



TUGAS AKHIR - MO141326

DESAIN *MOORING LINE* PADA STRUKTUR PANTAI *FLOATING BREAKWATER* MENGGUNAKAN *CATENARY MOORING LINE*

IDA AYU IRAWATI DIAH RATNA PUTRA
NRP. 4313 100 004

Dosen Pembimbing

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

Sujantoko, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT - MO141326

**MOORING LINE DESIGN ON FLOATING BREAKWATER
STRUCTURE USING CATENARY MOORING LINE**

IDA AYU IRAWATI DIAH RATNA PUTRA

NRP. 4313 100 004

Senior Lecturer

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

Sujantoko, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

**Desain Mooring Line Pada Struktur Pantai Floating Breakwater
Menggunakan Catenary Mooring Line**

TUGAS AKHIR

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

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ida Ayu Irawati Diah Ratna Putra

NRP. 4313 100 004

Disetujui oleh :

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

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

3. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)

4. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Penguji 2)

5. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., Msc (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2017

DESAIN *MOORING LINE* PADA STRUKTUR PANTAI *FLOATING BREAKWATER* MENGGUNAKAN *CATENARY MOORING LINE*

Nama : Ida Ayu Irawati Diah Ratna Putra
NRP : 4313 100 004
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D
Sujantoko, S.T., M.T

ABSTRAK

Breakwater merupakan struktur perlindungan pantai untuk memecah gelombang. Akhir-akhir ini para peneliti telah mengembangkan struktur *breakwater* menjadi pemecah gelombang terapung (*floating breakwater*). Untuk menahan *floating breakwater* tersebut maka di perlukan sistem penambat (*moring line*). Pada penelitian ini difokuskan untuk mendesain *mooring line* pada struktur *single floating breakwater* menggunakan *catenary mooring line* yang dimana terjadi variasi kedalaman laut, arus, pasang surut, sudut arah datang gelombang, dan tinggi gelombang. *Floating breakwater* memiliki dimensi 10 m x 3 m x 1,3 m dan *draft* 0,8 m dan *freeboard* 0,5 m pengerjaan ini dibantu dengan menggunakan software MOSES dan Orcaflex. Material yang digunakan untuk mendesain *mooring line* ini menggunakan *chain* (rantai). Jumlah *mooring line* yang diperlukan sebanyak 4 buah *mooring line*. Hasil dari simulasi menggunakan software tersebut berupa *Response Amplitude Operators* (RAO) saat kondisi terapung bebas pada moda gerak *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Selain itu hasil simulasi juga menghasilkan *tension maximum* pada *mooring line* dan *offset maximum* pada *floating breakwater* yang lebih besar dan lebih dominan terjadi pada pasang 11,2 m dengan arah datang gelombang 90⁰ dan tinggi gelombang 1,5 m. Setelah itu dapat ditentukan spesifikasi *mooring line* yang digunakan pada *floating breakwater* tersebut.

Kata Kunci : *Floating Breakwater*, *Catenary Mooring Line*, *Response Amplitude Operators* (RAO), *Tension mooring line* dan *Offset floating breakwater*, Spesifikasi *mooring line*.

MOORING LINE DESIGN ON FLOATING BREAKWATER STRUCTURE USING CATENARY MOORING LINE

Name : **Ida Ayu Irawati Diah Ratna Putra**
NRP : **4313 100 004**
Department : **Department Ocean Engineering FTK - ITS**
Senior Lecturer : **Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D**
Sujantoko, S.T., M.T

ABSTRACT

Breakwater is a coastal protection structure to break the waves. Lately researchers have developed breakwater structures into floating breakwaters. To hold the floating breakwater is in need of a mooring system. This research is focused on designing mooring line in single floating breakwater structure using catenary mooring line where variation of ocean depth, current, tidal, wave direction angle, and wave height. Floating breakwater has dimensions of 10 m x 3 m x 1.3 m and a draft of 0.8 m and 0.5 m freeboard this work is assisted by using MOSES and Orcaflex software. The material used to design this mooring line using chain. The number of mooring line required is 4 mooring line. The result of the simulation using the software is Response Amplitude Operators (RAO) when free floating conditions in the mode of motion surge, sway, heave, roll, pitch, and yaw. In addition, the simulation result also produces maximum tension on mooring line and offset maximum on larger floating breakwater and more dominant occurs at pairs 11.2 m with the direction of wave 90^0 and 1.5 m wave height. After that can be determined mooring line specifications used on the floating breakwater.

Keywords: Floating Breakwater, Catenary Mooring Line, Response Amplitude Operators (RAO), Tension mooring line and Offset floating breakwater, mooring line Specification.

KATA PENGANTAR

Om Avighnam Namastu Namoh Sidham.

Om Swastyastu

Puji syukur kehadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa atas asung kertha wara nugraha-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul “Desain *mooring line* pada struktur pantai *floating breakwater* menggunakan *catenary mooring line*” Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Saya menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis khususnya.

Om Santhi, Santhi, Santhi Om

Surabaya, 28 Juli 2017

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterimakasih kepada semua pihak yang telah membantu diantaranya :

1. Ida Sang Hyang Widhi Wasa karena telah memberikan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang Tua, Adik, dan keluarga besar yang telah banyak memberikan dukungan serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
3. Ida Bagus Wicitra Dyaksa yang telah banyak memberikan dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
4. Bapak R Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D dan Bapak Sujantoko, S.T., M.T yang telah banyak memberi ilmu dan membimbing penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
5. Bapak Dr. Eng., Muhammad Zikra S.T., M.Sc, selaku dosen wali yang senantiasa memotivasi kepada penulis.
6. Bapak Dr. Eng., Rudi Walujo P, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan ITS
7. Keluarga Valtameri (Teknik Kelautan 2013) yang saling mendukung dan saling bahu membahu dalam mencapai kesuksesan bersama.
8. Keluarga TPKH ITS 2013 yang saling mendukung dan saling bahu membahu dalam mencapai kesuksesan bersama.
9. Seluruh pihak-pihak terkait secara langsung maupun tidak langsung atas terwujudnya tugas akhir ini, penulis mengucapkan terimakasih. Apabila ada suatu hal yang selama ini tidak berkenaan di hati, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 <i>Floating Breakwater</i>	8
2.2.2 Gelombang	10
2.2.3 Teori Dasar Gerak Bangunan Laut Akibat Eksitasi Gelombang	12
2.2.4 Gaya Hidrodinamis	13
2.2.5 Beban Arus	15
2.2.6 Beban Angin	15
2.2.7 Beban Gelombang	16
2.2.8 Jari-jari Girasi <i>Floating Breakwater</i>	17
2.2.9 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	18
2.2.10 Spektrum Gelombang	18
2.2.11 Tali Tambat (<i>Mooring Line</i>)	20
2.2.12 Panjang Minimum <i>Anchor Line</i>	21
2.2.13 <i>System Mooring</i>	21

