperhatikan *tension mooring* dari struktur tersebut karena struktur ini akan rentan karena gerakan dari struktur tersebut. Dalam pengerjaan tugas akhir kali ini penulis akan menganalisis respon gerakan dan *tension mooring* dari struktur tersebut. Dari hasil analisis respon gerakan didapat RAO maksimum di setiap moda gerak. RAO *Surge* 0,617 m/m, *Sway* 0,97 m/m, *Heave* 0,996 m/m, *Roll* 15,302 deg/m, *Pitch* 2,273 deg/m dan *Yaw* 0,176 deg/m. Pada analisa *tension mooring* maksimum yang dihasilkan pada arah gelombang 90° pada keadaan pasang dalam rentang kedalaman 6,2 m - 11,2 m adalah 13,1 kN dengan *offset* 30 cm dan pada keadaan surut rentang kedalaman 5 m - 7 m sebesar 5,5 kN dengan *offset* 24 cm. Dari hasil tersebut didapatkan spesifikasi *mooring* dengan inisial diameter 12,5 mm dengan nilai *breaking load* 66 kN.

Kata kunci: *Floating Breakwater*, RAO, *tension mooring*

DESIGN OF MOORING FOR FLOATING BREAKWATER WITH TAUT MOORING SYSTEM CONFIGURATION

Name of Student : **Muhammad Hasbi Manan**
REG : **4313 100 118**
Departmen : **Ocean Engineering, FTK - ITS**
Dosen Pembimbing : **1. Haryo Dwito Armono ST, M.Eng, PhD**
2. Sujantoko, ST, MT

ABSTRACT

In this era the floating structure do to an important part of construction in the world. One of the floating building applications today is a floating breakwater. The use of Floating Breakwater is more efficient and cheaper than the use of bottom-founded breakwaters. The use of Floating Breakwater should be noted the mooring tension of the structure because this structure will be vulnerable due to the movement of the structure. In this final project do analysis the movement, response, and mooring tension of the structure. The result of maximum RAO in every mode of motion is RAO Surge 0,617 m / m, Sway 0,97 m / m, Heave 0,996 m / m, Roll 15,302 deg / m, Pitch 2,273 deg / m and Yaw 0,176 deg / m. The result of this analysis obtained the maximum tension of mooring in the direction of wave 90° at tidal state in the range of depth 6.2 m - 11.2 m is 13.1 kN with an offset 30 cm and at low tide the depth of 5 m - 7 m by 5,5 KN with an offset 24 cm and obtained mooring specification with 12.5 mm initial diameter with a maximum breaking load of 66 kN.

Keywords : Floating Breakwater, RAO, mooring tension

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan bismillah, puji, dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul *DESAIN TALI TAMBAT PADA FLOATING BREAKWATER DENGAN KONFIGURASI TAUT MOORING SYSTEM*.

Penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Studi Strata I pada Departemen Teknik Kelautan FTK Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selain itu penulis juga dapat mencoba menerapkan dan membandingkan pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh dibangku kuliah dengan kenyataan yang ada di lingkungan kerja.

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2017

Muhammad Hasbi Manan

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, diantaranya kepada:

1. Allah SWT yang dengan ridho-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Kedua orang tua beserta keluarga Manan yang selalu memberikan bantuan motivasi, moral, material, dan doa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini
3. Bapak Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 yang dengan sabar meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan dan memberi masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Sujantoko, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang dengan sabar meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan dan memberi masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman satu dosen pembimbing yang banyak membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga Valtameri atas kebersamaan, kekeluargaan dan bersama – sama menjalani perkuliahan dengan suka dan duka.
7. Keluarga DUROH yang selalu memberikan bantuan moral dan menghibur penulis.
8. Keluarga kost Gria Pena yang selalu menghibur dan mendukung penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. Teman – teman Bandung, Zitira, Hafiyyan, Alek, Gita, Mada, Silvia, Nisprima dan Abdul yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis. Terimakasih.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian.....	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pemodelan Floating Breakwater	31
4.1.1 Material <i>Floating breakwater</i>	32
4.1.2 Bouyancy	34
4.1.3 Centre Of Gravity (COG).....	35
4.1.4 Radius Girasi	37
4.2 Analisis Gerak Floating breakwater Pada Saat Free Floating	38
4.2.1 Respons Amplitude Operator (RAO) <i>Floating Breakwater</i> kondisi <i>free floating</i>	39
4.3 Taut Mooring.....	43
4.4 Analisa Tension dan Offset	46
4.4.1 Skenario Desain	46
4.4.2 Tension dan Offset	49
4.4.3 Hasil Simulasi pada muka air 8 m dan 9,2 m.....	51
4.4.4 Hasil Simulasi pada muka air 7 m dan 8,2 m.....	52

4.4.5	Hasil Simulasi pada muka air 5 m dan 6,2 m.....	53
4.5	Spesifikasi Mooring	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Fasilitas Marina	1
Gambar 1. 2 Floating Breakwater	3
Gambar 2. 1 <i>Pontoon Floating Breakwater</i>	8
Gambar 2. 2 Jenis <i>pontoon Floating Breakwater</i> (Biesheuvel, 2013).....	9
Gambar 2. 3 Derajat kebebasan gerak struktur apung	14
Gambar 2. 4 Distribusi gelombang pada <i>floating breakwater</i>	17
Gambar 2. 5 Titik pusat dan arah gerakan <i>floating breakwater</i>	21
Gambar 2. 6 Ilustrasi Catenary Mooring dan Taut Mooring	22
Gambar 2. 7 konfigurasi <i>mooring</i>	23
Gambar 3. 1 Diagram alir Pengerjaan Tugas Akhir	27
Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur Floating breakwater pada Software MOSES Hull Modeller.....	31
Gambar 4. 2 <i>Floating breakwater</i> dalam bentuk-bentuk sederhana	33
Gambar 4. 3 Bagian <i>floating breakwater</i> yang tercelup	35
Gambar 4. 4 (a). Tampak samping <i>floating breakwater</i> dari <i>software MOSES</i> .(b). Isometri <i>floating breakwater</i> dari <i>software MOSES</i> . (c). Tampak atas <i>floating breakwater</i> dari <i>software MOSES</i>	37
Gambar 4. 5 <i>heading</i> arah gelombang	39
Gambar 4. 6 RAO <i>surge</i> pada <i>floating breakwater</i>	40
Gambar 4. 7 RAO <i>sway</i> pada <i>floating breakwater</i>	40
Gambar 4. 8 RAO <i>heave</i> pada <i>floating breakwater</i>	41
Gambar 4. 9 RAO <i>roll</i> pada <i>floating breakwater</i>	41
Gambar 4. 10 RAO <i>pitch</i> pada <i>floating breakwater</i>	42
Gambar 4. 11 RAO <i>yaw</i> pada <i>floating breakwater</i>	42
Gambar 4. 12 <i>Red Hawk SPAR Platform</i>	43
Gambar 4. 13 letak sumbu koordinat <i>mooringline</i>	45
Gambar 4. 14 Struktur <i>floating breakwater</i> dengan <i>mooringline</i>	48
Gambar 4. 15 Tampak atas pemodelan struktur <i>floating breakwater</i> dengan <i>Orcaflex</i>	48
Gambar 4. 16 pemodelan struktur <i>floating breakwater</i> dengan <i>Orcaflex</i>	49

Gambar 4. 17 Grafik hasil simulasi <i>tension</i> maksimum kondisi pasang	55
Gambar 4. 18 Grafik hasil simulasi <i>tension</i> maksimum kondisi surut	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum (Bhattacharya, 1978)	12
Tabel 2. 2 Kriteria <i>safety factor</i> tali tambat.....	24
Tabel 4. 1 Nilai Hidrostatik pada Floating breakwater pada output <i>software</i> <i>MOSES</i>	32
Tabel 4. 2 Perhitungan massa dari <i>floating breakwater</i>	34
Tabel 4. 3 perhitungan volume <i>floating breakwater</i> tercelup.....	35
Tabel 4. 4 perhitungan COG <i>floating breakwater</i>	36
Tabel 4. 5 Koordinat <i>mooring</i> pada muka air 5 m dan 6,2 m.....	44
Tabel 4. 6 Koordinat <i>mooring</i> pada muka air 7 m dan 8,2 m.....	44
Tabel 4. 7 Koordinat <i>mooring</i> pada muka air 8 m dan 9,2 m.....	44
Tabel 4. 8 Koordinat <i>mooring</i> pada muka air 10 m dan 11,2 m.....	45
Tabel 4. 9 <i>mooringline tension safety factor</i> dari API RP 2SK.....	46
Tabel 4. 10 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 5m.....	47
Tabel 4. 11 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 7m.....	47
Tabel 4. 12 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 8m.....	47
Tabel 4. 13 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 10m.....	47
Tabel 4. 14 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 11,2 m.....	50
Tabel 4. 15 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 10 m.....	50
Tabel 4. 16 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 9,2m.....	51
Tabel 4. 17 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 8 m.....	52
Tabel 4. 18 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 8,2.....	52
Tabel 4. 19 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 7 m.....	53

Tabel 4. 20 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 6,2 m.....	54
Tabel 4. 21 Hasil nilai <i>tension</i> pada <i>mooring floating breakwater</i> skenario desain elevasi muka air 5 m.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN COG *FLOATING BREAKWATER*

LAMPIRAN B PERHITUNGAN JARI-JARI GIRASI

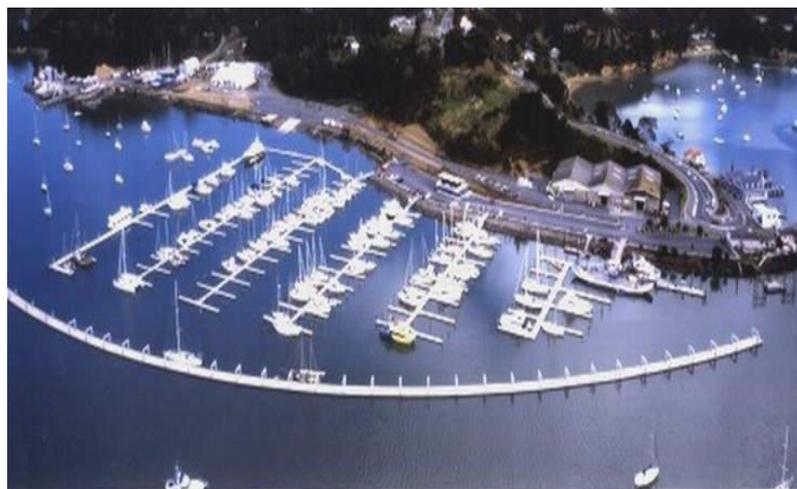
LAMPIRAN C DATA *MOORINGLINE*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 *Latar Belakang Permasalahan*

Pada zaman sekarang ini struktur terapung sudah mulai ramai dibicarakan. Saat ini dan dimasa depan diperkirakan struktur terapung akan menjadi konstruksi yang diutamakan. Di negara maju, penggunaan struktur terapung sudah sampai pada tahap pengembangan lebih lanjut dengan skala besar misalnya jembatan apung, bandara terapung, pemecah gelombang terapung, bahkan kota terapung (Danial,2010).

Dengan garis pantai yang panjang dimiliki oleh Indonesia merupakan suatu anugerah dan tantangan tersendiri untuk melindunginya. Pembangunan kearah pantai akan menjadi primadona di Indonesia. Pada akhir tahun 2015 pemerintah lewat PT Pelindo III resmi memulai pengembangan proyek marina. Pembangunan daerah pantai yang baik tentu harus diimbangi dengan fasilitas marina yang baik juga. Pembangunan fasilitas marina tentu harus dibangun secara aman. Salah satu fasilitas marina yang dibuat adalah struktur pengaman daerah marina tersebut dari gelombang.



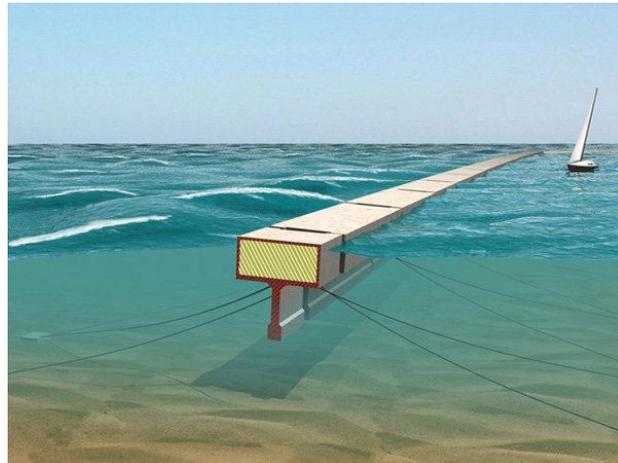
Gambar 1. 1 Fasilitas Marina
(sumber www.sfmarinausa.com)

Jenis struktur yang paling tepat untuk meredam gelombang adalah struktur *breakwater*. *Breakwater* merupakan suatu struktur yang dibangun di laut sebagai alat perlindungan bagi pantai atau fasilitas marina dari gelombang dan dari efek cuaca. Fungsi *breakwater* adalah untuk menurunkan ketinggian gelombang di daerah yang dilindungi, desain akhir bergantung pada kondisi gelombang datang, kriteria perlindungan, biaya, dan pertimbangan lingkungan (Seelig, 1976). Peletakan *breakwater* bisa berada di tengah pantai atau bisa dibangun dengan terhubung dengan bangunan pantai sesuai dengan desain yang dibutuhkan. Struktur ini dipastikan untuk meredam gelombang lebih baik sebelum gelombang menyentuh bibir pantai.

Di dunia ini terdapat dua jenis *breakwater* yaitu *bottom-founded breakwater* dan *Floating Breakwater*. Pada umumnya *Floating Breakwater* biasa digunakan di perairan *transien and deepwater*. Untuk *bottom-founded breakwater* terdapat banyak macam jenisnya tergantung dari material yang digunakan. *Breakwater* ini dibangun sejajar atau tegak lurus dengan pantai untuk mempertahankan posisi ketenangan air laut. Pada kondisi perairan dalam *bottom-founded breakwater* tidak dapat digunakan maka digunakanlah *Floating Breakwater*. *Floating Breakwater* memiliki keunggulan dibandingkan dengan *bottom-founded breakwater*, antara lain membutuhkan waktu yang lebih singkat dalam membangun struktur, mudah dan dengan biaya yang lebih terjangkau. Selain itu *floating breakwater* dapat dengan mudah dipindahkan dan dirakit kembali dengan *layouts* yang berbeda juga dapat dipindahkan ke lokasi yang berbeda (Hales, 1981). Keuntungan dari struktur terapung antara lain tidak menambah massa air dimana massa benda tidak mendesak massa air sehingga tidak menimbulkan efek kenaikan muka air laut. Keuntungan berikutnya tidak menimbulkan *scouring* pada pondasi struktur tersebut. Selain itu *Floating Breakwater* memiliki efisiensi yang tinggi untuk meredam gelombang, struktur yang simpel, murah dan ukurannya yang efisien (Tazaki and Ishada, 1975).

Dalam penggunaan *Floating Breakwater* hal yang penting diperhatikan adalah stabilitas dari struktur tersebut. Sebuah *Floating Breakwater* yang ditambah harus benar-benar dalam posisi yang stabil karena struktur ini merupakan struktur

yang rentan berpindah posisi. Akibat dari gerakan struktur dari *Floating Breakwater* ini menyebabkan terjadi *tension* pada sistem tambat (*mooring*) struktur tersebut. Hal yang harus diperhatikan adalah kekuatan tali tambat tersebut agar struktur tersebut aman.



Gambar 1. 2 Floating Breakwater

(sumber : <http://www.fdn-engineering.nl>)

Pada penelitian kali ini penulis akan mendesain sistem tambat (*mooring*) yang akan digunakan berdasarkan analisis respon gerakan dari struktur tersebut dan *tension* pada sistem tambat (*mooring*) yang akan terjadi. Penelitian ini memfokuskan pada *tension* yang terjadi pada sistem tambat *taut* (*taut mooring*) *Floating Breakwater* untuk mengetahui *tension* yang terjadi tidak melebihi batas *breaking load* pada sistem tambat (*mooring*) yang digunakan. Dimensi dari struktur *Floating Breakwater* ini adalah 10m x 3m x 1,3m dengan *draft* 0,8 m dan *freeboard* 0,5 m. Pada proses analisis tersebut penulis akan menggunakan bantuan *software MOSES* dan *Orcaflex*.

1.2 *Perumusan Masalah*

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana RAO dari *Floating Breakwater* dalam keadaan *free floating*?
2. Berapa tegangan maksimum pada sistem tambat (*mooring*) dan *offset* maksimum yang terjadi *Floating Breakwater*?
3. Bagaimana spesifikasi *mooring* yang digunakan pada *Floating Breakwater* dengan konfigurasi *taut mooring system*?

1.3 *Tujuan*

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung RAO dari *Floating Breakwater* dalam keadaan *free floating*.
2. Menghitung tegangan maksimum pada sistem tambat (*mooring*) dan *offset* maksimum yang terjadi *Floating Breakwater*.
3. Mengetahui spesifikasi *mooring* yang digunakan pada *Floating Breakwater* dengan konfigurasi *taut mooring system*.

1.4 *Manfaat*

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah membuat analisis numerik pada *taut mooringline Floating Breakwater*. Pemodelan numerik menjadi alat yang lebih ekonomis untuk menganalisis suatu masalah dibandingkan dengan memodelkan secara fisik. Pada penelitian tugas akhir ini hal yang dapat diketahui adalah respon gerak pada *floating breakwater* dalam kondisi *free floating* dan tertambat. Kemudian dari penelitian ini dapat diketahui tegangan maksimum yang terjadi pada sistem tambat (*mooring*) *floating breakwater* dan *offset* yang terjadi dalam batas aman sesuai dengan standar yang ada. Selain itu, dapat diketahui jenis *mooring* yang akan digunakan untuk operasional *floating breakwater* tersebut.

1.5 *Batasan Masalah*

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar serta memudahkan penelitian dan dapat dicapai tujuan yang diharapkan. Batasan ruang lingkup yang diberlakukan adalah sebagai berikut:

1. *Floating Breakwater* berjenis *Single Pontoon*
2. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban gelombang, arus dan angin.
3. Sudut penambatan *taut mooring* 30°.

4. Arah pembebanan yang digunakan adalah sudut 0° , 45° , dan 90° .
5. Standar mengacu pada API RP 2SK
6. Jangkar dianggap *fixed* sehingga tidak dilakukan analisa terhadap *holding capacity*.
7. Perhitungan olah gerak pada kondisi *free floating* untuk mendapatkan RAO menggunakan *software MOSES*.
8. Variasi kedalaman 5m, 7m, 8m, dan 10m.
9. *Seabed* dianggap rata.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Tinjauan Pustaka*

Bangunan pemecah gelombang dapat dibagi menjadi dua yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai (Triatmodjo, 1999). Bangunan pemecah gelombang sambung pantai biasanya digunakan untuk melindungi daerah garis pantai dari bahaya abrasi, sedangkan bangunan pemecah gelombang lepas pantai biasanya digunakan untuk melindungi fasilitas perairan pelabuhan atau fasilitas marina. Bangunan pemecah gelombang lepas pantai lebih efektif dan ekonomis menggunakan tipe *Floating Breakwater* dibandingkan dengan menggunakan *Bottom-founded Breakwater* (Hales, 1981). *Floating Breakwater* dibuat untuk melindungi area pelabuhan agar perairan tetap tenang untuk memudahkan pengoperasian kapal. Penelitian secara teoritis membuktikan bila struktur dari *Floating Breakwater* dapat mereduksi gelombang dengan sangat baik dan tidak merusak lingkungan pantai ketika tata letak struktur optimal (Fousert, 2006). Menurut G.H Dong (2008) *Floating Breakwater* dapat digunakan secara efektif pada area pantai dalam kondisi gelombang yang relatif ringan.

Ada empat hal penting dalam menganalisis struktur *Floating Breakwater*, daya apung dan stabilitas, transmisi gelombang, sistem tambat (*mooring*), dan integritas struktur. (Wicaksono, M. A. 2015).

Pada pembangunan *Floating Breakwater* tentu hal yang harus diperhatikan adalah sistem tambat (*mooring*) dari struktur tersebut. Beberapa peneliti telah menginvestigasi mengenai dinamika struktur terapung (*Floating Breakwater*). (Shirakura et al., 2000).

Dalam eksperimen yang dilakukan untuk desain *mooring* hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan (stress) yang terjadi pada *mooring* dan berat anchor yang dibutuhkan agar *Floating Breakwater* tetap stabil (Firdaus., 2008).

Risnandi (2011) telah melakukan percobaan di laboratorium sebuah *breakwater* terapung (*Floating Breakwater*) yang ditambat harus benar-benar

dirancang dalam rangka untuk memastikan pengurangan efektif energi yang di transmisikan oleh energi gelombang dan *mooring* yang digunakan harus dapat menjaga struktur ini tetap berada pada posisi mengingat karena *Floating Breakwater* merupakan struktur terapung yang rentan berpindah posisi.

Pada pengerjaan tugas akhir ini difokuskan untuk mencari spesifikasi *mooring* yang akan digunakan. Untuk mengetahui spesifikasi *mooring* yang digunakan peneliti akan menganalisis dahulu respon gerak bangunan dari *Floating Breakwater* kemudian dilanjutkan mencari nilai *tension* maksimum pada sistem tambat (*mooring*) kemudian memilih spesifikasi *mooring* yang sesuai dengan standard API RP 2SK. Pada pengerjaan tugas akhir ini juga peneliti menganalisis masalah dibantu menggunakan beberapa *software* seperti *Moses*, dan *Orcaflex*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. *Floating Breakwater*



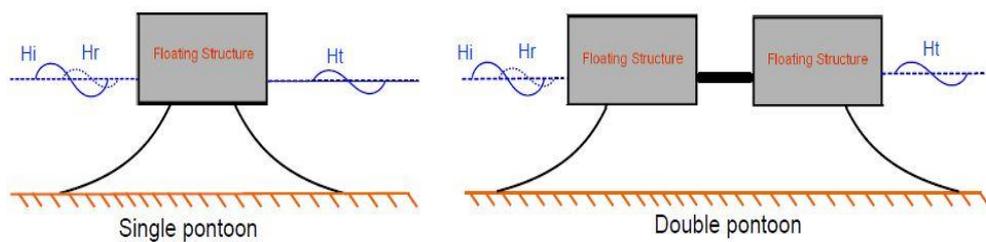
Gambar 2. 1 *Pontoon Floating Breakwater*

(sumber : www.sfmarinausa.com)

Breakwater memiliki fungsi untuk melemahkan dan mengurangi intensitas gaya pada gelombang. Pemecah gelombang dapat berupa *fixed breakwater* atau *Floating Breakwater* , penggunaan pemecah gelombang tergantung pada kedalaman air normal, pasang surut, kondisi tanah dan parameter lainnya. Konstruksi *Floating Breakwater* biasanya dipasang sejajar atau tegak lurus dengan pantai. Terciptanya *Floating Breakwater* dikembangkan karena adanya kekurangan kinerja dari *bottom-founded breakwater* (McCartney, 1985).

- **Pontoon Floating Breakwater**

Kelompok struktur prismatic (*pontoon* tunggal, *pontoon* ganda, atau variasi lainnya) merupakan bentuk sederhana dari *Floating Breakwater* yang bersifat reflektif. Bentuk prismatic ini memiliki banyak fungsi, diantaranya penggunaan seperti trotoar, penyimpanan, tambahan perahu, dan juga sebagai dermaga. Beberapa faktor yang berpengaruh dalam kontribusi *pontoon Floating Breakwater* adalah jari – jari rotasi, perangkat *antirolling*, dan pengaruh karakteristik gelombang. Desain dari sistem *double-pontoon* mencoba menggabungkan massa yang relatif besar dan jari – jari besar rotasi, dan konfigurasi *pontoon* ini mampu berfungsi sebagai dermaga apung. Dalam hal ini, stabilitas dan kinerja struktur dalam berbagai kondisi pembebanan akan menjadi pertimbangan utama dalam desain.



Gambar 2. 2 Jenis *pontoon Floating Breakwater* (Biesheuvel, 2013)

2.2.2 Gelombang

Gelombang laut merupakan bentuk dari permukaan laut yang berupa puncak gelombang dan lembah gelombang oleh gerak ayun yang disebabkan oleh tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut atau lalu lintas kapal (Sunarto, 2003). Gelombang laut memiliki dimensi yaitu periode gelombang, tinggi gelombang, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang. Penjelasan tentang proses tumbuhnya gelombang menunjukkan bahwa gelombang-gelombang pendek tumbuh dengan sangat cepat, jauh lebih cepat daripada gelombang-gelombang yang lebih panjang. Ini berarti bahwa gelombang pendek mendapat suplai energi yang

lebih besar dari angin daripada gelombang panjang. Klasifikasi gelombang berdasarkan ukuran dan penyebabnya (Pond and Pickard, 1983):

1. Riak (*ripples*) / gelombang kapiler (*capillarywave*) dengan panjang gelombang 1,7 meter dan periode kurang dari 0,2 detik disebabkan oleh adanya tegangan permukaan dan tiupan angin yang tidak terlalu kuat pada permukaan laut.
2. Gelombang angin (*seas/wind waves*) dengan panjang gelombang sampai kira-kira 130 meter dan periode 0,2- 0,9 detik ditimbulkan angin.
3. Alun (*swell*) dengan panjang gelombang sampai ratusan meter dan periode 0,9- 15 detik ditimbulkan oleh angin yang bertiup lama.
4. Gelombang pasang surut (*tidal wave*) dengan panjang gelombang beberapa kilometer dengan periode 5 jam, 12 jam, dan 25 jam oleh fluktuasi gaya gravitasi Matahari dan Bulan.

2.2.2.1 Regular wave

Gelombang regular merupakan gelombang yang mempunyai tinggi dan periode yang tetap terhadap waktu. Airy (1845) memperkenalkan teori gelombang amplitudo kecil untuk menghitung parameter-parameter gelombang. Rumus-rumus berdasarkan teori gelombang amplitudo kecil adalah sebagai berikut :

Persamaan Dispersi

$$t^2 = gk \tanh kh \quad (2.1)$$

Kecepatan Gelombang

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh} \quad (2.2)$$

Panjang Gelombang

$$L = \frac{g}{2p} T^2 \cdot \tanh \frac{2ph}{L} \quad (2.3)$$

h = tinggi gelombang rata-rata

t = periode gelombang rata-rata

g = percepatan gravitasi

f = frekuensi

2.2.2.2 Irregular wave

Gelombang irreguler adalah gelombang yang mempunyai tinggi dan periode gelombang yang berubah terhadap waktu. Gelombang ini dapat diklasifikasikan kedalam spectrum tertentu yang bergantung dari tinggi dan periode gelombangnya. Jenis spectrum yang ada antara lain Spektrum Bretschneider, Jonswap, Goda, dan lain-lain. Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang irreguler tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya

$$E_T = \sum E_i \quad (2.4)$$

atau dalam bentuk lain :

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \sum \xi a_i \quad (2.5)$$

Dengan :

E_T = energi total (joule/m)

E_i = energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)

ρ = densitas air laut (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

ξa_i = amplitudo gelombang (m)

2.2.3 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. Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum (Bhattacharya, 1978)

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 Djatmiko (2012) dapat ditulis sesuai dengan Pers.

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau\omega_0^2} \right] \quad (2.4)$$

Dengan:

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

$$X_0 = gX/U_w^2$$

X = panjang *fetch* (m)

α = 0,0081, jika X 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*

τ = 0.07 jika $\omega \leq \omega_0$

τ = 0.09 jika $\omega \geq \omega_0$

$\omega_0 = 2\pi \left(\frac{g}{U\omega} \right) (X_0)^{-0.33}$

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):

$$S(\omega) = 155 \frac{H_s^2}{T^4 \omega^4} \exp\left(\frac{-944}{T^4 \omega^4}\right) \gamma^\alpha \quad (2.6)$$

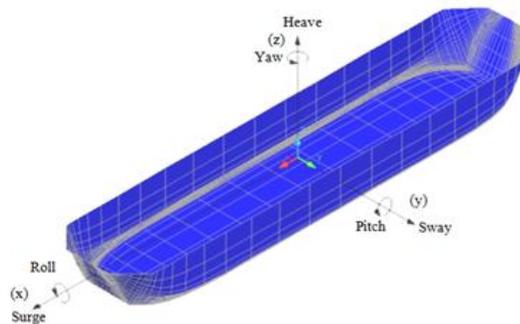
2.2.4 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut Akibat Eksitasi Gelombang

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut :

- a. Mode gerak translasional
 - *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
 - *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
 - *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z

- b. Mode gerak rotasional
 - *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat direpresentasikan dengan Gambar 2.10



Gambar 2. 3 Derajat kebebasan gerak struktur apung
(Ardhiansyah, 2010)

Persamaan di atas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh suku-suku di sebelah kiri persamaan, yang terdiri dari gaya inersia, gaya redaman dan gaya pengembali (Djarmiko, 2012).

2.2.5 Gaya Hidrodinamis

Gaya hidrodinamis yang bekerja pada *Floating Breakwater* adalah gaya drag dan gaya inerti. Kim (2001) merumuskan gaya persatuan panjang sebagai berikut :

a. Gaya Drag (F_D)

Nilai gaya drag yang terjadi pada suatu struktur *Floating Breakwater* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_D = C_D A (W_0/2g)V_m^2 \quad (2.7)$$

Dengan :

F_D = gaya drag per satuan panjang (N/m)

C_D = koefisien drag

A = luas *floating breakwater* (m^2)

W_0 = massa jenis air tawar (kg/m^3)

V_m = kecepatan maksimal gelombang

g = gravitasi

berdasarkan MarCom Working Group 13, (1994), kecepatan maksimal gelombang didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_m = \pi(H/T) \quad (2.8)$$

Dengan :

V_m = kecepatan maksimal gelombang

H = tinggi gelombang

T = periode

b. Gaya Inertia (F_M)

Nilai gaya inerti yang terjadi pada suatu struktur *Floating Breakwater* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_M = C_M A (2 \pi W_0/2gT)V_m \quad (2.9)$$

Dengan :

- F_M = gaya inerti per satuan panjang (N/m)
- C_M = koefisien inerti
- A = luas floating breakwater (m^2)
- W_0 = masa jenis air tawar (kg/m^3)
- V_m = kecepatan maksimal gelombang
- g = grafitasi
- T = periode

c. Gaya Gelombang (F_w)

Nilai gaya gelombang yang terjadi pada suatu struktur *Floating Breakwater* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

Dimana :

$$F_w = F_M \quad : \text{jika } F_m > 2F_d$$

$$F_w = F_d + (F_m^2/4F_d) \quad : \text{jika } F_m \leq 2F_d$$

d. Gaya Apung (*buoyancy*)

Seperti yang telah dibahas pada hokum Archimedes, semua benda yang berada di dalam air akan mengalami gaya apung (*bouyency*). Adapun bunyi hokum Archimedes adalah :

“benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami gaya angkat yang besarnya setara dengan berat volume zat cair yang dipindahkan.”

Berdasarkan Kim, Chang Gil, (2001) merumuskan *buoyancy* sebagai berikut dengan persamaan sebagai berikut :

$$N = V \cdot \rho \quad (2.10)$$

Dengan :

$$N = \text{Bouyancy}$$

$$\rho = \text{massa jenis fluida}$$

$$V = \text{Volume Floating Breakwater}$$

2.2.6 Konsep Pembebanan

Beban-beban yang perlu diperhatikan dalam mendesain struktur lepas pantai menurut Soedjono (1999) adalah sebagai berikut:

a. Beban mati

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

b. Beban hidup

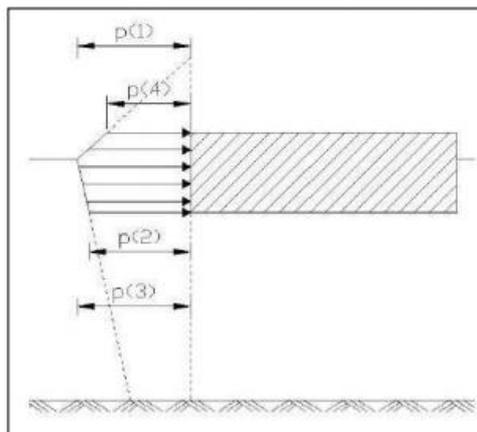
Beban hidup adalah beban yang terjadi selama struktur melakukan fungsinya dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi lainnya Seperti: beban pengoperasian mesin dan peralatan yang digunakan selama operasi struktur, termasuk didalamnya operasi crane.

c. Beban lingkungan

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena pengaruh lingkungan di mana struktur lepas pantai tersebut beroperasi. Misalkan: beban angin, gelombang, dan arus.