2.2.14	<i>Gaya Mooring Line</i>	22
2.2.15	<i>Catenary Mooring Line</i>	22
2.2.16	<i>Catenary Calculation</i>	24
2.2.17	Analisis Dinamis Berbasis Ranah Waktu (<i>Time Domain</i>)	25
2.2.18	<i>Tension</i> Maksimum Pada Tali Tambat	26
2.2.19	<i>Offset pada Floating Breakwater</i>	27
2.2.20	Gambaran Software	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Metode Penelitian	31
3.2	Prosedur Penelitian	33
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Pemodelan Floating Breakwater	37
4.1.1	<i>Material Floating Breakwater</i>	38
4.1.2	Gaya Apung (<i>Bouyancy</i>)	39
4.1.3	<i>Centre Of Gravity</i> (COG)	40
4.1.4	Radius Girasi	42
4.2	Analisis Gerak Floating Breakwater Pada Saat Terapung Bebas (<i>Free Floating</i>)	44
4.2.1	Skenario Dengan menambahkan Beban Lingkungan	45
4.2.2	<i>Response Amplitude Operators</i> (RAO) Floating Breakwater kondisi <i>Free Floating</i>	45
4.3	Catenary Mooring	50
4.3.1	Properti Rantai (<i>Chain Property</i>)	50
4.3.2	<i>Catenary Mooring Line</i>	51
4.4	Tension dan Offset	51
4.4.1	Kondisi Lingkungan	52
4.4.2	Letak pemasangan <i>mooring line</i>	54
4.4.3	Hasil analisa <i>Tension Maximum</i> dan <i>Offset Maximum</i>	55
4.5	Spesifikasi <i>Mooring Line</i>	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Floating Breakwater</i>	2
Gambar 2.1 <i>Pontoon Floating Breakwater</i>	8
Gambar 2.2. Jenis <i>pontoon floating breakwater</i> (Biesheuvel, 2013)	9
Gambar 2.3 Moda gerak <i>floating breakwater</i>	12
Gambar 2.4. Distribusi gelombang pada <i>floating breakwater</i>	15
Gambar 2.5. Titik pusat dan arah gerakan <i>floating breakwater</i>	16
Gambar 2.6. Konfigurasi panjang minimum <i>anchor</i> (Faltinsen, 1990)	20
Gambar 2.7. <i>Uncrossed Anchor Lines</i> (McCartney, 1985)	21
Gambar 2.8 Konfigurasi Sistem Tambat Tipe <i>Catenary</i>	22
Gambar 2.9 Analisa perhitungan <i>catenary mooring line</i>	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)	30
Gambar 4.1 Pemodelan Struktur <i>Floating Breakwater</i> pada Software MOSES	33
Gambar 4.2 Dimensi <i>floating breakwater</i> (gambar a) tampak atas, (gambar b) tampak samping, (gambar c) tampak depan, (gambar d) tampak isometri	34
Gambar 4.3 Skenario peletakan material <i>floating breakwater</i>	35
Gambar 4.4 Skenario perhitungan <i>buoyancy floating breakwater</i>	35
Gambar 4.5 Pemodelan MOSES yang menunjukkan letak COG : (gambar a) tampak isometric, (gambar b) tampak depan, (gambar c) tampak atas, (gambar d) tampak sampin	37
Gambar 4.6 Skenario <i>heading</i> pada <i>floating breakwater</i>	41
Gambar 4.7 RAO <i>floating breakwater</i> pada gerakan <i>Surge</i>	42
Gambar 4.8 RAO <i>floating breakwater</i> pada gerakan <i>Sway</i>	42
Gambar 4.9 RAO <i>floating breakwater</i> pada gerakan <i>Heave</i>	43
Gambar 4.10 RAO <i>floating breakwater</i> pada gerakan <i>Roll</i>	44
Gambar 4.11 RAO <i>floating breakwater</i> pada gerakan <i>Pitch</i>	45
Gambar 4.12 RAO <i>floating breakwater</i> pada gerakan <i>Yaw</i>	45
Gambar 4.13 Penempatan <i>Mooring Line</i>	47
Gambar 4.14 Tampak depan <i>floating breakwater</i> yang sudah tertambat	49
Gambar 4.15 Tampak samping <i>floating breakwater</i> yang sudah tertambat	49

Gambar 4.16 Tampak isometri <i>floating breakwater</i> yang sudah tertambat	49
Gambar 4.18 <i>Studlink chain</i> yang digunakan untuk <i>mooring line</i>	56
Gambar 4.19 Grafik korelasi panjang <i>mooring line</i> dengan kedalaman laut	56
Gambar 4.20 Grafik korelasi <i>tension maximum</i> dan kedalaman pada kondisi surut	58
Gambar 4.21 Grafik korelasi <i>tension maximum</i> dan kedalaman pada kondisi pasang	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum (Bhattacharya, 1978)	18
Tabel 2.2 Kriteria <i>safety factor</i> tali tambat	26
Tabel 4.1 Nilai Hidrostatik pada <i>Floating Breakwater</i> pada output software MOSES	33
Tabel 4.2 Validasi nilai – nilai hidrostatik dengan data yang sudah di berikan	34
Tabel 4.3 Perhitungan Material struktur <i>floating breakwater</i>	35
Tabel 4.4 Perhitungan Volume tercelup <i>floating breakwater</i>	35
Tabel 4.5 <i>Centre Of Gravity</i> masing-masing bidang pada <i>floating breakwater</i>	36
Tabel 4.6 Momen Masing-masing bidang	36
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan <i>Centre Of Gravity floating breakwater</i>	37
Tabel 4.8 Perhitungan inersia masing-masing massa material pada bidang <i>floating breakwater</i>	37
Table4.9 Perhitungan Jarak titik berat bidang terhadap titik berat <i>floating breakwater</i>	38
Tabel 4.10 Koreksi Inersia masing-masing bidang pada <i>floating breakwater</i>	39
Tabel 4.11 Perhitungan mencari nilai Radius Girasi	39
Tabel 4.14 Beban Lingkungan	47
Tabel 4.15 Tabel kondisi lingkungan Pantai Utara Jawa	48
Tabel 4.16 Letak pemasangan <i>mooring line</i> pada <i>floating breakwater</i> pada kondisi pasang 6,2 m dan surut 5 m	49
Tabel 4.17 Letak pemasangan <i>mooring line</i> pada <i>floating breakwater</i> pada kondisi pasang 8,2 m dan surut 7 m	50
Tabel 4.18 Letak pemasangan <i>mooring line</i> pada <i>floating breakwater</i> pada kondisi pasang 9,2 m dan surut 8 m	50
Tabel 4.19 Letak pemasangan <i>mooring line</i> pada <i>floating breakwater</i> pada kondisi pasang 11,2 m dan surut 8 m	50
Tabel 4.20 <i>Tension maksimum</i> dan <i>offset maksimum</i> kondisi pasang 6.2 m	51
Tabel 4.21 <i>Tension maksimum</i> dan <i>offset maksimum</i> kondisi surut 5 m	52
Tabel 4.22 <i>Tension maksimum</i> dan <i>offset maksimum</i> kondisi pasang 8.2 m	52
Tabel 4.23 <i>Tension maksimum</i> dan <i>offset maksimum</i> kondisi surut 7 m	52
Tabel 4.24 <i>Tension maksimum</i> dan <i>offset maksimum</i> kondisi pasang 9.2 m	54

Tabel 4.25 <i>Tension maksimum dan offset maksimum</i> kondisi surut 8 m	54
Tabel 4.26 <i>Tension maksimum dan offset maksimum</i> kondisi pasang 11.2 m	55
Tabel 4.27 <i>Tension maksimum dan offset maksimum</i> kondisi surut 10 m	55
Tabel 4.28 Panjang <i>mooring line</i>	56

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA PASANG SURUT

LAMPIRAN B *RESPONSE AMPLITUDE OPERATORS (RAO)*

LAMPIRAN C *MOORING LINE*

LAMPIRAN D *TENSION MAXIMUM DAN OFFSET MAXIMUM*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Pantai adalah wilayah yang harus dilindungi keindahan alamnya, saat ini banyak upaya yang dilakukan untuk mengelola kawasan pesisir dengan membuat tempat wisata di pinggir pantai atau membuat bangunan di tengah laut. Pesisir sering juga digunakan sebagai pelabuhan, pemukiman, dan industri. Untuk melindungi pantai dari kerusakan yang disebabkan oleh gelombang perairan di perlukan suatu bangunan pelindung pantai yang disebut *breakwater*. *Breakwater* merupakan suatu struktur yang dibangun di pantai yang bekerja sebagai alat pertahanan pantai dan juga untuk melindungi pantai dari efek cuaca dan pergeseran *longshore*. Fungsi *breakwater* adalah untuk menurunkan ketinggian gelombang di daerah yang dilindungi, desain akhir tergantung pada kondisi gelombang datang, kriteria perlindungan, biaya, dan pertimbangan lingkungan (Seelig, 1976). *Breakwater* didesain agar memberikan perlindungan terhadap kerusakan pantai yang tepat berada dibelakangnya dengan mengurangi energi gelombang sebelum mencapai garis pantai. *Breakwater* dibangun bisa jauh dari pantai atau bisa juga dibangun dengan salah satu ujung terhubung dengan pantai. Struktur ini dapat memastikan meredam gelombang lebih baik. Sebagian besar pantai dan pelabuhan belum terlindungi di Indonesia, faktor utamanya disebabkan karena terlalu tingginya biaya pembangunan *breakwater* yang permanen dan juga karena pertimbangan yang secara teknis terlalu kompleks jika akan dibangun bangunan *breakwater* yang permanen. Misalnya kedalaman air yang terlalu dalam atau penggunaan batu alam yang bisa merusak lingkungan. Terdapat dua jenis *breakwater*, yaitu *fixed breakwater* dan *floating breakwater* yang dibangun tergantung pada kedalaman air normal dan pasang surut air laut. Struktur *breakwater* dibangun sejajar atau tegak lurus dengan pantai untuk mempertahankan kondisi ketenangan air laut. Konstruksi dari *breakwater* sendiri tergantung pendekatan gelombang dan parameter lingkungan. *Fixed breakwater* digunakan untuk perairan yang dangkal, karena bila digunakan pada perairan yang dalam maka faktor biaya akan menjadi kendala utama. *Floating breakwater* memiliki keuntungan dibandingkan dengan *fixed 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). Empat faktor penting yang sangat mempengaruhi desain *floating breakwater* adalah daya apung dan stabilitas mengambang, transmisi gelombang, kekuatan *mooring*, dan integritas struktural *breakwater* (Amar and Suarez, 2011). *Floating breakwater* akan ditahan oleh *anchor pile* dan diikat dengan menggunakan *mooring*. Beberapa hal yang diperhatikan pada struktur *floating breakwater* adalah sistem *mooring*. Sistem *mooring* yang digunakan harus sesuai untuk menjaga struktur tetap stabil. *Floating breakwater* biasanya digunakan sebagai dermaga di marina. *Floating breakwater* juga bisa digunakan melindungi pelabuhan kecil atau garis pantai, yang bertujuan pada pengendalian erosi.