2.2.6.1 Beban Gelombang

Beban gelombang dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan persamaan (GODA, 2000) dengan distribusi gelombang seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Distribusi gelombang pada *floating breakwater*

$$P1 = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \rho g H_{max} \quad (2.11)$$

$$P2 = \frac{P1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad (2.12)$$

$$P3 = \alpha_3 P1 \quad (2.13)$$

$$P4 = P1 \left(1 - \frac{hc}{\eta}\right) \quad (2.14)$$

$$P = \frac{1}{2}(P1 + P3)h' + \frac{1}{2}(P1 + P4)hc \quad (2.15)$$

$$\eta = 0,75 \left(\frac{1}{2}(1 + \cos \beta)\right)H_{max} \quad (2.16)$$

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2 \quad (2.17)$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b-d}{3h_b} \left(\frac{H_{max}}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_{max}} \right] \quad (2.18)$$

$$\alpha_1 = 1 + \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \quad (2.19)$$

Keterangan :

P = Wave pressure (kN)

h' = draught struktur (m)

hc = freeboard (m)

H_{max} = tinggi maksimum gelombang (m)

η = maksimum elevasi gelombang (m)

$h = hb$ = tinggi kedalaman perairan (m)

Wave pressure yang didapatkan kemudian dikalkulasikan menjadi gaya gelombang pada seluruh struktur.

2.2.7 Beban Arus

Selain gelombang, arus laut juga memberikan gaya terhadap struktur terapung. Beban arus yang diperhitungkan pada tugas akhir ini menggunakan perhitungan PIANC 1994

$$F_d = C_d A \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (2.20)$$

Keterangan :

F_d = Gaya drag oleh arus pada struktur (kN)

C_d = koefisien drag arus pada struktur

A = luasan proyeksi arah memanjang dibawah permukaan air (m^2)

ρ = massa jenis air (kg/cm^3)

u = kecepatan arus (m/s)

2.2.7 Beban Angin

Angin juga dapat mempengaruhi beban yang bekerja pada struktur bangunan terapung. Beban angin yang diperhitungkan pada tugas akhir ini menggunakan perhitungan PIANC 1994.

$$F_w = C_d A \rho \frac{v^2}{2} \quad (2.21)$$

Keterangan :

F_w = Gaya drag oleh angin pada struktur (kN)

C_d = koefisien drag arus pada struktur (2.0)

A = luasan proyeksi arah memanjang struktur yang terkena angin (m^2)

ρ = massa jenis udara (.002 slug/ ft^3) (kg/m^3)

V = kecepatan angin (m/s)

2.2.8 RAO (*Response Amplitude Operator*)

Response-Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. RAO memberikan informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah frekuensi dan ordinatnya merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu. Persamaan RAO untuk gerakan translasi adalah

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0} (m/m) \quad (2.22)$$

Keterangan :

$\zeta_{k0}(\omega)$ = Amplitudo struktur (m)

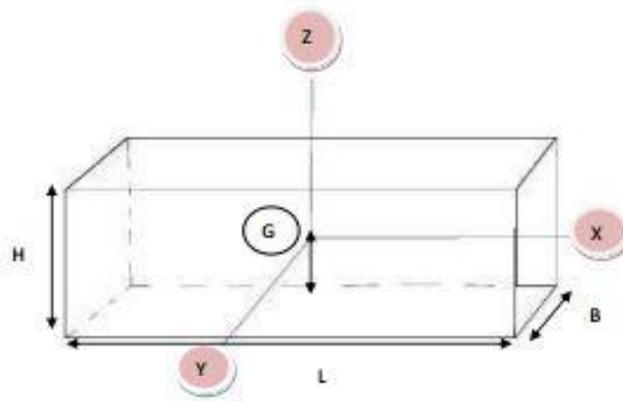
$\zeta_0(\omega)$ = Amplitudo gelombang (m)

Respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang.

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0} = \frac{\zeta_{k\omega}}{\left(\frac{\omega^2}{g}\right)\zeta_0} (m/m) \quad (2.23)$$

2.2.9 Jari-jari Girasi *Floating Breakwater*

Floating Breakwater memiliki pusat massa dan titik berat dalam pengertian yang sama, yaitu dimana suatu titik tempat berpusatnya massa atau berat dari struktur *floating breakwater*. Perbedaannya adalah letak suatu pusat massa suatu benda tidak dipengaruhi oleh medan gravitasi, sehingga letaknya tidak selalu berhimpit dengan letak titik beratnya. *Floating breakwater* memiliki jari-jari girasi yang artinya jarak radial dari sumbu putar kesuatu titik tempat massa dikonsentrasikan.



Gambar 2. 5 Titik pusat dan arah gerakan *floating breakwater*

Floating breakwater memiliki tiga gerakan rotasional yang berputar pada sumbu x, sumbu y, dan sumbu z dengan titik pusatnya terdapat pada titik G. Pada titik G dan ketiga sumbu ini gerakan rotasional yang terjadi pada struktur. Jari-jari girasi pada struktur *floating breakwater* dapat dilihat dibawah ini :

Jari-jari girasi untuk sumbu X.

$$I_{GX} = I_{xo} + \left(\frac{H}{2}\right)^2 BL \quad (2.24)$$

$$R_{GX} = \sqrt{\frac{I_{GX}}{A}} \quad (2.25)$$

Jari-jari girasi untuk sumbu Y.

$$I_{GY} = I_{Yo} + \left(\frac{H}{2}\right)^2 BL \quad (2.26)$$

$$R_{GY} = \sqrt{\frac{I_{GY}}{A}} \quad (2.27)$$

Jari-jari girasi untuk sumbu Z.

$$I_{GZ} = I_{Zo} + \left(\frac{H}{2}\right)^2 BL \quad (2.28)$$

$$R_{GZ} = \sqrt{\frac{I_{GZ}}{A}} \quad (2.29)$$

Keterangan :

I_{GZ} = momen inersia sumbu x (m^4)

I_{GZ} = momen inersia sumbu y (m^4)

I_{GZ} = momen inersia sumbu z (m^4)

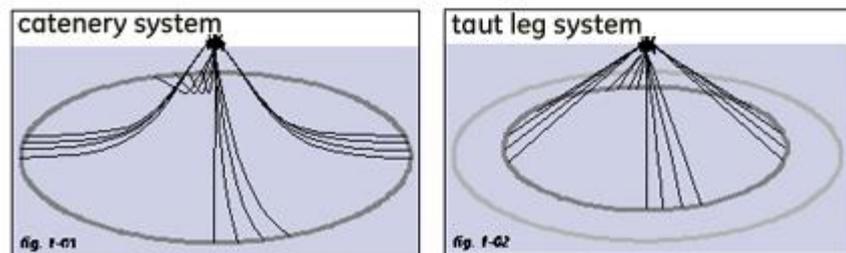
R_{GZ} = jari-jari girasi sumbu x

R_{GZ} = jari-jari girasi sumbu y

R_{GZ} = jari-jari girasi sumbu z

2.2.10 Sistem Tambat (*Mooring*)

Sistem mooring dimanfaatkan untuk menahan pergerakan bangunan terapung agar tetap pada posisinya. Beragam jenis sistem mooring yang ada di dunia, diantaranya adalah sistem *catenary* mooring dan *taut mooring*.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Catenary Mooring dan Taut Mooring

Sumber: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/11-12/MORE/mooring/img/1.jpg

2.2.10.1 Catenary Mooring

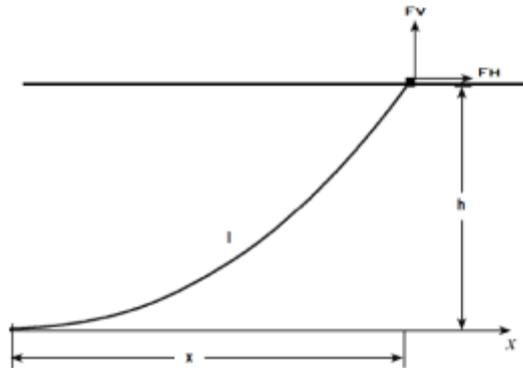
Catenary merupakan sebuah struktur berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel atau rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan kedua ujungnya tertahan. Penambat struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary* bertujuan untuk memanfaatkan berat mooring sehingga struktur terapung tertahan di posisinya selama mendapat gangguan dari lingkungan laut.

2.2.11.2 Taut Mooring

Taut Mooring merupakan sistem tambat (*mooring*) yang biasa digunakan pada kondisi laut yang dalam. Penambat struktur terapung menggunakan prinsip *taut* ini memanfaatkan tegangan sistem tambat (*mooring*) untuk menahan gaya

apung dari struktur tersebut. Dengan keadaan sistem tambat yang tegang ini penggunaan *taut mooring* menjadi memiliki radius *mooring* yang lebih rendah. Pemasangan mooring dilakukan tergantung dengan kebutuhan. Cara pemasangan yang bisa dipilih diantaranya:

- a. Dipasang menggunakan tali (mooring) dan pile pancang.
- b. Dipasang dengan piling, sehingga nantinya dapat bergerak naik turun tanpa ada gerakan lateral.
- c. Dipasang menggunakan masa konkrit atau jangkar kapal yang ditali.



Gambar 2. 7 konfigurasi *mooring*

$$l = h \sqrt{\frac{2F_h}{P_h} + 1} \quad (2.30)$$

Keterangan :

l = panjang *mooring line* (m)

h = kedalaman perairan (m)

F_h = gaya horizontal gelombang (kN)

P = berat *mooringline* (N/m)

2.2.12 Tension pada Mooring Line

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

a. *Mean Tension*

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

b. *Maximum Tension*

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

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_{\max} = T_H + wh \quad (2.31)$$

Dengan :

T_{\max} = *tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = horizontal *pre-tension* (ton)

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

h = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria/batasan yang memenuhi *safety factor*. Kriteria *safety factor* tersebut berdasar pada suatu *rule*. Dan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah mengacu pada *rule* API RP 2SK (2005), yakni sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kriteria *safety factor* tali tambat

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

Dengan persamaan *safety factor* menurut API RP 2SK adalah:

$$Safety\ Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \quad (2.32)$$

2.2.13 Excursion

Excursion atau *Offset* adalah perpindahan posisi dari platform dengan jarak sejauh x meter setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari platform pada saat mendapat beban lingkungan. *Offset* dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

a. Mean offset

Displacement dari floating breakwater karena kombinasi dari pengaruh beban arus, *wave drift* rata-rata dan angin.

b. Maximum offset

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

Offset maksimum ditentukan dengan prosedur di bawah ini (API RP 2SK) :

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \quad (2.33)$$

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \quad (2.34)$$

Dengan:

$$S_{mean} = \text{mean vessel offset}$$

$$S_{max} = \text{maximum vessel offset}$$

$$S_{wfmax} = \text{maximum wave frequency motion}$$

$$S_{wfsig} = \text{significant wave frequency motion}$$

$$S_{lfmax} = \text{maximum low-frequency motion}$$

$$S_{lfsig} = \text{significant low-frequency motion}$$

2.2.14 Gambaran umum *Software* penunjang

Pada pengerjaan tugas akhir ini dibantu dengan menggunakan beberapa *software* yang sudah biasa digunakan untuk menyelesaikan masalah di bidang teknik kelautan. *Software* yang digunakan antara lain :

a. *MOSES*

MOSES yang merupakan singkatan dari *Multi-Operational Structural Engineering Simulator*, adalah simulasi dan program analisis untuk struktur terapung. Program ini menerima penjelasan dari model (*Floating Breakwater*) untuk melakukan simulasi baik domain statis, domain frekuensi atau waktu. *MOSES* digunakan untuk menganalisa hidrostatis struktur terapung, *ballasting*, stabilitas dan analisis *mooring*. Pada pengerjaan tugas akhir ini *software MOSES* akan digunakan untuk mencari respon dari struktur *Floating Breakwater*.

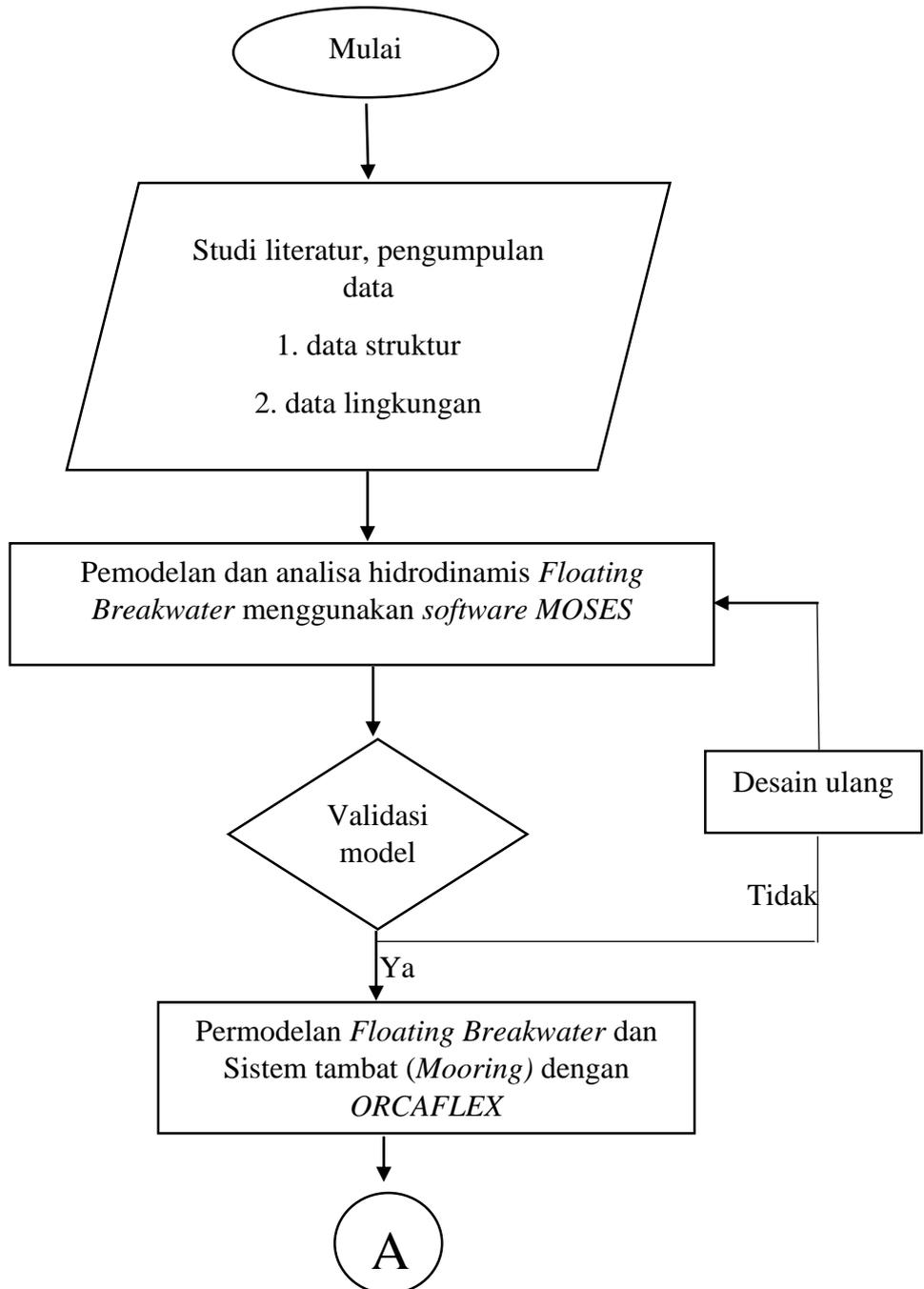
b. *Orcaflex*

Orcaflex adalah program dinamika kelautan yang dikembangkan oleh Orcina untuk analisis statis dan dinamis dari berbagai system lepas pantai, termasuk semua jenis *marine raiser* (*rigid* dan *flexible*), analisis global, *mooring*, instalasi dan sistem *towing*. Pada pengerjaan tugas akhir ini *Orcaflex* akan digunakan untuk mencari nilai *tension* pada sistem tambat (*mooring*).