Gambar 3.1 *Floating Breakwater*

(<http://offshoremechanics.asmedigitalcollection.asme.org>)

Banyak jenis pemecah gelombang terapung yang telah diidentifikasi oleh (McCartney, 1985), diantaranya *box*, *pontoon*, *mat* dan tipe *tethered float*, namun jenis yang paling umum digunakan pemecah gelombang terapung (*Floating Breakwater*) adalah persegi (*ponton*) yang dihubungkan satu dengan yang lain dan ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau rantai. 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 system *mooring* yang digunakan harus dapat menjaga struktur ini tetap berada pada posisi, mengingat karena *Floating Breakwater* merupakan struktur terapung yang rentan berpindah posisi. Dari jenis konfigurasi sistem

mooring yang ada, pada analisa ini menggunakan *catenary mooring line*. *Catenary mooring line* merupakan sebuah penambat berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel atau rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan kedua ujungnya tertahan. Penambat struktur terapung yang menggunakan *catenary mooring line* biasanya digunakan pada perairan dalam. Hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan (*stress*) yang terjadi pada *mooring* dan menentukan *offset* maksimum pada *floating breakwater*. Pada tugas akhir ini akan mendesain *mooring line* dengan konfigurasi *catenary mooring line* yang sesuai untuk *floating breakwater* berbentuk persegi (*pontoon*) yang memiliki dimensi 10 m x 3 m x 1.3 m dan *draft* 0,8 m dan *freeboard* 0,5 m.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan di bahas pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana *Response Amplitude Operator* (RAO) *floating breakwater* pada kondisi terapung bebas (*free floating*)?
2. Berapa tegangan maksimum pada *mooring* dan *offset* maksimum yang terjadi pada struktur *floating breakwater* dengan menggunakan *catenary mooring line*?
3. Bagaimana spesifikasi *mooring* yang digunakan pada *floating breakwater* dengan menggunakan *catenary mooring line*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Menghitung *Response Amplitude Operator* (RAO) *floating breakwater* pada kondisi terapung bebas (*free floating*) .
2. Menghitung tegangan maksimum pada *mooring* dan *offset* maksimum yang terjadi pada struktur *floating breakwater* dengan menggunakan *catenary mooring line*.
3. Mengetahui spesifikasi *mooring* yang akan digunakan pada *floating breakwater* dengan menggunakan *catenary mooring line*.

1.4 Manfaat

Dari pengerjaan tugas akhir ini dapat diketahui *Response Amplitude Operator* (RAO) yang dihasilkan dari *floating breakwater* pada saat terapung bebas dalam gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Tugas akhir ini juga memberikan tegangan maksimum yang di hasilkan *mooring* pada *floating breakwater* dengan

catenary mooring line dan *offset* maksimum yang dialami oleh struktur. Dari *tension* dan *offset* maksimum tersebut akan dilakukan pengecekan sesuai dengan *rules* yang sudah ditentukan, sehingga diperoleh *tension* dan *offset* maksimum yang berada dalam batas aman. Pentingnya *tension* dan *offset* maksimum adalah untuk mengetahui kelayakan sistem tambat tersebut ketika beroperasi di ladang yang diinginkan. Setelah itu kita dapat menentukan properti *mooring* yang akan di gunakan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan-batasan agar pembahasan tidak terlalu meluas, yaitu :

1. *Floating breakwater* yang dirancang berupa *Single Pontoon Floating Breakwater*.
2. Arah pembebanan yang digunakan adalah sudut 0° , 45° , dan 90°
3. Beban yang bekerja adalah gelombang dan arus.
4. Konfigurasi tali tambat menggunakan *Catenary Mooring Line*.
5. Variasi kedalaman 5 m; 7 m; 8 m; 10 m; dengan elevasi air laut 6.2 m; 8.2 m; 9.2 m; 11.2 m.
6. Standard mengacu pada API RP 2SK dan DNV OS E301.
7. Analisa yang dilakukan pada *opration condition*.
8. Perhitungan karakteristik hidrostatis dan RAO menggunakan *software* dan MOSES, sedangkan untuk memperhitungkan tegangan dan *offset* menggunakan *software* Orcaflex.
9. Gerak *Floating Breakwater* yang ditinjau adalah gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*
10. *Pile anchor* dianggap *fixed*

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini adalah:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang akan dilakukan, dan sistematika penulisan laporan yang akan dibuat.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang dijadikan acuan untuk penelitian tugas akhir ini dan menggunakan dasar teori yang diambil dari buku/diktat, jurnal, artikel, maupun tugas akhir sebelumnya yang berkaitan dengan topic tugas akhir ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang langkah-langkah pengerjaan dalam tugas akhir ini beserta metode yang digunakan.

BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian pemodelan struktur ini akan diteliti dengan menggunakan *software*. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan output yang diperoleh dari *running software*.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan uraian singkat tentang hasil yang diperoleh selama melakukan penelitian. Uraian ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang dimaksudkan agar ada perbaikan pada peneliti selanjutnya

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Belakangan ini telah dikembangkan struktur pantai penahan gelombang yang efektif yang dapat mereduksi energy gelombang serta memberikan keuntungan-keuntungan positif. Seperti struktur pantai *breakwater* telah dikembangkan secara terapung yang disebut dengan *Floating Breakwater*. *Floating breakwater* dapat digunakan secara efektif pada area pantai dengan kondisi gelombang yang relatif ringan. Banyak penelitian yang mengulas serta mempelajari tentang *floating breakwater* (Dong 2008). Jenis yang paling umum digunakan *floating breakwater* adalah ponton persegi yang dihubungkan satu dengan yang lain dan ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau rantai. Struktur terapung ini sesuai untuk pulau-pulau perbatasan dengan topografi laut dalam yang curam, dan keterbatasan bahan batu belah pada daerah tersebut (Rochani, 2007). Pemecah gelombang Terapung (*Floating Breakwater*) memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan pemecah gelombang yang tetap, misalnya dapat mereduksi energi gelombang, memiliki desain yang fleksible sehingga mudah dipindahkan dan dirakit kembali dengan layout yang berbeda (Fousert, 2006), biaya lebih rendah serta instalasi yang mudah (Hales, 1981).

Floating breakwater sebagai bangunan terapung memerlukan sistem *mooring* yang sesuai untuk menjaga struktur ini tetap di tempat, dan diperlukan sistem *anchoring* yang sesuai dengan tipe dasar laut pada daerah tersebut. Dari jenis konfigurasi sistem *mooring* yang ada, pada analisa ini menggunakan konfigurasi *catenary mooring line*. Konfigurasi *catenary mooring line* merupakan sebuah penambat berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel atau rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan kedua ujungnya tertahan. Penambat struktur terapung yang menggunakan konfigurasi *catenary spread mooring system* biasanya digunakan pada perairan dalam. Hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan (*stress*) yang terjadi pada *mooring* dan berat *anchor* yang dibutuhkan agar *floating breakwater* tetap stabil.

Tsunehiro et al. (1999) telah mematenkan desain pemecah gelombang terapung. Alasan dari penggunaan pemecah gelombang terapung yang ditambat dengan pile adalah karena *floating breakwater* yang menggunakan *mooring* telah

menyebabkan bujursangkar dan sudut gerakan yang pada akhirnya mempengaruhi kerja sistem. Selain itu dengan menggunakan pile memungkinkan untuk mengapung bergerak bebas ke arah vertikal mengikuti pasang surut.

Priadi (1988), melakukan penelitian pada pemecah gelombang apung tipe *pontoon*, guna menetapkan parameter awal sistem peredam energi gelombang melalui pemecah gelombang terapung. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bahan dari kaca dengan ukuran panjang 18,03 cm serta memakai saluran gelombang yang panjang efektif 6 m. dari penelitian ini diperoleh bahwa transmisi gelombang dipengaruhi oleh periode gelombang (T), tinggi gelombang datang (H), panjang *pontoon* (s) dan kedalaman air (d).