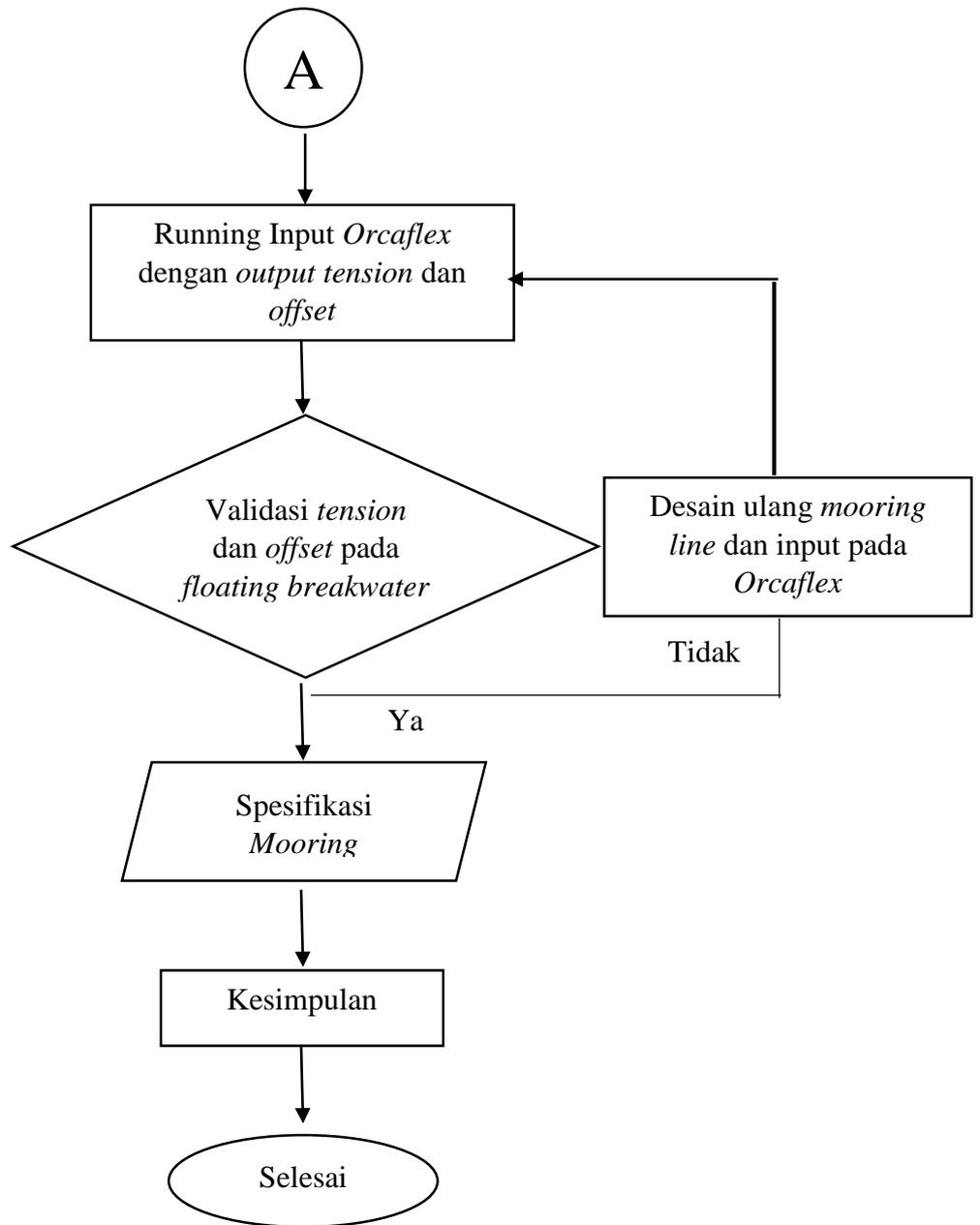
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Gambar 3.1 adalah diagram alir langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini:



Gambar 3. 1 Diagram alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Penjelasan Diagram Alir

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, dan dibutuhkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literatur dapat diperoleh dari buku, tugas akhir, jurnal, Code/Standard, serta mempelajari *software-software* yang akan digunakan yaitu MOSES dan ORCAFLEX.

2. Pengumpulan Data

Dilakukanmya studi di lapangan dengan tujuan untuk mencari data-data yang diperlukan pada pembahasan masalah yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini. Studi lapangan dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap obyek yang akan dikaji atau hanya dengan melihat beberapa data yang terkait atau sesuai dengan masalah yang akan dikaji ataupun mencari beberapa data-data sebagai kegiatan persiapan untuk pelaksanaan studi ini. Data-data yang dibutuhkan antara lain sebagai berikut :

- Data ukuran utama *Floating Breakwater*
- Data Lingkungan

3. Pemodelan *Floating Breakwater* dengan *MOSES*

Pemodelan struktur *Floating Breakwater* konfigurasi ponton dan dimensi yang sesuai data dengan menggunakan *software MOSES* . Pemodelan *Floating Breakwater* dengan menggunakan bantuan *software MOSES*. Setelah divalidasi kemudian dilakukan proses *running* program *MOSES* untuk model *Floating Breakwater* dengan berbagai arah heading beban lingkungan (0° , 45° , dan 90°) untuk mendapatkan

RAO, *wave drift*, *added mass* dan *damping force* yang akan digunakan sebagai input untuk permodelan selanjutnya dengan menggunakan *Orcaflex*.

4. Validasi Model

Setelah model dibuat menggunakan *software* yaitu *MOSES* kemudian dilakukan validasi dengan melihat nilai-nilai hidrostatis hasil pemodelan struktur *floating breakwater* dari *software* tersebut. Tujuannya adalah untuk mengetahui bahwa model ini layak untuk di simulasikan atau tidak.

5. Komputasi Pemodelan *Floating Breakwater* dan *Mooringline* dengan *Orcaflex*

Permodelan *Floating Breakwater* dan sistem tambat (*mooring*) dengan *Orcaflex* dilakukan untuk mendapatkan tegangan pada struktur dan pada sistem tambat (*mooring*) Validasi *tension* dengan API RP 2 SK. Setelah komputasi pemodelan *Floating Breakwater* dan sistem tambat (*mooring*) dengan *Orcaflex* kita memvalidasi dengan *code* API RP 2 SK.

6. Analisa Tegangan Tali Tambat dan *offset* dengan variasi kedalaman

Setelah didapatkan tegangan pada setiap tali tambat kita akan melakukan proses *running* ulang menggunakan *Orcaflex* untuk menghitung tegangan tali tambat dan *offset maximum* pada *floating breakwater* dengan variasi kedalaman 5m, 7m, 8m, dan 10m. untuk mendapatkan perbandingan dan menentukan tali tambat yang akan dipakai.

7. Validasi *tension* dan *offset*

Pada tahapan ini yang dilakukan untuk validasi *tension* itu untuk mengetahui *safety factor* dari system tambat (*mooring*) tersebut dan untuk validasi *offset* untuk memastikan ketika struktur berpindah dari posisi semula, dampak yang akan terjadi mengganggu operasi struktur tersebut atau tidak. Jika pada tahapan validasi ini tidak sesuai dengan *rules* yang ada, maka akan di lakukan redesain ulang pada *input* untuk diproses menggunakan *software Orcaflex*.

8. Spesifikasi *Mooring*

Setelah dilakukan validasi akan didapatkan nilai *tension* yang terjadi pada tali tambat (*mooring*) dari nilai tersebut kemudian ditentukan spesifikasi diameter nominal *mooring*, tipe *mooring*, *grade mooring*, panjang *mooring*, maksimum *breaking load* pada *mooring*, yang sesuai dengan yang ada di pasaran..

9. Kesimpulan

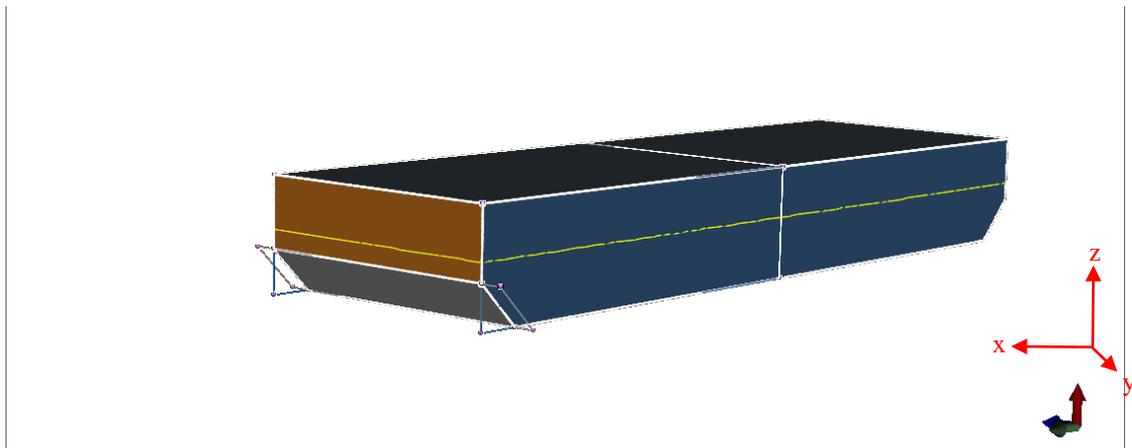
Pada tahap ini, menjabarkan hasil dari rumusan masalah pada tugas akhir ini. Hasil akhirnya berupa grafik RAO *floating breakwater* dalam kondisi *free floating* dan tertambat; grafik *tension* maksimum sistem tambat (*mooring*) menggunakan *taut mooring line* dan *offset* maksimum untuk struktur *floating breakwater*; dan yang terakhir adalah penentuan spesifikasi *mooring*.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 *Pemodelan Floating Breakwater*

Pemodelan struktur *floating breakwater* dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan bantuan *software MOSES*. Penggunaan *software MOSES* dilakukan karena dengan *software* tersebut dapat pula dihasilkan nilai-nilai hidrostatis dari *floating breakwater* yang diperlukan untuk menganalisa gerak *floating breakwater* tersebut. Dalam pemodelan ini menggunakan dimensi *floating breakwater* yang memiliki panjang 10 m, lebar 3 m, dan tinggi 1.3 m sesuai data yang diberikan. Berikut ini merupakan hasil pemodelan dari analisa *floating breakwater* pada *software MOSES*.

- Pemodelan pada *Software MOSES Hull Modeller*



Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur Floating breakwater pada Software MOSES Hull Modeller

Setelah struktur berhasil dimodelkan langkah selanjutnya adalah memvalidasi nilai hidrostatis yang dihasilkan oleh *software MOSES* tersebut. Nilai yang divalidasi adalah nilai displacement dan nilai water plane area dengan perhitungan manual. Menurut standard dari ABS untuk validasi permodelan dibatasi dengan nilai error 1% untuk nilai displacement dan 2% untuk nilai hidrostatis lainnya.

Tabel 4. 1 Nilai Hidrostatik pada Floating breakwater pada output *software MOSES*

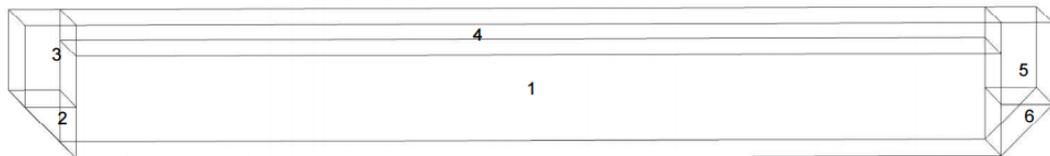
NILAI HIDROSTATIS			
STRUKTUR <i>FLOATING BREAKWATER</i>			
P (Panjang)	=	10	m
L (Lebar)	=	3	m
T (Tinggi)	=	1.3	m
Draft	=	0.712	m
Freeboard	=	0.558	m
Displacement	=	21.14	T
		206.75	kN
KG (Keel to Gravity)	=	0.36	m
WPA (Waterplane Area)	=	30	m ²
LCF (Length of centre Floatation)	=	1.5	m
LCB (Length of centre Bouyancy)	=	1.5	m
Volume	=	38.25	m ³
KMT (Keel to Metacentre Transversal)	=	12.52	m
KML (Keel to Metacentre Longitudinal)	=	1.46	m
GMT (Gravity to Metacentre Transversal)	=	11.49	m
GML (Gravity to Metacentre Longitudinal)	=	0.45	m

4.1.1 Material *Floating breakwater*

Struktur *floating breakwater* pada analisa tugas akhir ini memiliki 2 material yang berbeda. Material utama pada *floating breakwater* ini adalah floaton dan beton. Floaton merupakan kotak kosong terbuat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) sebagai daya apung untuk *Floating breakwater* ini dan beton sebagai pemberat dari struktur *floating breakwater* ini.

Material yang digunakan adalah beton dengan berat jenis 1200kg/m³ dan floaton dengan berat jenis 48 kg/m³. Pada perhitungan massa dari struktur *floating breakwater* ini dilakukan perhitungan manual dengan membagi bentuk-bentuk sederhana dari *floating breakwater* ini. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 ada lima bentuk sederhana dalam satu struktur *floating breakwater*. Untuk mendapatkan massa dari *floating breakwater* ini setiap bentuk sederhana dihitung volumenya kemudian dikalikan dengan massa jenis material tersebut lalu dijumlahkan sehingga didapatkan massa total dari *floating breakwater* ini.

Bentuk satu merupakan bentuk bidang balok dengan ukuran 9x3x1 m yang merupakan ukuran dari floaton tersebut. Bentuk dua yang juga sama dengan bentuk lima merupakan bagian beton samping yang berbentuk prisma segitiga dengan ukuran sisi miring 0,5 m tinggi 0,5 m dan lebar 3 m. Bentuk tiga yang juga sama dengan bentuk enam merupakan bentuk balok dengan ukuran 0,8x0,5x3m letak bentuk ini disisi pinggir bagian atas dari prisma bentuk dua tadi. Bentuk empat merupakan bentuk balok dengan ukuran 9x3x0,3 m yang berupa beton diatas bagian floaton. Setelah dicari volume setiap bentuk maka dikalikan dengan massa jenis tiap material kemudian dijumlahkan sehingga dihasilkan massa dari struktur *floating breakwater* tersebut. Tabel 4.2 sebagai perhitungan massa dari *floating breakwater*.



Tabel 4. 2 Perhitungan massa dari *floating breakwater*

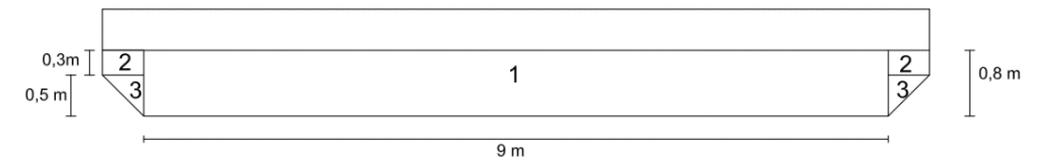
Perhitungan Material Pada Floating Breakwater					
No	Item	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Berat Item	Satuan
1	Floaton	0.125	48	1296	kg
2	Beton 1	0.375	2400	900	kg
3	Beton 2	1.2	2400	2880	kg
4	Beton 3	5.4	2400	12960	kg
5	Beton 4	1.2	2400	2880	kg
6	Beton 5	0.375	2400	900	kg
Total				21816	kg
				21.816	ton

Maka dihasilkan massa total dari *floating breakwater* adalah sebesar 21,816 ton.

4.1.2 Bouyancy

Dalam analisa struktur terapung yang harus diperhatikan adalah daya apung atau *bouyancy* dari struktur tersebut. Analisa tugas akhir ini dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan *bouyancy* dari *floating breakwater* ini. Perhitungan daya apung ini diperlukan untuk mengecek bahwa struktur *floating breakwater* ini benar-benar dapat terapung.

Perhitungan daya apung digunakan menggunakan rumus gaya apung dimana volume benda yang tercelup kedalam air dikalikan dengan massa jenis air yang digunakan. Untuk struktur *floating breakwater* ini yang digunakan adalah air laut yaitu sebesar 1025 kg/m³ dan volume *floating breakwater* seperti pada gambar 4.3 . Dari gambar 4.3 dapat dihitung v1 atau volume 1 merupakan volume dari floaton yaitu sebesar 21,6m³ dan v2 atau volume 2 merupakan volume beton yang tercelup sebesar 0,45m³ dan v3 adalah volume 3 yaitu bagian beton samping yang tercelup berbentuk prisma segitiga dengan volume masing-masing 0,375 m³. Tabel 4.3 akan menjelaskan perhitungan volume *floating breakwater* yang tercelup.



Gambar 4. 3 Bagian *floating breakwater* yang tercelup

Tabel 4. 3 perhitungan volume *floating breakwater* tercelup

Tabel perhitungan gaya apung		
Bidang	Dimensi (m)	Volume (m ³)
Floaton	9x3x0,8	21.6
Beton atas	0,3x3x0,5	0.9
Beton samping	0,5x0,5x3	0.75
Total		23.25

Dari tabel tersebut didapatkan volume total *floating breakwater* yang tercelup kemudian dimasukkan kedalam formula perhitungan gaya apung dibawah ini :

$$N = V \cdot \rho$$

Dengan :

$$N = \text{Bouyancy}$$

$$\rho = \text{massa jenis fluida}$$

$$V = \text{Volume Floating breakwater}$$

$$N = 23.25 \times 1.025$$

Maka didapatkan daya apung sebesar 23,83 kN dengan daya apung sebesar itu *floating breakwater* ini terapung karena daya apung melebihi berat dari struktur *floating breakwater* tersebut.

4.1.3 Centre Of Gravity (COG)

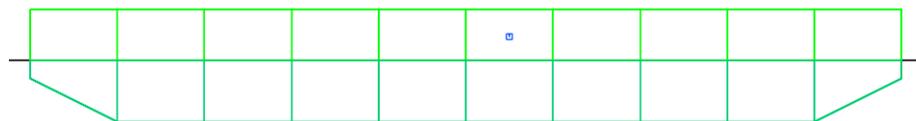
Centre of Gravity (COG) dapat diartikan sebagai titik berat dari sebuah struktur tiga dimensi. Pada tugas akhir ini diperlukan nilai dari COG tersebut karena nilai COG tersebut diperlukan untuk analisa gerak bebas dari struktur *floating*

breakwater tersebut. Dalam perhitungan COG diperlukan nilai *longitudinal centre of gravity (LCG)*, *transversal centre of gravity (TCG)*, dan *vertical centre of gravity (VCG)*. LCG menandakan arah sesuai dengan sumbu X pada struktur *floating breakwater*, TCG arah sesuai dengan sumbu Y dan VCG arah sesuai dengan sumbu Z struktur *floating breakwater*. Tabel 4.4 merupakan cara untuk menghitung nilai COG dari struktur *floating breakwater* ini.

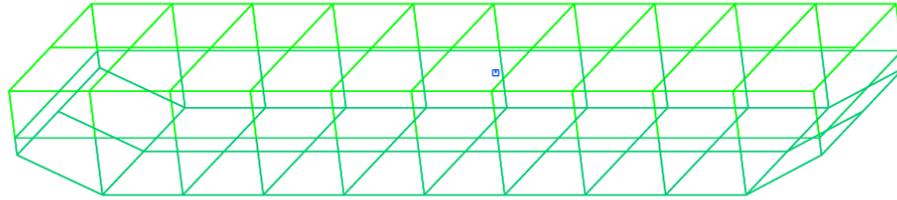
Tabel 4. 4 perhitungan COG *floating breakwater*

CENTRE OF GRAVITY							
No	Item	Volume (m3)	Berat Jenis (Kg/m3)	Berat Item (Kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
1	Floaton	0.125	48	1296	4.5	0	0.5
2	Bidang 1	0.375	2400	900	-0.166	0	0.333
3	Bidang 2	1.2	2400	2880	-0.25	0	0.9
4	Bidang 3	5.4	2400	12960	4.5	0	1.15
5	Bidang 4	1.2	2400	2880	9.25	0	0.9
6	Bidang 5	0.375	2400	900	9.166	0	0.333
Total				21816			

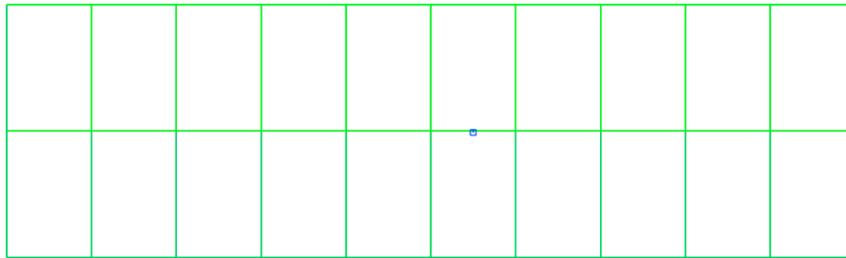
Dari tabel 4.4 didapatkan nilai momen X, momen Y, dan momen Z. Itu merupakan hasil kali dari letak titik Lcg, Tcg, dan Vcg dengan berat dari setiap bentuk sederhana dari *floating breakwater* yang seperti gambar 4.2. Untuk mendapatkan nilai COG nilai dari setiap momen tersebut dibagi dengan berat total dari sturuktur *floating breakwater*. Setelah dibagi maka didapatkan nilai COG dari *floating breakwater* tersebut yaitu LCG 4,5 m, TCG 0 m, dan VCG 1 m. Gambar 4.3 hasil dari proses *software* MOSES menunjukkan letak titik COG.



a.



b.



c.

Gambar 4. 4 (a). Tampak samping *floating breakwater* dari software *MOSES*.(b). Isometri *floating breakwater* dari software *MOSES*. (c). Tampak atas *floating breakwater* dari software *MOSES*.

4.1.4 Radius Girasi

Selain nilai COG yang dibutuhkan untuk analisa gerak bebas pada *floating breakwater* nilai lain yang dibutuhkan adalah radius girasi. Radius girasi diartikan letak suatu titik terhadap sumbu yang melalui pusat berat atau COG. Nilai radius girasi pada tugas akhir ini dilambangkan dengan R_x untuk radius terhadap sumbu X, R_y terhadap sumbu Y, dan R_z terhadap sumbu Z.

Untuk mencari nilai radius girasi langkah pertama harus mengetahui nilai momen inersia dari struktur *floating breakwater* ini. Agar memudahkan mencari nilai momen inersia maka dicari momen inersia per bentuk sederhana seperti pada gambar 4.2. Setelah didapatkan nilai momen inersia bandingkan COG *floating breakwater* dengan COG setiap bentuk sederhana yang seperti gambar 4.2. Lalu dibandingkan setiap radius girasi dari setiap bentuk sederhana dengan radius girasi *floating breakwater* lalu dihasilkan nilai k_{xx} , k_{yy} , dan k_{zz} . Nilai k_{xx} yang dihasilkan adalah 99600, $k_{yy} = 474635.8$, dan $k_{zz} = 394602$. Untuk mencari radius girasi digunakan formula dibawah ini

$$R_X = \sqrt{\frac{K_{xx}}{\text{Massa total}}}$$

$$R_X = \sqrt{\frac{99600}{14796}}$$

$$R_X = 2.59452 \text{ m}$$

$$R_y = \sqrt{\frac{K_{yy}}{\text{Massa total}}}$$

$$R_y = \sqrt{\frac{474635.8}{14796}}$$

$$R_z = 5.6638023 \text{ m}$$

$$R_z = \sqrt{\frac{K_{zz}}{\text{Massa total}}}$$

$$R_z = \sqrt{\frac{394602}{14796}}$$

$$R_z = 5.16425 \text{ m}$$

4.2 Analisis Gerak Floating breakwater Pada Saat Free Floating

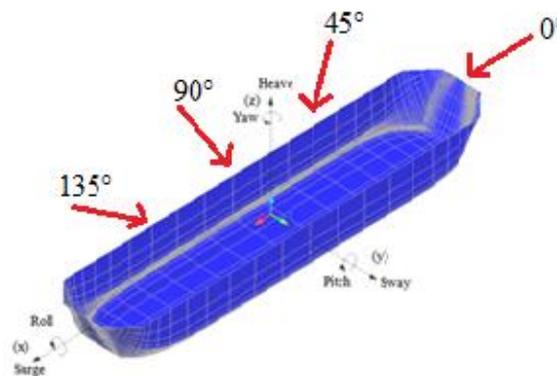
Pada tugas akhir kali ini struktur *floating breakwater* akan dianalisa gerakanya dengan keadaan terapung bebas atau *free floating*. Hal ini ditujukan karena untuk menghitung *tension* pada *mooringline floating breakwater* harus didapatkan dulu nilai-nilai respon gerak struktur untuk di-*input* kan pada *software Orcaflex*. Nilai-nilai respon gerak ini dihasilkan dari *software MOSES*. Nilai-nilai respon gerak tersebut di-*input* kan sebagai respon gerak yang terjadi akibat beban lingkungan yang terjadi seperti beban gelombang, beban arus, dan beban angin yang bekerja pada *floating breakwater* tersebut.

Analisa respon gerak bangunan *floating breakwater* ini meliputi enam derajat kebebasan dari gerak bangunan apung. Enam dereajat kebebasan pada gerakan benda apung terbagi menjadi dua ada gerak translasional dan geraka rotasional . Pada gerak translasional ada tiga gerakan yaitu *surge, sway dan heave* sedangkan pada gerakan rotasional ada gerakan *roll, pitch, dan yaw*. Analisis respon gerak struktur *floating breakwater* ini menggunakan arah *heading* gelombang $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, \text{ dan } 180^\circ$ untuk masing-masing gerak baik dari gerak translasional maupun gerak rotasional.

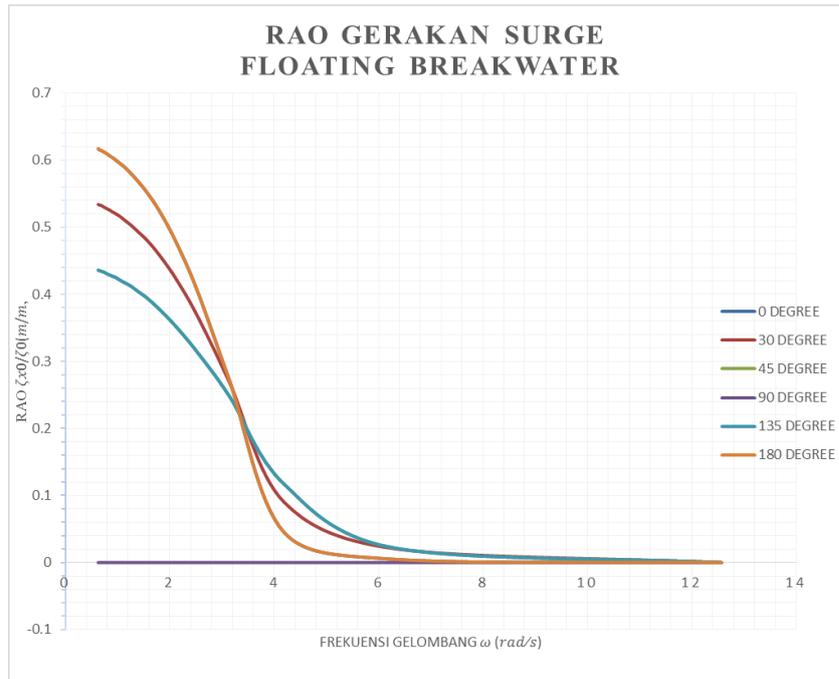
4.2.1 Respons Amplitude Operator (RAO) *Floating Breakwater* kondisi *free floating*

Dalam analisa gerak *floating breakwater* hal yang utama adalah RAO (*Respons Amplitude Operator*). RAO merupakan transfer function atau informasi tentang karakteristik gerak dari struktur bangunan terapung. RAO pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik dimana absisnya berupa parameter frekuensi dan ordinatnya nilai RAO tersebut. Berikut merupakan grafik dari RAO enam derajat kebebasan dari gerak struktur *floating breakwater*.

Karakteristik gerakan *floating breakwater* dapat dilihat pada gambar 4.5 sampai 4.10. Dalam gambar grafik yang disajikan grafik mengenai RAO dari masing-masing gerak dapat diketahui bahwa garis berwarna biru merupakan arah *heading* gelombang 0° , garis merah merupakan arah *heading* gelombang 30° , garis hijau merupakan arah *heading* gelombang 45° , garis berwarna ungu merupakan arah *heading* 90° , warna biru muda merupakan arah *heading* 135° , dan warna oranye merupakan arah *heading* 180° . Dalam grafik tersebut juga absis dari grafik merupakan frekuensi gelombang dan ordinatnya merupakan RAO dari struktur tersebut. Gambar 4.5 akan menjelaskan gerakan enam derajat kebebasan dan arah datang gelombang pada struktur *floating breakwater*.

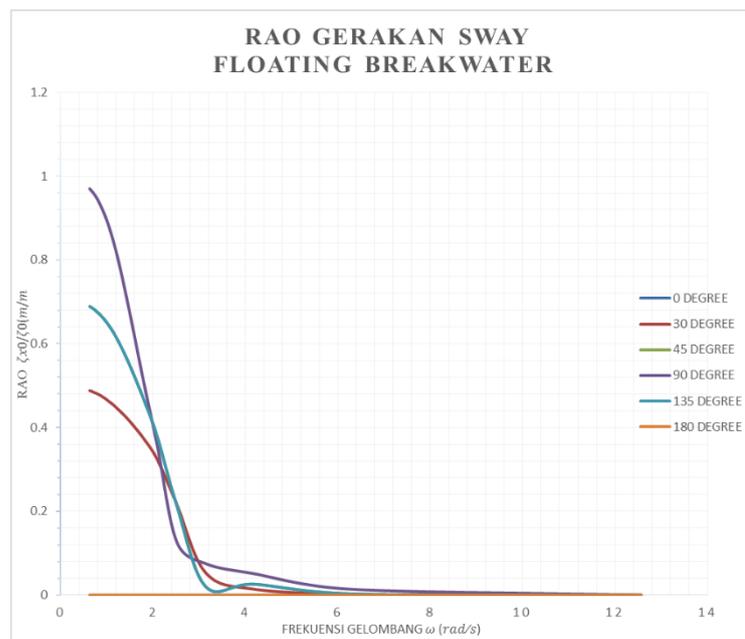


Gambar 4.5 *heading* arah gelombang



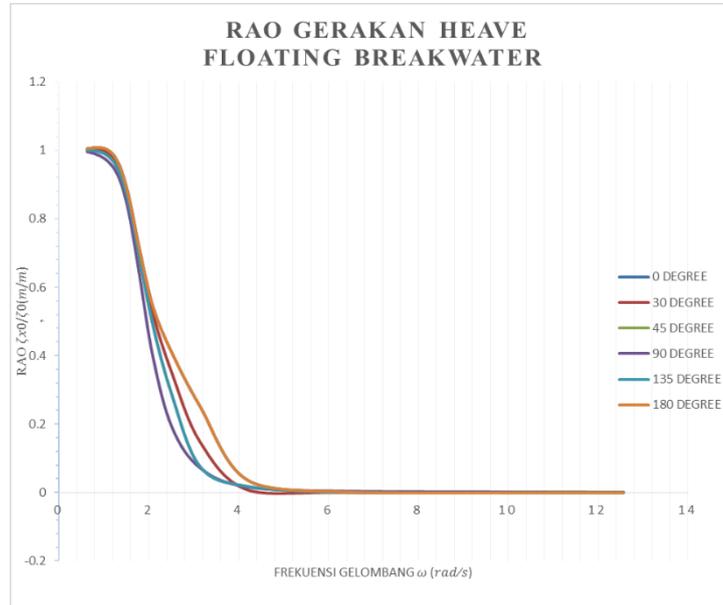
Gambar 4. 6 RAO surge pada *floating breakwater*

Pada moda gerak *surge* seperti disajikan pada gambar 4.6, RAO tertinggi *floating breakwater* ini berada pada arah pembebanan 0° yaitu sebesar 0,617 m/m dan RAO bernilai 0 pada arah pembebanan 90° . Selanjutnya pada moda gerak *sway* seperti yang disajikan pada gambar 4.7, RAO tertinggi pada arah pembebanan 90° yaitu bernilai 0,97 m/m dan RAO bernilai 0 pada arah pembebanan 0° .