Murali dan Mani (1997), secara eksperimental meneliti pemecah gelombang tipe apung dari *pontoon trapezium* dengan barisan pipa vertical. Pada penelitian pertama tanpa menggunakan pipa *vertical* didapatkan bahwa nilai koefisien transmisi $K_t = 0,5$ pada rasio $W/L > 0,4$. Dengan menambah pipa vertical, nilai W/L dapat dikurangi menjadi 0,15.

Pada penelitian kali ini, penulis memfokuskan untuk mendesain system tambat (*mooring*) dengan konfigurasi *catenary mooring line* yang sesuai untuk *floating breakwater* berbentuk persegi (*pontoon*) yang memiliki dimensi 10 m x 3 m x 1.3 m. Dengan menggunakan code atau standart dari API RP 2SK dan DNV OS E 301.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Floating Breakwater*

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 *fixed breakwater* (McCartney, 1985).

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



Gambar 4.1 *Pontoon Floating Breakwater*

(sumber : www.maritimejournal.com)

2.2.1.1 Keuntungan *Floating Breakwater*

Adapun keuntungan dari floating breakwater yaitu :

- a. Untuk kedalaman air yang lebih dari 10 ft dalam segi ekonomi lebih murah dibandingkan *fixed breakwater* (Hales, 1981)
- b. Dapat dengan mudah dipindahkan serta dapat dipergunakan kembali (Hales , 1981)
- c. Floating breakwater memiliki nilai estetika dibandingkan *fixed breakwater* (McCartney, 1985)
- d. Berlaku pada kondisi tanah yang lebih buruk dibandingkan dengan *fixed breakwater* (Biesheuvel, 2013)
- e. Dapat dijadikan fungsi lainnya, seperti dijadikan tempat mooring kapal, jalan, atau fasilitas parkir (Biesheuvel, 2013)
- f. Hampir tidak ada gangguan dengan transportasi sedimen dan sirkulasi air (Biesheuvel, 2013)

2.2.1.2 Kerugian *Floating Breakwater*

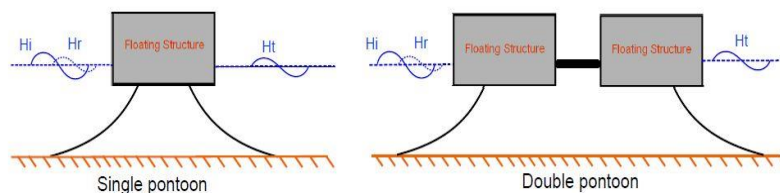
Pembuatan floating breakwater tidak serta merta hanya memiliki keuntungan saja, namun juga terdapat kerugiannya. Penelitian sebelumnya menyebutkan kerugian *floating breakwater* adalah :

- a. Memiliki keterbatasan dalam meredam gelombang yang tinggi dengan rentang frekuensi yang terbatas (Foursert, 2006)

- b. Memberikan perlindungan yang kurang terhadap gelombang (Biesheuvel, 2013)
- c. Kurang efektif untuk gelombang yang panjang (Biesheuvel, 2013)
- d. Biaya pemeliharaan yang lebih tinggi karena respon dinamis (Biesheuvel, 2013)
- e. *Floating breakwater* mudah mengalami kegagalan struktural selama mengalami kondisi badai (Tsinker, 1995)

2.2.1.3 Klasifikasi Floating Breakwater

Banyak jenis dari *floating breakwater* yang dikembangkan selama bertahun – tahun. Berdasarkan prinsip kerja dari *floating breakwater* untuk mengurangi gelombang, maka dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelas yaitu struktur *reflektif* dan struktur *dissipative* (PIANC, 1994). Pada pengerjaan tugas akhir ini *floating breakwater* berbentuk *Pontoon Floating Breakwater*. Yang dimana *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 merupakan parameter penting karena dapat menjelaskan gelombang air yang berupa panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air.

Banyak parameter yang dapat digunakan untuk mencari panjang gelombang laut. Pendekatan rumus menggunakan rumus berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.1)$$

Keterangan:

L = panjang gelombang (m)

T = periode gelombang (s)

g = percepatan gravitasi (kgm/s²)

h = kedalaman air (m)

2.2.2.1 Gelombang Regular

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

$$t^2 = gk \tanh kh \quad (2.2)$$

Kecepatan Gelombang

$$C = \sqrt{\frac{g}{k}} \tanh kh \quad (2.3)$$

Panjang Gelombang

$$L = \frac{g}{2p} T^2 \cdot \tanh \frac{2ph}{L} \quad (2.4)$$

Keterangan :

h = tinggi gelombang rata-rata

t = periode gelombang rata-rata

g = percepatan gravitasi

f = frekuensi

2.2.2.2 Gelombang Acak

Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang acak ditandai sebagai berikut :

- Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan, sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis karena ketidakteraturannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak, dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode yang berbeda.
- Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung dari kecepatan angin.

Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang irreguler tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya.

$$E_T = \sum E_i \quad (2.5)$$

atau dalam bentuk lain :

$$E_T = 1/2 \rho g \sum \xi a_i^2 \quad (2.6)$$

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)

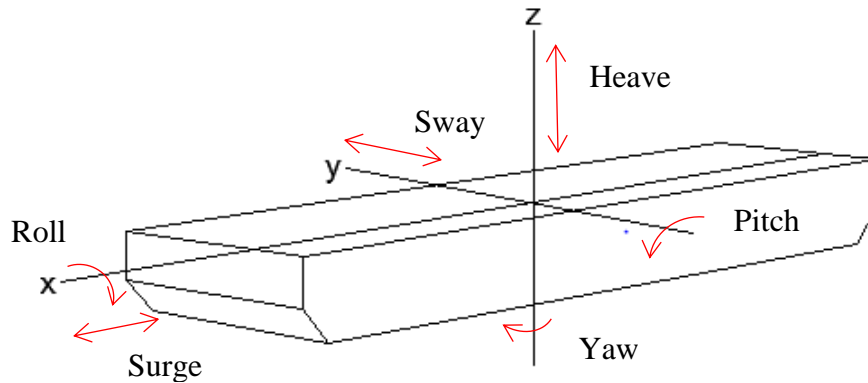
ξa_i = amplitudo gelombang (m)

Dengan demikian gelombang di laut dapat dinyatakan menurut distribusi energi terhadap frekuensi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang. Distribusi energi gelombang menurut frekuesinya disebut spektrum gelombang.

2.2.3 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. Pada pengerjaan tugas akhir ini hanya menggunakan 3 mode gerak saja yaitu tiga mode gerak translasional. Yaitu sebagai berikut :

- Surge, gerakan transversal arah sumbu x
- Sway, gerakan transversal arah sumbu y
- Heave, gerakan transversal arah sumbu z
- *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
- *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
- *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z



Gambar 2.3 Moda gerak *floating breakwater*

2.2.4 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 floaing breakwater (m^2)

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

V_m = kecepatan maksimal gelombang

g = grafitasi

dimana ,

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 Inerti (F_m)

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

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

Keterangan :

F_M = gaya inerti per satuan panjang (N/m)

C_M = koefisien inerti

A = luas floaing 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 :

$$F_w = F_M \quad : \text{jika } F_m > 2F_d \quad (2.10)$$

$$F_w = F_d + (F_m^2 / 4F_d) \quad : \text{jika } F_m \leq 2F_d \quad (2.11)$$

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 :

$$FA = \rho \times V_{tercelup} \times g \quad (2.12)$$

Dengan :

FA = Bouyancy

ρ = Massa jenis air laut

$V_{tercelup}$ = Volume tercelup *floating breakwater*

g = Gravitasi

2.2.5 Beban Arus

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

$$F_d = C_d A \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (2.13)$$

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)

2.2.6 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.

$$F_w = C_d A \rho \frac{V^2}{2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

F_w = Gaya drag oleh angin pada struktur (kN)

C_d = koefisien drag arus pada struktur (2.0)