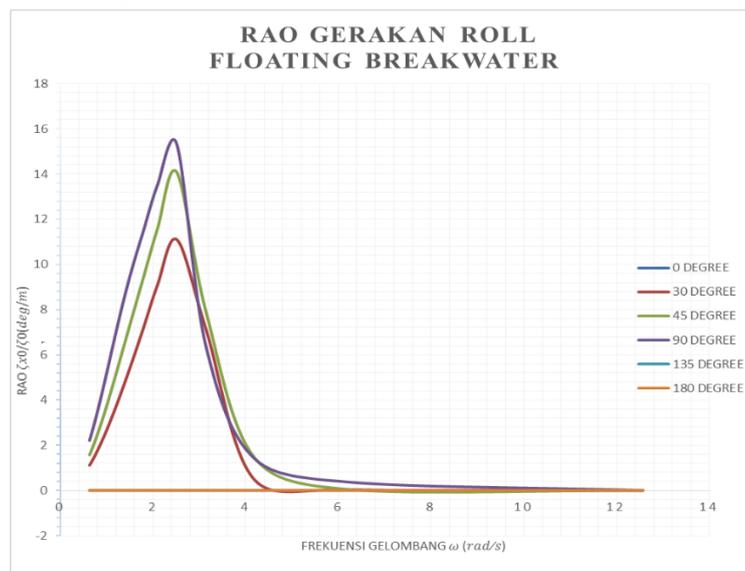
Gambar 4. 7 RAO sway pada *floating breakwater*

Pada gambar 4.8 grafik penjelasan RAO moda gerak *heave*, RAO tertinggi *floating breakwater* ini berada pada arah pembebanan 0° yaitu sebesar 1,008 m/m dan RAO bernilai 0,996 pada arah pembebanan 90° .

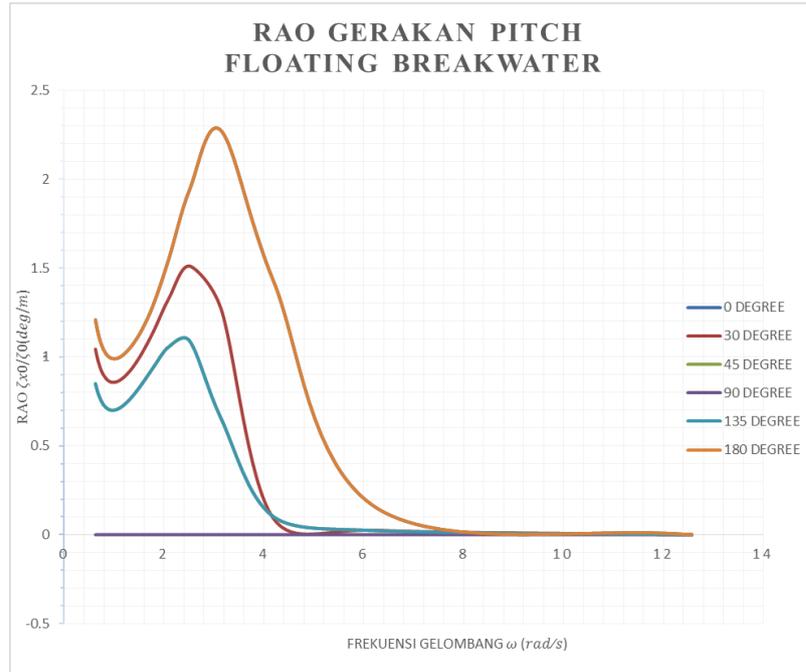


Gambar 4. 8 RAO *heave* pada *floating breakwater*

Pada gambar 4.9 grafik RAO moda gerak *roll*, amplitude tertinggi *floating breakwater* ini berada pada arah pembebanan 90° yaitu sebesar 15,302 deg/m dan amplitude bernilai 0,002 pada arah pembebanan 0° . Selanjutnya gambar 4.10 pada moda gerak *pitch* RAO tertinggi pada arah pembebanan 0° yaitu bernilai 2,273 deg/m dan RAO bernilai 0 pada arah pembebanan 90° .

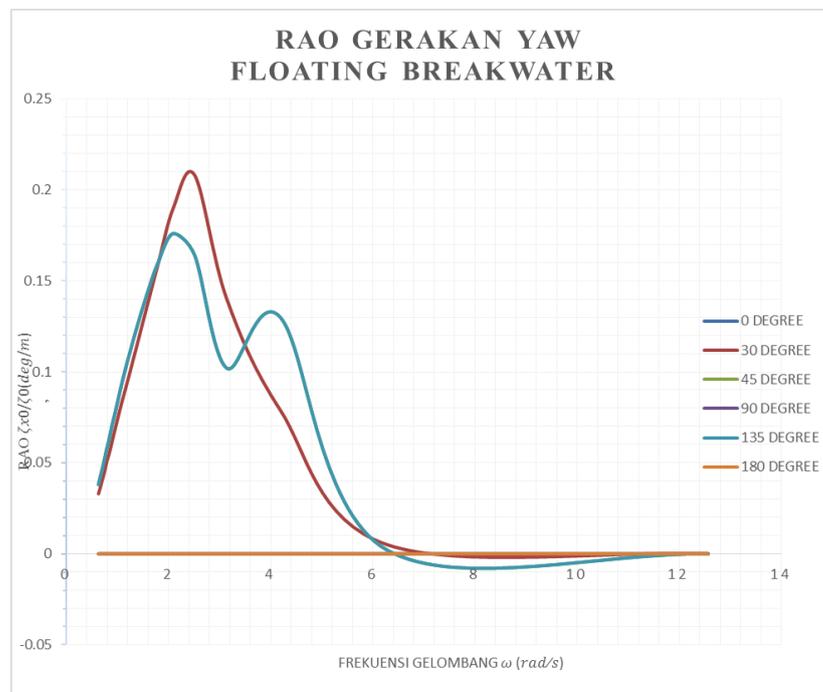


Gambar 4. 9 RAO *roll* pada *floating breakwater*



Gambar 4. 10 RAO *pitch* pada *floating breakwater*

Pada gambar 4.11 grafik RAO moda gerak *yaw*, RAO tertinggi *floating breakwater* ini berada pada arah pembebanan 45° yaitu sebesar 0,708 deg/m dan RAO bernilai 0 pada arah pembebanan 90° dan arah 0°.



Gambar 4. 11 RAO *yaw* pada *floating breakwater*

4.3 *Taut Mooring*

Pada tugas akhir ini struktur *floating breakwater* ditambatkan menggunakan *mooring* dengan konfigurasi *taut mooring system*. *Taut mooring system* ini menggunakan prinsip memanfaatkan tegangan sistem tambat (*mooring*) untuk menahan gaya apung dari struktur tersebut. Dengan keadaan sistem tambat yang tegang ini penggunaan *taut mooring* menjadi memiliki radius *mooring* yang lebih rendah. Spesifikasi dari *mooring floating breakwater* ini adalah menggunakan rantai atau *chain*. Penggunaan rantai sebagai tali tambat sudah sangat umum di dunia kelautan. Rantai dipilih karena memiliki daya angkat, daya tarik, daya gesek, dan daya tahan yang lebih lama dibandingkan dengan *wire rope*. Penggunaan sistem *taut mooring* menggunakan sudut *mooring* sebesar 30° atau 45° hal ini diatur dalam standar milik *Bureau Veritas*.

Taut mooring system ini sudah banyak diaplikasikan pada bangunan - bangunan terapung baik bangunan masif ataupun bangunan apung yang kecil. Beberapa contoh penggunaan *taut mooring system* pada bangunan masif adalah penggunaan pada bangunan *Tension Leg Platform West Seno* yang berada di Selat Makassar Indonesia. Gambar 4.10 merupakan contoh aplikasi *taut mooring system* pada platform tipe SPAR *Red Hawk* milik *Kerr and Mcgee Oil and Gas Corps*. Selain dari *taut mooring system* ada juga contoh pengaplikasian *catenary mooring system* pada *floating breakwater* di Port of Bremerton, Washington, Amerika Serikat.



Gambar 4. 12 *Red Hawk SPAR Platform*

Tabel 4. 5 Koordinat *mooring* pada muka air 5 m dan 6,2 m

No line	Panjang mooring (m)	ELEVASI MUKA AIR	Ordinat Mooring pada seabed	
			X	y
Line 1	7,1	5 m dan 6,2 m	0	3.7
Line 2	7,1		0	-6.7
Line 3	7,1		-9	3.7
Line 4	7,1		-9	-6.7
Line 5	7,1		-4.5	3.7
Line 6	7,1		-4.5	-6.7

Tabel 4.5 menjelaskan koordinat *mooring* yang terpasang pada *seabed* pada kedalaman 5 m dan 6,2 m. Pada tabel diatas disajikan pula panjang *mooring* pada setiap *fairlead*.

Tabel 4. 6 Koordinat *mooring* pada muka air 7 m dan 8,2 m

No line	Panjang mooring (m)	ELEVASI MUKA AIR	Ordinat Mooring pada seabed	
			X	y
Line 1	9,1	7 m dan 8,2 m	0	4,7
Line 2	9,1		0	-7.7
Line 3	9,1		-9	4.7
Line 4	9,1		-9	-7.7
Line 5	9,1		-4.5	4.7
Line 6	9,1		-4.5	-7.7

Tabel 4.6 menjelaskan koordinat *mooring* yang terpasang pada *seabed* pada kedalaman 7 m dan 8,2 m. Pada tabel diatas disajikan pula panjang *mooring* pada setiap *fairlead*.

Tabel 4. 7 Koordinat *mooring* pada muka air 8 m dan 9,2 m

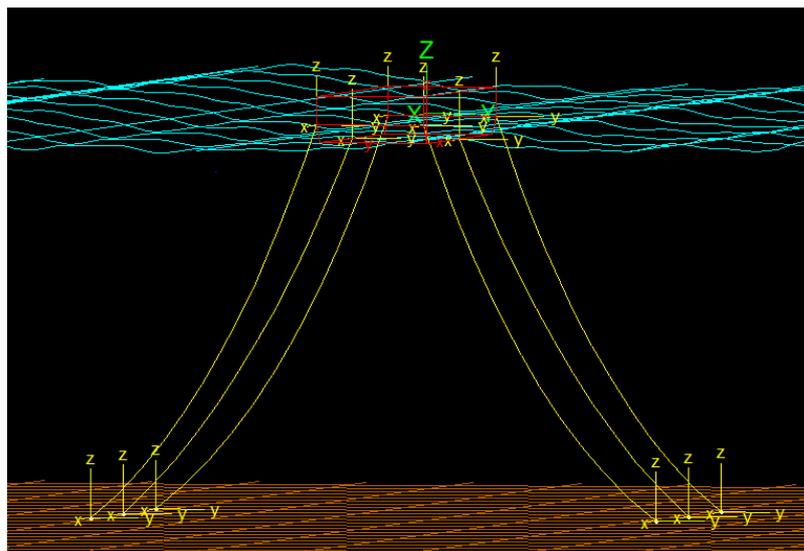
No line	Panjang mooring (m)	ELEVASI MUKA AIR	Ordinat Mooring pada seabed	
			X	y
Line 1	10,1	8 m dan 9,2 m	0	5,2
Line 2	10,1		0	8,2
Line 3	10,1		-9	5,2
Line 4	10,1		-9	8,2
Line 5	10,1		-4.5	5,2
Line 6	10,1		-4.5	8.2

Tabel 4.7 menjelaskan koordinat *mooring* yang terpasang pada *seabed* pada kedalaman 8 m dan 9,2 m. Pada tabel diatas disajikan pula panjang *mooring* pada setiap *fairlead*.

Tabel 4. 8 Koordinat *mooring* pada muka air 10 m dan 11,2 m

No line	Panjang mooring (m)	ELEVASI MUKA AIR	Ordinat Mooring pada seabed	
			X	y
Line 1	12,1	11,2 m	0	6.4
Line 2	12,1		0	9.4
Line 3	12,1		-9	6.4
Line 4	12,1		-9	-9.4
Line 5	12,1		-4.5	6.4
Line 6	12,1		-4.5	-9.4

Dari tabel 4.8 diatas dapat dilihat nilai panjang mooring di setiap elevasi muka air juga koorfinat *mooring* pada *seabed*. Dalam mendesain panjang *mooring* pada tugas akhir ini menggunakan kondisi pasang tertinggi sehingga dalam keadaan surut *mooring* akan terlihat kendur dibandingkan pada saat kondisi pasang. Untuk lebih jelasnya gambar 4.10 menjelaskan letak sumbu koordinat penambatan *mooring* di *seabed*. Gambar tersebut diambil dari sketsa pada *software Orcaflex* yang digunakan menganalisa *tension* dari *mooring* pada struktur *floating breakwter*.



Gambar 4. 13 letak sumbu koordinat *mooringline*

4.4 Analisa Tension dan Offset

Tension atau tarikan pada suatu tali/*mooringline* pada floating breakwater ini disebabkan oleh gerakan floating breakwater itu sendiri. Dalam mendesain *mooringline* tentu nilai *tension* ini harus diperhatikan tidak boleh melebihi nilai dari *breaking load mooringline* itu sendiri. Untuk memastikan hal tersebut maka nilai *tension* harus memenuhi *safety factor* yang telah ditetapkan oleh standard. Tabel 4.6 merupakan *safety factor* untuk *mooringline tension*.

Tabel 4.9 *mooringline tension safety factor* dari API RP 2SK

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

Analisa tension pada *mooringline* dan *offset* dibantu menggunakan *software Orcaflex*. Hal-hal yang diperlukan dalam melakukan analisa *tension* pada *mooringline* dan *offset* adalah respon gerak dari struktur *floating breakwater* serta beban lingkungan yang terjadi pada struktur *floating breakwater* tersebut. Respon gerak yang dihasilkan dari *software MOSES* akan di-input kan kedalam *software Orcaflex* dengan beban lingkungan yang divariasikan seperti tinggi gelombang, dan arah pembebanan gelombang. Analisa tension dan offset pada *software Orcaflex* ini menggunakan simulasi time history dengan waktu simulasi yang dipakai adalah 10800 detik atau selama 3 jam. Waktu simulasi tersebut dipakai sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh DNV OS E301.

4.4.1 Skenario Desain

Pada pengerjaan tugas akhir ini menggunakan beberapa variasi beban lingkungan yang digunakan dalam analisa tension dan offset *floating breakwater* ini. Berikut merupakan gambar 4.11 *floating breakwater* beserta tabel skenario desain. Dalam tabel skenario desain terdapat variasi tinggi gelombang dimulai dari 0,5m, 1m, dan 1,5m. Variasi berikutnya merupakan arah datang gelombang yaitu

0°, 45°, dan 90° dengan kecepatan angin 5m/s, kecepatan arus 0,338 m/s dan periode gelombang dianggap sama sebesar 3 detik.

Tabel 4. 10 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 5m.

Tabel Skenario desain kedalaman 5 m dan 6,2 m						
Tinggi gelombang (m)	Periode (s)	Kecepatan Arus (m/s)	Kecepatan Angin (m/s)	Pasang surut (m)	Panjang mooring (m)	Heading
0,5	6	0,333	5	1,2	7,1	0°
1						45°
1,5						90°

Tabel 4. 11 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 7m.

Tabel Skenario desain kedalaman 7 m dan 8,2 m						
Tinggi gelombang (m)	Periode (s)	Kecepatan Arus (m/s)	Kecepatan Angin (m/s)	Pasang surut (m)	Panjang mooring (m)	Heading
0,5	6	0,333	5	1,2	9	0°
1						45°
1,5						90°

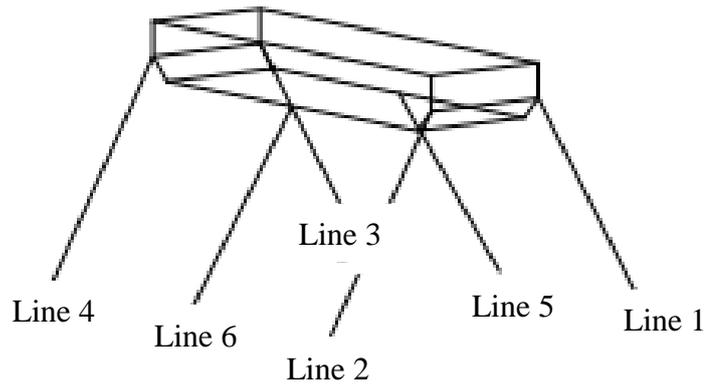
Tabel 4. 12 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 8m.

Tabel Skenario desain kedalaman 8 m dan 9,2 m						
Tinggi gelombang (m)	Periode (s)	Kecepatan Arus (m/s)	Kecepatan Angin (m/s)	Pasang surut (m)	Panjang mooring (m)	Heading
0,5	6	0,333	5	1,2	10,1	0°
1						45°
1,5						90°

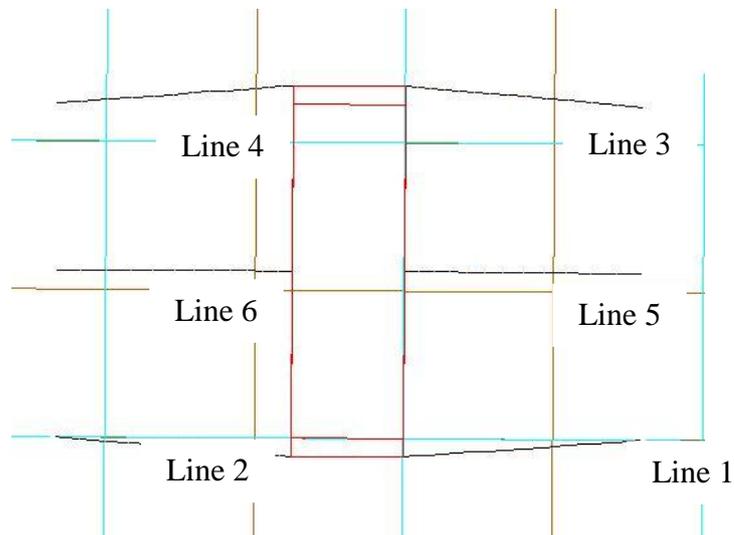
Tabel 4. 13 skenario desain beban lingkungan pada kedalaman 10m.

Tabel Skenario desain kedalaman 11,2 m						
Tinggi gelombang (m)	Periode (s)	Kecepatan Arus (m/s)	Kecepatan Angin (m/s)	Pasang surut (m)	Panjang mooring (m)	Heading
0,5	6	0,333	5	1,2	12,1	0°
1						45°
1,5						90°

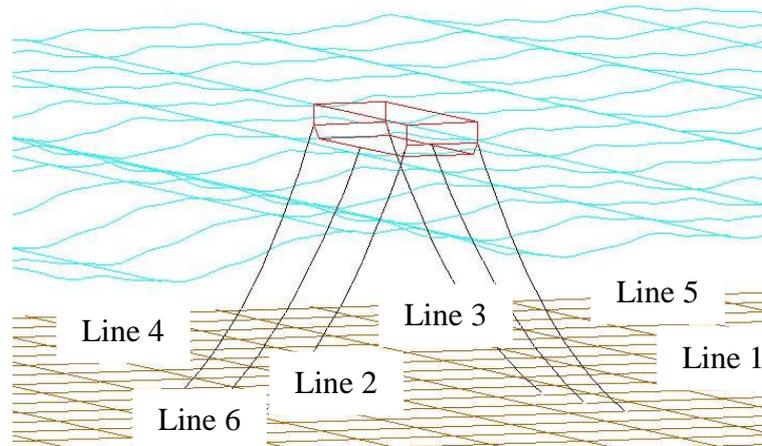
Pada tabel skenario beban lingkungan yang divariasikan adalah tinggi gelombang sebesar 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m serta arah pembebanan gelombang 0°, 45°, dan 90° dan juga kedalaman perairan. Pada gambar 4.11 hingga 4.13 merupakan gambar pada simulasi menggunakan *software Orcaflex*.



Gambar 4. 14 Struktur *floating breakwater* dengan *mooringline*



Gambar 4. 15 Tampak atas pemodelan struktur *floating breakwater* dengan *Orcaflex*.



Gambar 4. 16 pemodelan struktur *floating breakwater* dengan *Orcaflex*

4.4.2 Tension dan Offset

Setelah dibuat skenario desain maka selanjutnya adalah proses simulasi *software Orcaflex* untuk mencari nilai *tension* dan *offset* dari masing-masing skenario yang sudah dibuat. Simulasi pada perhitungan *tension* digunakan simulasi *time history* dengan waktu simulasi selama 10800 detik sesuai dengan standard dari DNV OS E301. Untuk simulasi menggunakan *software Orcaflex* ini hal yang dibutuhkan yaitu respon gerak bangunan, beban lingkungan, serta *mooringline* yang akan disimulasikan. Untuk respon bangunan kita dapatkan dari hasil proses *software MOSES* sebelumnya. Hasil proses tersebut di-inputkan sebagai respon gerak dari *floating breakwater* tersebut. Setelah hasil proses *software* di-inputkan lalu bisa dimulai proses simulasi menggunakan *software Orcaflex*. Berikut merupakan tabel nilai *tension* yang didapatkan pada skenario elevasi muka air 11,2m dapat diketahui pada tabel 4.14 nilai *tension* tertinggi terjadi di *line* nomor 6 dengan tinggi gelombang 1,5 m dan arah datang gelombang 90° dengan nilai 13,19 kN dengan *safety factor* 5 memenuhi dari standar API RP 2SK senilai 1.67.

Tabel 4. 14 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 11,2 m.

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
6	8.99	0,5	0°	7.34	0.2165	0.0087
6	9.39	1		7.03	0.1105	0.0541
6	13.19	1,5		5.00	0.3546	0.0301
4	8.99	0,5	45°	7.34	0.1069	0.0045
4	9.52	1		6.93	0.2752	0.0318
4	10.44	1,5		6.32	0.3462	0.0148
6	9.06	0,5	90°	7.28	0.0301	0.0015
6	9.62	1		6.86	0.3065	0.00235
6	10.62	1,5		6.22	0.00967	0.00135

Pada tabel 4.15 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 10m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 2 dengan nilai *tension* sebesar 5.55 kN dengan *safety factor* 11.95. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1,5m dan arah *heading* gelombang 90°. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 45° adalah senilai 5.5 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 5.27 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6.

Tabel 4. 15 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 10 m

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
6	5.02	0,5	0°	13.14	0.3496	0.04272
6	5.27	1.00		12.52	0.146398	0.00012
6	5.53	1,5		11.94	0.2168	0.155102
4	5.02	0,5	45°	13.14	0.24265	0.026967
4	5.16	1.00		12.79	0.0465	0.021786
4	5.50	1,5		12.00	0.00139	0.010631
6	5.06	0,5	90°	13.03	0.03867	0.00831
6	5.20	1.00		12.69	0.00507	0,031973
6	5.55	1,5		11.90	0.08692	0.034252

4.4.3 Hasil Simulasi pada muka air 8 m dan 9,2 m

Pada tabel 4.16 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 9,2m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 2 dengan nilai *tension* sebesar 8.38 kN dengan *safety factor* 15.95. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1 m dan arah *heading* gelombang 90°. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 45° adalah senilai 8.25 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 6.55 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6.

Tabel 4. 16 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 9,2m

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
2	6.79	0,5	0°	16.55	0.03477	0.00049
2	6.55	1		16.34	0.25383	0.0005
2	6.10	1,5		15.95	0.26722	0.00023
2	6.79	0,5	45°	16.26	0.02202	0.00371
2	8.25	1		15.95	0.20939	0.02154
2	7.24	1,5		15.35	0.13262	0.02199
6	7.40	0,5	90°	16.14	0.00054	0.00410
6	8.38	1		15.95	0.00035	0.03381
6	6.88	1,5		15.07	0.00102	0.02345

Pada tabel 4.17 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 8 m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 6 dengan nilai *tension* sebesar 4.36 kN dengan *safety factor* 15.07. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1,5m dan arah *heading* gelombang 90°. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 45° adalah senilai 4.28 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 4.12 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6.

Tabel 4. 17 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 8 m

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
6	3.97	0,5	0°	16.55	0.03477	0.00049
6	4.02	1		16.34	0.25383	0.0005
6	4.12	1,5		15.95	0.26722	0.00023
4	4.04	0,5	45°	16.26	0.02202	0.00371
4	4.12	1		15.95	0.20939	0.02154
4	4.28	1,5		15.35	0.13262	0.02199
6	4.07	0,2	90°	16.14	0.00054	0.00410
6	4.12	1		15.95	0.00035	0.03381
6	4.36	1,5		15.07	0.00102	0.02345

4.4.4 Hasil Simulasi pada muka air 7 m dan 8,2 m

Pada tabel 4.18 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 8,2 m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 2 dengan nilai *tension* sebesar 8.40 kN dengan *safety factor* 7.84. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1,5m dan arah *heading* gelombang 90°. Nilai *tension* maksimum sangat tipis dari *safety factor* yang diajukan dari standar API RP 2SK. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 45° adalah 8.30 kN terjadi pada *mooringline* nomor 2 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 7.27 kN terjadi pada *mooringline* nomor 2.

Tabel 4. 18 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 8,2 m

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
2	6.64	0,5	0°	9.92	0.0508	0.00319
2	7.27	1		9.07	0.0681	0.00035
2	6.50	1,5		10.14	0.0508	0.00031
2	6.64	0,5	45°	9.92	0.0236	0.00012
2	7.13	1		9.25	0.0438	0.00085
2	8.30	1,5		7.94	0.0302	0.00016
2	6.72	0,5	90°	9.81	0.0076	0.00071
2	7.27	1		9.07	0.0088	0.00029
2	8.40	1,5		7.84	0.0071	0.00054

Pada tabel 4.19 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 7 m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 2 dengan nilai *tension* sebesar 3.83 kN dengan *safety factor* 17.19. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1,5m dan arah *heading* gelombang 90°. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 45° adalah senilai 3.47 kN terjadi pada *mooringline* nomor 2 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 3.76 kN terjadi pada *mooringline* nomor 2.

Tabel 4. 19 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 7 m.

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
2	3.35	0,5	0°	19.69	0.02484	0.00019
2	3.76	1		17.52	0.19328	0.00019
2	3.51	1,5		18.80	0.31767	0.00026
2	3.35	0,5	45°	19.69	0.02279	0.00189
2	3.47	1		19.00	0.11695	0.01478
2	3.8	1,5		17.32	0.25804	0.00678
6	3.3	0,5	90°	19.53	0.00021	0.00311
6	3.52	1		18.71	0.01396	0.03159
6	3.83	1,5		17.19	0.00210	0.02056

4.4.5 Hasil Simulasi pada muka air 5 m dan 6,2 m

Pada tabel 4.20 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 6,2 m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 6 dengan nilai *tension* sebesar 9.68 kN dengan *safety factor* 6.8. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1,5m dan arah *heading* gelombang 90°. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 45° adalah senilai 9.51 kN terjadi pada *mooringline* nomor 2 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 5.37 kN terjadi pada *mooringline* nomor 2.

Tabel 4. 20 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 6,2 m

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
2	6.93	0,5	0°	9.52	0.00813	0.000035
2	5.37	1		12.29	0.09242	0.000017
2	4.58	1,5		14.41	0.01062	0.000053
2	6.93	0,5	45°	9.52	0.06019	0.00045
2	7.62	1		8.66	0.0054	0.00184
2	9.51	1,5		6.94	0.0054	0.00307
6	7.03	0,5	90°	9.39	0.00005	0.00307
6	7.77	1		8.50	0.00035	0.00196
6	9.68	1,5		6.82	0.00016	0.00044

Pada tabel 4.21 merupakan hasil simulasi *software Orcaflex* pada skenario desain elevasi muka air 5 m. Diketahui dari tabel tersebut nilai maksimum *tension* pada *mooringline* nomor 6 dengan nilai *tension* sebesar 2.61 kN dengan *safety factor* 24.8. Nilai *tension* yang terbesar ini pada keadaan tinggi gelombang 1,5m dan arah *heading* gelombang 45°. Untuk nilai *tension* terbesar pada *heading* gelombang 90° adalah senilai 2.66 kN terjadi pada *mooringline* nomor 6 sedangkan nilai *tension* terbesar pada *heading* 0° senilai 2.75 kN terjadi pada *mooringline* nomor 3.

Tabel 4. 21 Hasil nilai *tension* pada *mooring floating breakwater* skenario desain elevasi muka air 5 m.

No line	Maximum tension (kN)	Tinggi gelombang (m)	Arah gelombang	SF	Offset (m)	
					x	y
3	2.30	0,5	0°	28.71	0.06149	0.000038
3	2.75	1		23.97	0.37433	0.00025
3	2.56	1,5		25.76	0.21816	-5.8E-05
2	2.30	0,5	45°	28.71	0.00869	0.0008
2	2.39	1		27.61	0.087239	0.023654
2	2.61	1,5		25.31	0.046383	0.014361
6	2.31	0,5	90°	28.57	0.00763	0.001824
6	2.42	1		27.28	0.02298	0.02212
6	2.66	1,5		24.80	0.01159	0.01517

4.5 Spesifikasi Mooring

Pada *mooring* yang dipakai untuk struktur *floating breakwater* ini menggunakan *mooring* dengan tipe rantai/*chain*. Penggunaan rantai dengan pertimbangan daya tahan yang lebih lama dibandingkan *wire rope*. Dengan hasil simulasi *tension maximum* yang didapatkan maka dipilih *chain mooring* dengan ukuran *initial diameter* 12,5 mm dengan nilai *maximum breaking load* sebesar 66 kN. Pemilihan spesifikasi *mooring* berdasarkan dari hasil analisa *tension* yang disajikan pada Gambar 4.15 grafik di bawah ini.

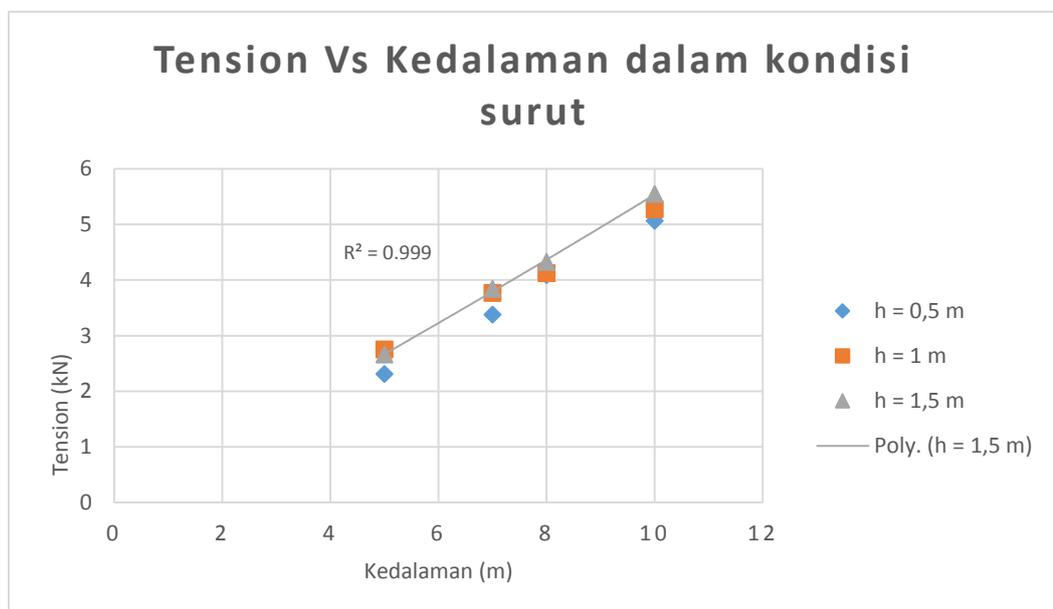


Gambar 4. 17 Grafik hasil simulasi *tension* maksimum kondisi pasang

Dari gambar 4.17 grafik tersebut dapat kita lihat sesuai dengan skenario desain pada kondisi perairan sedang pasang dengan tinggi gelombang 0,5 m pada kedalaman 6,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 7.02 kN. Pada skenario desain kedalaman air 8,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 6.72 kN. Pada skenario desain kedalaman 9,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 7.40 kN dan pada skenario desain kedalaman 11,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 9.06 kN.

Pada kondisi tinggi gelombang 1 m pada kedalaman 6,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 5.37 kN. Pada skenario desain kedalaman air 8,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 7.27 kN. Pada skenario desain kedalaman 9,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 8.31 kN dan pada skenario desain

kedalaman 11,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 9.62 kN dan untuk kondisi tinggi gelombang 1,5 m pada kedalaman 6,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 7.24 kN. Pada skenario desain kedalaman air 8,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 8.42 kN. Pada skenario desain kedalaman 9,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 9.67 kN dan pada skenario desain kedalaman 11,2 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 13.19 kN. Dari hasil pencarian nilai *tension* yang diplotkan pada grafik kartesian, dengan bantuan *software* pengolah angka didapatkan persamaan sederhana untuk mencari nilai *tension* $y = 0.1963x^2 - 2.2237x + 13.479$ dengan nilai *y* sebagai variabel *tension* dan nilai *x* merupakan variabel kedalaman.



Gambar 4. 18 Grafik hasil simulasi *tension* maksimum kondisi surut

Dari gambar 4.18 grafik tersebut dapat kita lihat sesuai dengan skenario desain pada kondisi perarirang sedang pasang dengan tinggi gelombang 0,5 m pada kedalaman 5 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 2.31 kN. Pada skenario desain kedalaman air 7 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 3.37 kN. Pada skenario desain kedalaman 8 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 4.08 kN dan pada skenario desain kedalaman 10 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 5.06 kN.