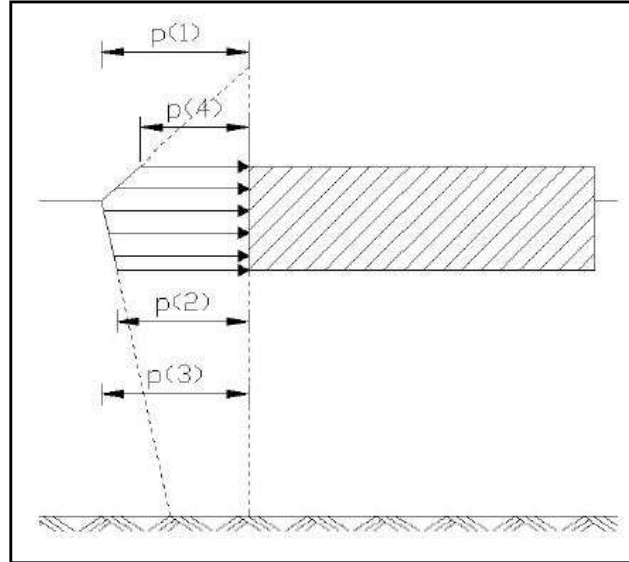
A = luasan proyeksi arah memanjang struktur yang terkena angin (m^2)

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

V = kecepatan angin (m/s)

2.2.7 Beban Gelombang

Beban gelombang menggunakan persamaan (GODA, 2000) dengan distribusi gelombang seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.4. Distribusi gelombang pada *floating breakwater*

$$P1 = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2\beta)\rho g H_{max} \quad (2.15)$$

$$P2 = \frac{P1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (2.16)$$

$$P3 = a_3 P1 \quad (2.17)$$

$$P4 = P1\left(1 - \frac{hc}{\eta}\right) \quad (2.18)$$

$$P = \frac{1}{2}(P1 + P3)h' + \frac{1}{2}(P1 + P4)hc \quad (2.19)$$

$$\eta = 0.75(1 + \cos\beta)H_{max} \quad (2.20)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right)} \right]^2 \quad (2.21)$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{max}}{d} \right)^2 \frac{2d}{H_{max}} \right] \quad (2.22)$$

$$\alpha_1 = 1 + \frac{h}{h} \left[2 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \right] \quad (2.23)$$

Keterangan :

P = wave pressure (kN)

h' = draught struktur (m)

hc = freeboard (m)

H_{max} = tinggi maksimum gelombang (m)

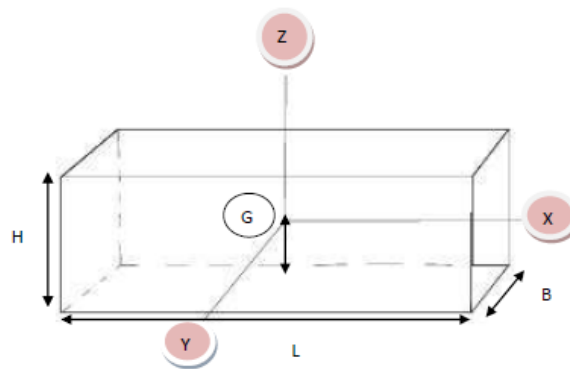
η = maksimum elevasi gelombang (m)

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

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

2.2.8 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* juga memiliki jari-jari girasi yang artinya jarak radial dari sumbu putar kesuatu titik tempat massa benda 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 di bawah ini :

Jari-jari girasi untuk sumbu X :

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

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

Jari-jari girasi untuk sumbu Y :

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

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

Jari-jari girasi untuk sumbu Z :

$$I_{GZ} = I_{ZO} \quad (2.28)$$

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

Keterangan :

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

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

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

R_{GX} = jari-jari girasi sumbu x

R_{GY} = jari-jari girasi sumbu y

R_{GZ} = jari-jari girasi sumbu z

2.2.9 Response Amplitude Operator (RAO)

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

- a. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi yaitu *surge*, *sway*, dan *heave* ($k = 1, 2, 3$ atau x, y, z), merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang (dalam satuan panjang). Pers. (2.19) digunakan untuk menentukan RAO gerakan translasi.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} (m/m) \quad (2.30)$$

- b. RAO untuk gerakan rotasi yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw* ($k = 4, 5, 6$ atau θ, ϕ, ψ) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden). Pers. digunakan untuk menentukan RAO gerakan rotasi.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} (rad/rad) \quad (2.31)$$

2.2.10 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 Djabatmiko (2012) dapat ditulis sesuai dengan Pers.

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau\omega_0^2} \right] \quad (2.32)$$

dengan:

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

$$X_0 = gX/U_w^2$$

$$X = \text{panjang } fetch \text{ (m)}$$

$$\alpha = 0,0081, \text{ jika } X \text{ tidak diketahui}$$

$$\gamma = \text{parameter ketinggian atau } peakedness \text{ parameter, yang harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai dengan 7.0.}$$

Untuk laut utara mempunyai harga 3.3.

τ = parameter bentuk atau *shape parameter*

$\tau = 0.07$ jika $\omega \leq \omega_0$

$\tau = 0.09$ 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):

$$S(\omega) = 155 \frac{H_s^2}{T^4 \omega^4} \exp \left(\frac{-944}{T^4 \omega^4} \right) \gamma^\alpha \quad (2.33)$$

2.2.11 Tali Tambat (*Mooring Line*)

Menurut API-RP2SK 3rd *edition* (2005), tipe tali tambat yang digunakan pada system terapung di bagi menjadi 3 kategori, yaitu :

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

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

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

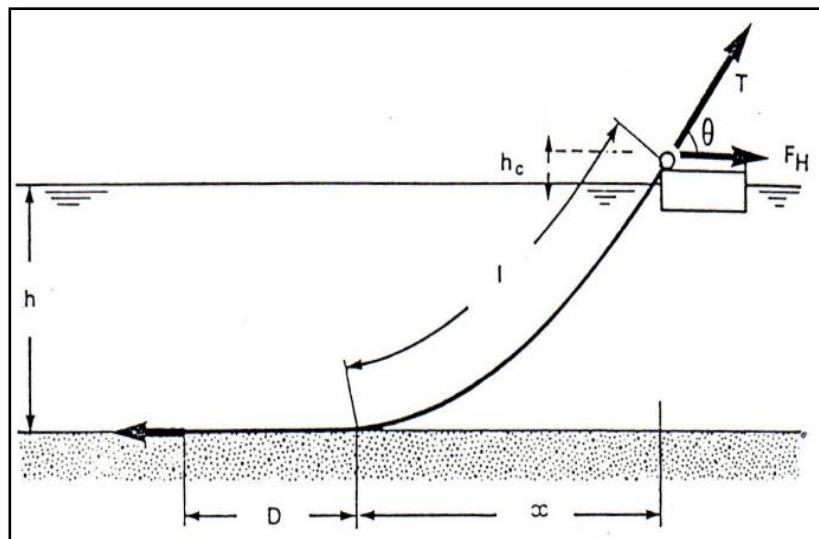
Rantai telah menunjukkan keunggulannya pada operasi lepas pantai. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi *holding capacity anchor* terhadap yang sangat signifikan.

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

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

2.2.12 Panjang Minimum Anchor Line

Dalam menentukan panjang minimum anchor line dapat konfigurasi tali tambat yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.6. Konfigurasi panjang minimum *anchor* (Faltinsen, 1990)

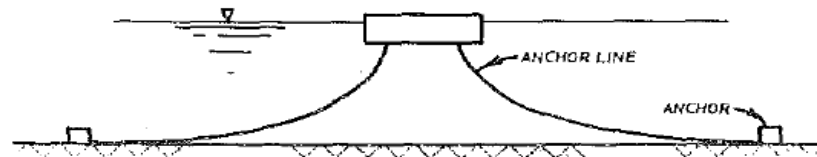
Dari Gambar dapat dihitung panjang minimum *anchor line* dengan menggunakan Pers :

$$\frac{s}{h} = \sqrt{\left[\frac{2F_h}{wh} + 1\right]} \text{ atau } \frac{s}{h} = \sqrt{\left[\frac{2T}{wh} - 1\right]} \quad (2.34)$$

2.2.13 System Mooring

Floating Breakwater dengan pile sebagai penahan , terbatas pada daerah yang dangkal (kedalaman sekitar 31ft) dengan material yang cocok untuk penetrasi pile serta kekuatan lateral yang cukup. Pile pancang dapat berupa baja beam H atau kayu. Umumnya, pile pancang diletakkan dibawah mud line dengan bor agar

diperoleh kekuatan terbesar dan mencegah kerusakan pile yang terbuat dari kayu. Pile pancang cocok untuk pondasi yang kuat dengan kedalaman air kurang dari 50 ft. jangkar dapat berupa pemberat dapat digunakan pada berbagai kedalaman air, tetapi jangkar ini dipakai yang terbaik pada kondisi dasar lumpur. Mooring line yang digunakan untuk system tambat biasanya berjumlah 4 sampai 12 lines. Untuk tipe *mooring* jangkar dengan tali, terdapat beberapa tipe penahan yang digunakan dalam membuat *floating breakwater*, sebagai berikut :



Gambar 2.7. *Uncrossed Anchor Lines* (McCartney, 1985)

2.2.14 Gaya Mooring Line

Gaya-gaya yang bekerja antara *mooring line* dengan *floating breakwater* yaitu gaya horizontal dan gaya vertikal. Hal yang mempengaruhi gaya horizontal merupakan hubungan antara gaya gelombang dengan gaya arus, sedangkan untuk gaya vertikalnya hubungan antara berat mooring line di air dengan panjang keseluruhan dari mooring line.

$$F_H = \frac{F_W + F_d}{n} \quad (2.35)$$

$$F_v = F_H \sin b \quad (2.36)$$

Keterangan :

F_w = gaya gelombang (kN)

F_d = gaya arus (kN)

F_v = gaya vertikal (kN)

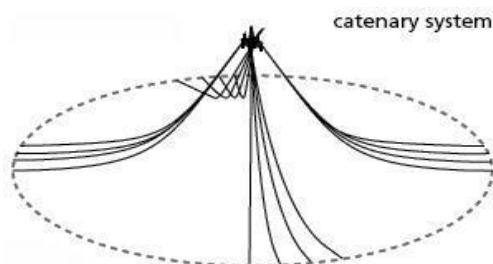
b = faktor *mooring line*

n = jumlah *mooring line*

2.2.15 Catenary Mooring Line

Catenary mooring merupakan bentuk *mooring line* yang berbentuk kurva *catenary*. *Catenary mooring* bisa digunakan pada perairan dalam dan dangkal, akan tetapi lebih sering di gunakan di perairan dangkal. *Catenary mooring* ini penambat yang didesain untuk tertanam di dasar laut. *Catenary mooring line* biasanya di gunakan untuk *floating structure* misalnya *floating breakwater*, FPSO, SPAR, dll. Akan tetapi ada beberapa *floating structure* yang kurang cocok

untuk menggunakan *catenary mooring line* misalnya *Semi Submersible*, karena *Semi Submersible* digunakan untuk *drilling* maka kurang cocok jika menggunakan *catenary mooring line*. *Catenary mooring line* dipercaya digunakan pada pengoprasian jangka panjang. Penambat struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary* bertujuan untuk memanfaatkan berat *mooring* sehingga struktur terapung tertahan di posisinya selama mendapat gangguan dari lingkungan laut. Jika dilihat dari tegangan yang dihasilkan dari *catenary mooring line* ini sangat lah kecil jika dibandingkan dengan penambat lainnya yang di mana jika tegangan yang terjadi lebih kecil, maka penambat tidak akan mudah putus jadi *catenary mooring line* bisa digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama jika di bandingkan dengan penambat lainnya. *Catenary mooring line* memiliki kelemahan yang dimana untuk mendesain *mooring linenya* membutuhkan tali yang lebih panjang sehingga berpengaruh pada analisa biaya, kurang cocok digunakan untuk kegiatan *drilling*, resiko pada jangkar ketika di instalasi grip (kerukan) tanahnya kurang tepat sehingga bisa saja jangkar lepas dari dasar laut. Material yang digunakan untuk mendesain *catenary mooring line* ini bisa menggunakan *wire rope* (kabel), *chain* (rantai), dan kombinasi dari kedua material tersebut. Untuk pengoprasian pada laut dalam biasanya menggunakan *chain* (rantai) dan pengoprasian pada laut dangkal biasanya menggunakan *wire rope*, atau *chain*. Untuk menahan *mooring line* di dasar laut *catenary mooring line* biasanya menggunakan jangkar. Jangkar yang dipilih sesuai dengan spesifikasi *mooring line* yang sudah ditentukan dan *catenary mooring line* ini jarang menggunakan *pile* karena *pile* digunakan jika dirasa *holding* tanah kurang beraturan untuk menahan *mooring line* di dasar laut. Selain itu jika dilihat dari biaya, instalasi *pile* lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan jangkar.

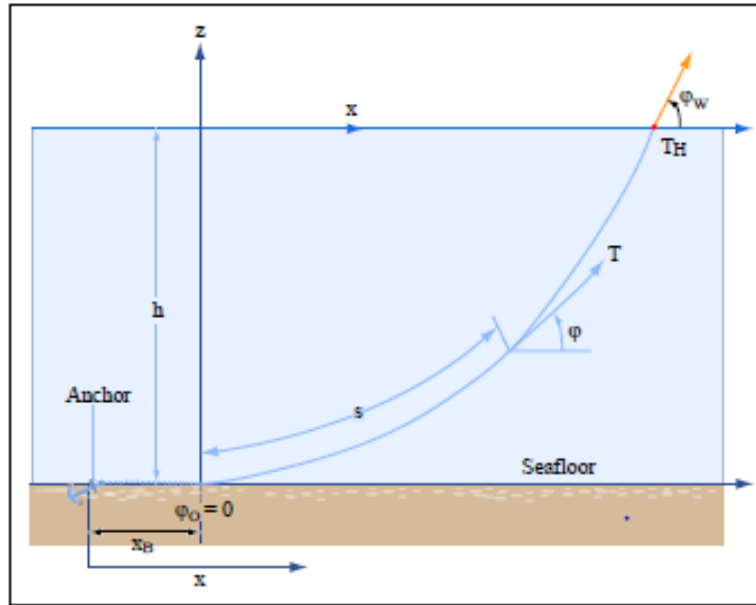


Gambar 2.8 Konfigurasi Sistem Tambat Tipe *Catenary*

(www.dredgingengineering.com)

2.2.16 Catenary Calculation

Pada perhitungan *catenary mooring line* ini menggunakan acuan dari *Desain Of Ocean System Mooring Dynamics II* . Berikut langkah-langkah dan persamaan untuk menghitung *catenary mooring line* pada *floating breakwater* :



Gambar 2.9 Analisa perhitungan *catenary mooring line*

- *Cable Configuration*

$$s = \frac{T_H}{w} \sinh\left(\frac{w}{T_H} x\right) \quad (2.37)$$

$$z + h = \frac{T_H}{w} \left[\cosh\left(\frac{w}{T_H} x\right) - 1 \right] \quad (2.38)$$

- Tegangan yang terjadi sepanjang *mooring line*

$$T = T_H + wh + (w + \rho g A)z \quad (2.39)$$

$$T_z = wS$$

- *Catenary Solution*

$$l_{min} = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - T_H^2} \quad (2.40)$$

$$T_H - AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} - AE \quad (2.41)$$

$$x = \frac{T_H}{\omega} \sinh^{-1} \frac{wl_{min}}{T_H} + \frac{THL_{min}}{AE} \quad (2.42)$$

$$T_z = wl_{min} \quad (2.43)$$

Keterangan :

s	= Modulus young
T_H	= Gaya horizontal yang terjadi pada <i>fairlead</i>
z	= Kedalaman laut
h	= Panjang rantai (<i>chain</i>)
T	= Tegangan pada <i>mooring line</i>
w	= Berat rantai (<i>chain</i>) yang digunakan
A	= Luasan antar <i>mooring line</i>
l_{min}	= Panjang minimum <i>mooring line</i>
x	= Jarak ujung <i>floating breakwater</i> hingga dasar laut
T_z	= Gaya vertical yang terjadi pada <i>fairlead</i>
AE	= Kekakuan yang terjadi pada <i>mooring line</i>

2.2.17 Analisis Dinamis Berbasis Ranah Waktu (*Time Domain*)

Jika suatu sistem linier dan beban gelombang yang bekerja hanya terdiri dari *orde-1* maka beban yang diterima maupun respon yang dihasilkan juga dalam bentuk linier sehingga dapat diselesaikan dengan analisis dinamis berbasis ranah frekuensi (*frequency domain analysis*). Sedangkan jika terkandung di dalamnya faktor-faktor non linier, seperti beban gelombang *second order*, *non-linier viscous damping*, gaya dan momen akibat angin dan arus maka perhitungan *frequency domain analysis* menjadi kurang relevan. Oleh karena itu untuk mengakomodasi faktor-faktor non linier tersebut maka persamaan gerak dari hukum-2 Newton diselesaikan dalam fungsi waktu atau yang lebih dikenal dengan istilah analisis dinamis berbasis ranah waktu (*time domain analysis*). Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat dibawah pengaruh dinamis frekuensi gelombang. Periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek transient. Namun, metode ini dalam membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini

membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain. Output dari simulasi *time domain* adalah :

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

Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe non-linier (matrik sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan waktu perhitungan yang lebih kompleks dan memerlukan waktu yang lama. Menurut DNV OS E301 (2010), minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam (10800 detik).

2.2.18 *Tension Maksimum Pada Tali Tambat*

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

a. *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada *floating breakwater*.