Pada kondisi tinggi gelombang 1 m pada kedalaman 5 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 2.75 kN. Pada skenario desain kedalaman air 7 m dihasilkan

tension maksimum sebesar 3.76 kN. Pada skenario desain kedalaman 8 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 4.12 kN dan pada skenario desain kedalaman 10 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 5.27 kN dan untuk kondisi tinggi gelombang 1,5 m pada kedalaman 5 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 2.66 kN. Pada skenario desain kedalaman air 7 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 3.83 kN. Pada skenario desain kedalaman 8 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 4.32 kN dan pada skenario desain kedalaman 10 m dihasilkan *tension* maksimum sebesar 5.54 kN. Dari hasil pencarian nilai *tension* yang diplotkan pada grafik kartesian dengan bantuan *software* pengolah angka didapatkan persamaan sederhana untuk mencari nilai *tension* $y = 0.0041x^2 + 0.5128x + 0.0054$ dengan nilai *y* sebagai variabel *tension* dan nilai *x* merupakan variabel kedalaman.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian tugas akhir ini adalah jawaban dari rumusan masalah dalam tugas akhir. Berdasarkan analisis dari data dan kondisi lingkungan dilanjutkan analisis respon gerak struktur *floating breakwater* dilanjutkan mencari *tension maximum* pada *mooring* dan dilanjutkan mencari spesifikasi *mooring* yang akan digunakan.

1. Pada analisis respon gerak didapatkan karakteristik gerakan *floating breakwater* dengan nilai RAO terbesar pada moda gerak *Surge* pada arah 0° sebesar 0,617 m/m, RAO *Sway* arah 90° sebesar 0,976 m/m, RAO *Heave* pada arah 0° sebesar 1,008 m/m, RAO *Roll* arah 90° sebesar 15,302 deg/m, RAO *Pitch* arah 0° sebesar 2,273 deg/m, dan RAO *Yaw* arah 45° sebesar 0,176 deg/m.

2. Pada analisis *tension* maksimum dalam kondisi pasang dalam rentang kedalaman 6,2 m – 11,2 m didapatkan nilai *tension* maksimum pada tinggi gelombang 0,5 m sebesar 7.02 kN – 9.06 kN. Untuk tinggi gelombang 1 m nilai *tension* maksimum sebesar 5.37 kN – 9.6 kN dan untuk tinggi gelombang 1,5 m didapatkan nilai *tension* sebesar 7.24 kN – 13.19 kN. Pada kondisi surut dalam rentang kedalaman 5 m – 10 m didapatkan nilai *tension* maksimum pada tinggi gelombang 0,5 m sebesar 2.31 kN – 5.06 kN. Untuk tinggi gelombang 1 m *tension* maksimum 2.75 kN – 5.27 kN dan untuk tinggi gelombang 1,5 m *tension* maksimum yang didapatkan sebesar 2.66 kN – 5.54 kN. Pada analisa *offset* maksimum dalam keadaan pasang pada rentang kedalaman 6,2 m -11,2 m pada tinggi gelombang 0,5 m adalah sebesar 0.3547 m arah sumbu x dan 0.00301 m arah sumbu y. Pada tinggi gelombang 1 m 0.3462 m arah sumbu x dan 0.0148 arah sumbu y dan pada tinggi gelombang 1,5 m sebesar 0.3069 m arah sumbu x dan 0.0023 m arah sumbu y. Pada analisa *offset* maksimum dalam keadaan surut pada rentang kedalaman 5 m -10 m pada tinggi gelombang 0,5 m adalah sebesar 0.2169 m arah sumbu x dan 0.1551 m arah sumbu y. Pada tinggi gelombang 1 m 0.2462 m

arah sumbu x dan 0.0268 arah sumbu y dan pada tinggi gelombang 1,5 m sebesar 0.0869 m arah sumbu x dan 0.0034 m arah sumbu y.

3. Didapatkan spesifikasi *mooring* dengan ukuran 12,5mm dengan nilai *maximum breaking load* 66 kN.

5.2 Saran

Penulis memahami dalam tugas akhir ini banyak kekurang yang menjadi perhatian. Oleh karena itu penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk membuat tugas akhir ini lebih bermanfaat. Saran dari penulis untuk kegiatan penelitian selanjutnya adalah :

1. Menghitung *fatigue life* pada *mooringline* di struktur *floating breakwater*.
2. Menghitung *holding capacity* pada jangkar yang dibutuhkan pada *floating breakwater* ini.
3. Dilakukan analisa *tension* pada sistem rangkaian *multi pontoon floating breakwater*.

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2SK 2nd edition, 1996, “*Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*”, Washington, DC.
- Bhattacharyya, 1972, *Dynamic of Marine Vehicles*, a Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York.
- Biesheuvel, A. C. 2013. *Effectiveness of Floating Breakwaters*. Delft University of Technology
- Danial, 2015 *Struktur Terapung Sebagai Pengganti Reklamasi*.
www.kompasiana.com Indonesia.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press
- Dong, G. H. 2008. *Experiments on wave transmission coefficient of floating breakwater* . Ocean Engineering 35. 931–938.
- DNV-OS-E301, 2013, “*Position Mooring*”, United States
- Eastern Designers and Company Limited. 1991. *Breakwaters. Planning Guidelines for Commercial Fishing Harbours* . Atlantic Canada
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads On Ships And Offshore Structures*. United Kingdom : Cambridge University Press
- Firdaus, Yanuar. 2008. *Desain Mooring pada Floating Breakwater*. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Fousert, M. W. 2006. *Floating breakwater : a Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System*, Section of Hydraulic Engineering. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology. Netherland.
- Hales, L. Z., 1981. *Floating breakwater s State of The Art Literature Review*. Mississipi : Waterway Experiment Station, Corps of Engineer

Henry, F. Robert. 2009. *Design and Construction of Floating Breakwaters for the Port of Bremerton using Physical and Computer Modeling*, Reid Middleton. USA.

McCartney, B. FL. 1985. *Floating breakwater Design*, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. Vol. 111. No. 2.

<http://www.fdn-engineering.nl/floating-breakwater-in-messolonghi> diakses pada tanggal 13 Februari 2017 pukul 23.35 WIB.

<http://sfmarinausa.com/floating-breakwaters/> diakses pada tanggal 13 Februari 2017 pada pukul 22.47 WIB.

PIANC. 1994. *Floating Breakwater A Practical Guide for Design and Construction*. Report of Working Group No.13 of The Permanent. Technical Committee II. Brussel. Belgium

Pond and G.L Pickard, 1983 *Introductory Dynamical Oceanography (second edition)* Elsevier Ltd.

Putra, Risnandi. D. 2011, *Analisa Concrete Block Anchor Pada Floating Breakwater*. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Seelig, W. N. 1976. *A Simplified Method for Determining Vertical Breakwater Crest Elevation Considering Wave Height Transmitted by Overtopping*. U.S. Army Coastal Engineering Research Center. Fort Belvoir, Va. 22060

Shirakura, Y., Tanizawa, K. & Naito, S. 2000, *Development of 3-D Fully Nonlinear Numerical Wave Tank to Simulate Floating Bodies Interacting with Water Waves*. Proceedings of 10th International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle, ISOPE, 3, pp. 253–262,

Sriyana, 2007. *Kerusakan Unit Lapis Lindung Breakwater Akibat Geloombang Acak Spektrum Bretschneider*. Gema-Teknik. Nomor 2/Tahun X Juli. Semarang

Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Falkutas Teknik Universitas Gajah Mada

WCHL, Western Canada Hydraulic Laboratories. 1981, *Development of manual for the Design of Floating Breakwaters*. Canadian manuscript report of Fisheries and Aquatic Sciences, Ottawa.

Wicaksono, M. A. 2015, *Analisis Kekuatan Anchor Pada offshore Floating breakwater Untuk Pelabuhan LNG senoro, Banggai, Sulawesi Tengah*. Tugas Akhir. Institut Teknologi sepuluh nopember, Surabaya.

LAMPIRAN A

Perhitungan berat struktur dan COG *floating breakwater*

Data *Floating Breakwater*

L	10	m
B	3	m
H	1,3	m
T = draft	0,8	m

Perhitungan Material Pada Floating Breakwater					
No	Item	Volume (m3)	Berat Jenis (Kg/m3)	Berat Item	Satuan
1	Floaton	0.125	48	1296	kg
2	Beton 1	0.375	2400	900	kg
3	Beton 2	1.2	2400	2880	kg
4	Beton 3	5.4	2400	12960	kg
5	Beton 4	1.2	2400	2880	kg
6	Beton 5	0.375	2400	900	kg
Total				21816	kg
				21.816	ton

LAMPIRAN B

Perhitungan Jari-jari Girasi

MOMEN INERSIA MASING-MASING BIDANG													
BIDANG 1 dan 5						BIDANG 2 dan 4							
Berat	=	900	Kg/m ³			Berat	=	2880	Kg/m ³				
Panjang	=	0.5	m	=	0.25	m	Panjang	=	0.5	m	=	0.25	m
Tinggi	=	0.5	m	=	0.25	m	Tinggi	=	0.8	m	=	0.64	m
Lebar	=	3	m	=	9	m	Lebar	=	3	m	=	9	m
Inersia X	=	12.5	m ⁴			Inersia X	=	2220	m ⁴				
Inersia Y	=	12.5	m ⁴			Inersia Y	=	213.6	m ⁴				
Inersia Z	=	450	m ⁴			Inersia Z	=	2313.6	m ⁴				

BIDANG 3						
Berat	=	12960	Kg/m ³			
Panjang	=	9	m	=	81	m
Tinggi	=	0.2	m	=	0.04	m
Lebar	=	3	m	=	9	m
Inersia X	=	97200	m ⁴			
Inersia Y	=	87523	m ⁴			
Inersia Z	=	9763.2	m ⁴			

FLOATON						
Berat	=	1296	Kg/m ³			
Panjang	=	9	m	=	81	m
Tinggi	=	1	m	=	1	m
Lebar	=	3	m	=	9	m
Inersia X	=	8856	m ⁴			
Inersia Y	=	9720	m ⁴			
Inersia Z	=	1080	m ⁴			

MOMEN INERSIA MASING-MASING BIDANG											
No	Item	Volume (m3)	Berat Jenis (Kg/m3)	Berat Item (Kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	I0x	I0y	I0z	
1	Floaton	27	48	1296	4.5	0	0.5	8856	9720	1080	
2	Bidang 1	0.375	2400	900	-0.166	0	0.333	12.5	12.5	450	
3	Bidang 2	1.2	2400	2880	-0.25	0	0.9	2220	213.6	2313.6	
4	Bidang 3	5.4	2400	12960	4.5	0	1.15	97200	87523.2	9763.2	
5	Bidang 4	1.2	2400	2880	9.22	0	0.9	12.5	213.6	2313.6	
6	Bidang 5	0.375	2400	900	9.166	0	0.333	2220	12.5	450	
Total				21816							
COG BENDA TERHADAP COG TOTAL											
No	Item	Berat Item (Kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	COG Benda&Total			Momen Y (Kg.m)	Momen X (Kg.m)	Momen Z (Kg.m)
						X	Y	Z			
1	Floaton	1296	4.5	0	0.9	1	0	0.898	5832	0	1166.4
2	Bidang 1	900	-0.166	0	0.333	-0	0	0.332	-149.4	0	299.7
3	Bidang 2	2880	-0.25	0	0.9	640	0	0.898	-720	0	2592
4	Bidang 3	12960	4.5	0	1.15	1	0	1.148	58320	0	14904
5	Bidang 4	2880	9.25	0	0.9	2.06	0	0.898	26640	0	2592
6	Bidang 5	900	9.166	0	0.333	2.04	0	0.332	8249.4	0	299.7
Total		21816							98172	0	21853.8
									4.5	0	1.0017327

JARI-JARI GIRASI									
No	Item	Volume (m3)	Berat Jenis (Kg/m3)	jarak titik berat item terhadap titik berat floating breakwater			koreksi inersia		
				x ²	y ²	z ²	x	y	z
1	Floaton	27	48	20.25	0	0.25	324	26568	26244
2	Bidang 1	0.375	2400	0.027556	0	0.11089	99.8001	124.6005	24.8004
3	Bidang 2	1.2	2400	0.0625	0	0.81	2332.8	2512.8	180
4	Bidang 3	5.4	2400	20.25	0	1.3225	17139.6	279579.6	262440
5	Bidang 4	1.2	2400	85.0084	0	0.81	2332.8	247157	244824
6	Bidang 5	0.375	2400	84.01556	0	0.11089	99.8001	75713.8	75614
Total									

JARI-JARI GIRASI									
Berat Item (Kg)	I0x	I0y	I0z	Kx	Ky	Kz	GIRASI		
1296	8856	9720	1080	9180	36288	27324	2.467703	5.7820359	5.35543
900	12.5	12.5	450	112.3	137.1005	474.8004			
2880	2220	213.6	2314	4553	2726.4	2493.6			
12960	97200	87523	9763	1E+05	367102.8	272203.2			
2880	12.5	213.6	2314	2345	247370.6	247137.8			
900	2220	12.5	450	2320	75726.3	76064			
21816				1E+05	729351.2	625697			

LAMPIRAN C

Data mooringline DAMEN Anchor & Chain Factory Netherland

CHAIN DIAMETER (MM)	PROOFLOAD			BREAKLOAD			MINIMUM WEIGHT (KG) PER LENGTH OF 27,5M
	GRADE 1 (KN)	GRADE 2 (KN)	GRADE 3 (KN)	GRADE 1 (KN)	GRADE 2 (KN)	GRADE 3 (KN)	
12.5	46	66	-	66	92	-	
14	58	82	-	82	115	-	
16	76	107	150	107	150	216	160
17.5	89	127	179	127	179	256	190
19	105	150	211	150	211	301	225
20.5	123	175	244	175	244	349	265
22	140	200	280	200	280	401	300
24	167	237	332	237	332	476	360
26	194	278	389	278	389	556	420
28	225	321	449	321	449	642	490
30	257	368	514	368	514	735	565
32	291	417	583	417	583	833	635
34	328	468	655	468	655	937	720
36	366	523	732	523	732	1050	800
38	406	581	812	581	812	1160	895
40	448	640	896	640	896	1280	995
42	492	703	981	703	981	1400	1100
44	538	769	1080	769	1080	1540	1200
46	585	837	1170	837	1170	1680	1320
48	635	908	1280	908	1280	1810	1440
50	686	981	1370	981	1370	1960	1560
52	739	1060	1480	1060	1480	2110	1675
54	794	1140	1590	1140	1590	2270	1820
56	851	1220	1710	1220	1710	2430	1935
58	909	1290	1810	1290	1810	2600	2075
60	969	1380	1940	1380	1940	2770	2220
62	1030	1470	2060	1470	2060	2940	2365
64	1100	1560	2190	1560	2190	3130	2550
66	1160	1660	2310	1660	2310	3300	2695
68	1230	1750	2450	1750	2450	3500	2890
70	1290	1840	2580	1840	2580	3690	3030
73	1390	1990	2790	1990	2790	3990	3290
76	1500	2150	3010	2150	3010	4300	3550
78	1580	2260	3160	2260	3160	4500	3755
81	1690	2410	3380	2410	3380	4820	4035
84	1810	2580	3610	2580	3610	5160	4395
87	1920	2750	3850	2750	3850	5500	4760
90	2050	2920	4090	2920	4090	5840	5005
92	2130	3040	5260	3040	5260	6080	5200
95	2260	3230	4510	3230	4510	6440	5570
97	2340	3350	4680	3350	4680	6690	5760
100	2470	3530	4940	3530	4940	7060	6130

BIODATA PENULIS



Muhammad Hasbi Manan, lahir di Bandung pada tanggal 24 September 1995, merupakan anak kelima dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Negeri Pasirkaliki 96 Bandung pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Negeri 1 Bandung pada tahun 2007-2010 dan SMA Negeri 9 Bandung pada tahun 2010-2013, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN terdaftar dengan NRP 4313100118. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif mengikuti berbagai organisasi dan kepanitiaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan 15/16 menjabat sebagai kepala departemen hubungan luar, OCEANO 5 sebagai koordinator staff akomodasi dan transportasi, dan YESSummit ITS 2014. Pada tahun 2016 penulis mendapat kesempatan melaksanakan kerja praktik di PT. Pertamina RU VI Balongan yang berlokasi di Balongan, Indramayu, Jawa Barat.

Kontak Penulis:

Email : mhasbimanan@gmail.com

Telepon : 081315661465