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 sebagai berikut :

$$T_{\max} = T_h + wh \quad (2.44)$$

Dengan :

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

T_h = horizontal *pre-tension* (ton)

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

h = kedalaman laut (m)

Sedangkan menurut API-RP2SK 3rd edition, *tension* maksimum dapat di tentukan dengan prosedur di bawah ini :

- a. $T_{lf\max} > T_{wf\max}$, maka:

$$T_{\max} = T_{\text{mean}} + T_{\text{lfmax}} + T_{\text{wfsig}}$$

b. $T_{\text{wfmax}} > T_{\text{lfmax}}$, maka:

$$T_{\max} = T_{\text{mean}} + T_{\text{wfmax}} + T_{\text{lfsig}}$$

dengan:

T_{mean} = mean tension

T_{max} = maximum tension

T_{wfmax} = maximum wave frequency tension

T_{wfsig} = significant wave frequency tension

T_{lfmax} = maximum low-frequency tension

T_{lfsig} = significant low-frequency tension

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

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

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}} \quad (2.45)$$

2.2.19 Offset pada Floating Breakwater

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, 2005):

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \quad (2.46)$$

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \quad (2.47)$$

dengan:

S_{mean} = *mean vessel offset*

S_{max} = *maximum vessel offset*

S_{wfmax} = *maximum wave frequency motion*

S_{wfsig} = *significant wave frequency motion*

S_{lfmax} = *maximum low-frequency motion*

S_{lfsig} = *significant low-frequency motion*

Alternatif lain yang dapat digunakan dengan menggunakan *time domain*, *frequency domain*, kombinasi keduanya atau model *testing*, *mean offset* yang diijinkan adalah 2% hingga 4% kedalaman perairan sedangkan untuk *maximum offset* dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan dan sistem riser. Tetapi pada umumnya pada *range* 8% sampai 12% dari kedalaman perairan (API RP 2P).

2.2.20 Gambaran Software

Pada pengerjaan tugas akhir inii di bantu dengan menggunakan dua software, software tersebut adalah sebagai berikut :

a. MOSES

MOSES yang merupakan singkatan dari *Multi-Operational Structural Engineering Simulator*, adalah simulasi dan program analisis untuk menganalisa 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 kapal, *ballasting*, stabilitas dan analisis *mooring*. Pada pengerjaan tugas akhir ini *floating*

breakwater akan dianalisa menggunakan software MOSES untuk analisa *Response Amplitude Operators* (RAO) kondisi *Free Floating* . RAO diperlukan untuk mengetahui karakteristik respon floating breakwater. Inputan software ini berupa periode gelombang yang sudah ditentukan, kedalaman laut, *Centre Of Gravity* (COG), dan radius girasi. Output dari software MOSES ini berupa nilai hidrostatis dan *Response Amplitude Operators* pada *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 system *towing*. Pada pengerjaan tugas akhir ini di bantu menggunakan software orcaflex, yang dimana input dari software orcaflex ini berupa *add mass*, *load RAO*, *motion RAO*, dan *wave drift*. Setelah itu barulah masuk pada software Orcaflex yang dimana pada software ini juga menginputkan beban lingkungan seperti periode gelombang, tinggi gelombang, arus, angin, dan kedalaman laut. Tidak lupa juga menginputkan berat *chain* yang akan digunakan dan menginputkan panjang tali pada masing-masing kedalaman yang sudah ditentukan. Output dari software ini berupa *tension* maksimum pada *mooring line* dan *offset* maksimum pada *floating breakwater*.

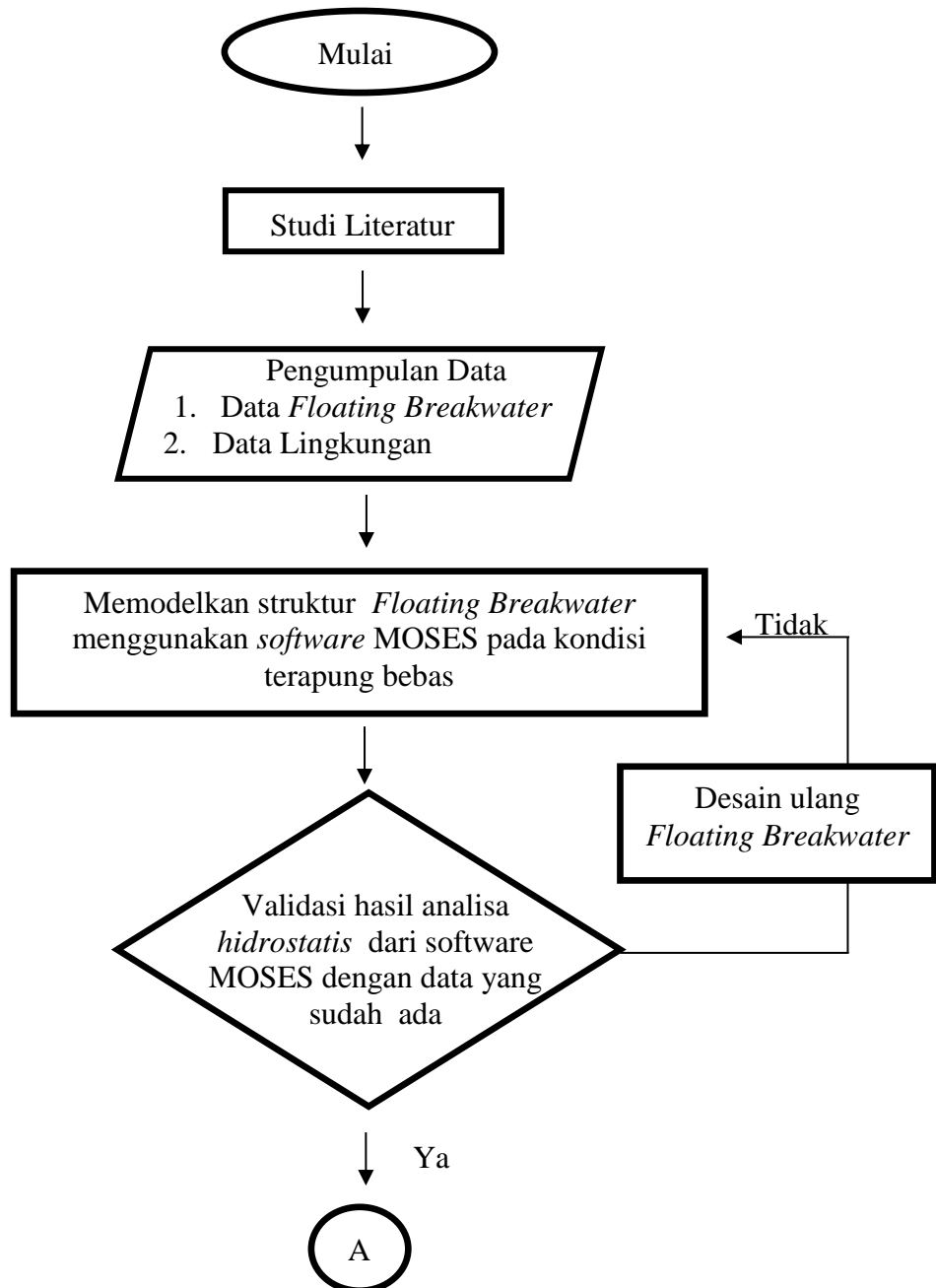
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

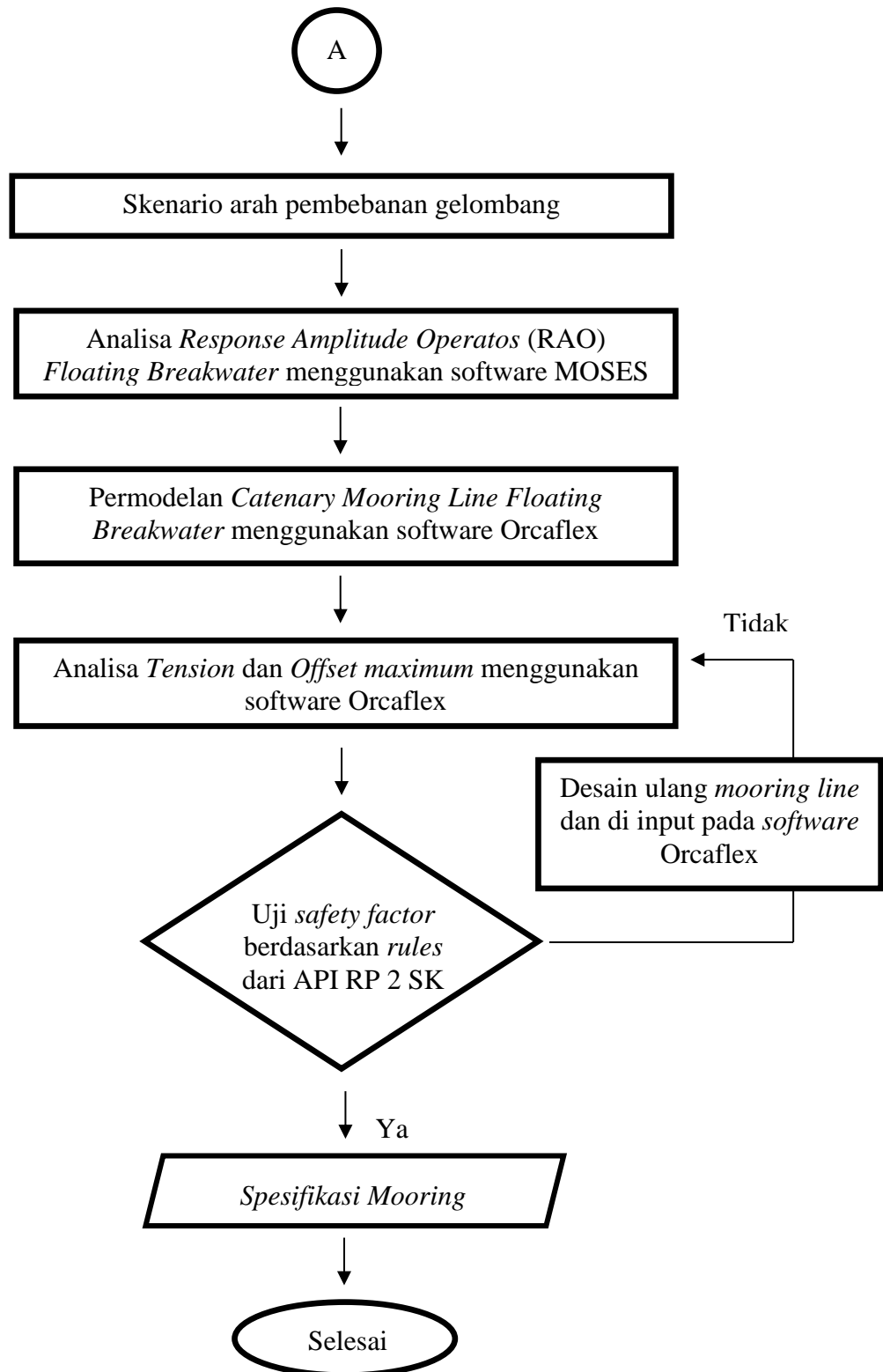
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir ini dapat dijabarkan pada diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur ini dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, mempelajari, serta memahami *paper*, jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini. Dapat juga mempelajari panduan code/standard, serta mempelajari *software* MOSES dan Orcaflex yang akan menunjang pengerjaan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data awal struktur *Floating Breakwater*. Yang awalnya memiliki dimensi 10 m x 3 m x 1.3 m dan *draft* 0,8 m dan *freeboard* 0,5 m dan data lingkungan berupa data gelombang, arus, dan angin.

3. Analisa pemodelan *Floating Breakwater* saat terapung bebas menggunakan *software* MOSES.

Floating breakwater merupakan struktur pemecah gelombang terapung. Perencanaan pembangunan *floating breakwater* ini akan di bangun disekitar laut Utara Jawa. Material yang digunakan untuk *floating breakwater* ini berupa beton dan *floaton* (HDPE). Langkah selanjutnya adalah input data *software* MOSES. Data yang diinput adalah dimensi struktur *floating breakwater*. Setelah itu di *running* menggunakan MOSES, dan *output* dari *runningan* tersebut berupa pemodelan *floating breakwater* dan nilai hidrostatis pada *floating breakwater* tersebut.

4. Validasi Model

Validasi pemodelan *floating breakwater* dengan MOSES bertujuan untuk membandingkan data hidrostatis struktur yang sudah ada dengan membandingkan hasil data hidrostatis struktur menggunakan *software* MOSES. Tujuan dari validasi ini adalah untuk mengetahui bahwasanya model tersebut layak atau tidak digunakan dalam simulasi. Pada tahap validasi ini pemodelan di validasikan berdasarkan dimensi struktur, analisa hidrostatis dan respon gerak pada *floating breakwater*. Jika pada tahap ini gagal maka perlu dilakukan *Redesain Floating Breakwater* pada *software* MOSES. Validasi ini mengacu pada *rules American Breau of Shipping* (ABS) yang dimana validasi displacement bernilai maksimum 2% dan untuk ketentuan lainnya bernilai maksimum 1%.

5. Skenario Arah Pembebanan Gelombang

Skenario arah pembebanan gelombang ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik respon *floating breakwater* pada software MOSES. Untuk arah pembebanan gelombang menggunakan arah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° ini untuk analisa *floating breakwater* pada software MOSES. Sedangkan untuk analisa *tension* dan *offset* maksimum menggunakan software Orcaflex hanya memerlukan variasi arah datang gelombang 0° , 45° , 90° .

6. Analisa *Response Amplitude Operatos (RAO) Floating Breakwater* menggunakan software MOSES

Analisa RAO menggunakan software MOSES yang dimana output dari software ini berupa karakteristik respon gerak pada *floating breakwater* pada moda gerak *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Output analisa RAO dibutuhkan untuk inputan pada software Orcaflex. RAO dapat mempengaruhi *tension* dan *offset* pada *mooring line*. Dari penentuan karakteristik respon tersebut dapat mengetahui seberapa besar *tension* maksimum yang terjadi pada *mooring line*.

7. Permodelan *Catenary Mooring Line Floating Breakwater* menggunakan software Orcaflex

Pada analisa ini dapat menghitung berapa panjang *mooring line* yang dan jumlah *mooring line* yang di perlukan untuk menopang *single floating breakwater* tersebut. Setelah itu menentukan beban lingkungan sekitar tempat dimana *floating breakwater* akan dirancang. Pada pengerjaan kali ini struktur *floating breakwater* akan di rancang di sekitar laut Utara Jawa, yang dimana nanti data lingkungan mengikuti tempat *floating breakwater* akan dirancang. Setelah itu menentukan jarak *mooring line* dari *mooring line* satu dengan *mooring line* berikutnya. Dapat ditentukan juga letak pemasangan *mooring line* yaitu pada *floating breakwater* dan *anchor*, baru lah kita dapat memodelkan *mooring line* yang akan digunakan pada *floating breakwater* tersebut.

8. Analisa *Tension* dan *Offset maximum* menggunakan software Orcaflex

Pada analisa menggunakan software Orcaflex ini membutuhkan input data. Yang dimana sebagian dari input data tersebut diambil dari hasil running RAO yang berupa *add mass*, *load RAO*, *motion RAO*, dan *wave drift*. Setelah itu barulah masuk pada software Orcaflex yang dimana pada software ini juga menginputkan beban lingkungan seperti periode gelombang, tinggi gelombang, arus, angin, dan kedalaman laut. Tidak lupa juga menginputkan berat *chain* yang

akan digunakan dan menginputkan panjang tali pada masing-masing kedalaman yang sudah ditentukan. Selanjutnya running software Orcaflex yang nantinya akan menghasilkan *tension* maksimum pada *mooring line* dan *offset* maksimum yang terjadi pada *floating breakwater*.

9. Uji *safety factor* berdasarkan *rules* dari API RP 2 SK

Setelah mendapat nilai *tension* maksimum dari outputan software Orcaflex, selanjutnya menguji kelayakan *mooring line*. *Rules* mengacu pada API RP 2 SK yang dimana untuk menguji apakah *mooring line* tersebut dapat diaplikasikan atau tidak. Pada *rules* telah ditetapkan standar *tension* maksimum yang diijinkan yaitu 1,67. Jika kurang dari nilai *safety factor* tersebut maka harus mendesign ulang *mooring line*. Jika tidak analisa dapat dilanjutkan.

10. *Spesifikasi Mooring*

Pada tahap ini kita dapat menentukan desain *mooring line* dan spesifikasi *mooring line* yang akan digunakan untuk menopang *floating breakwater* tersebut. Material *mooring line* yang akan digunakan berupa rantai (*chain*) yang menggunakan katalog dari PT. Franklin Offshore Indonesia Perkasa.

11. Kesimpulan

Selanjutnya, menjabarkan hasil dari rumusan masalah pada tugas akhir ini. Hasil akhirnya berupa grafik RAO *floating breakwater* dalam kondisi *free floating*; table nilai *tension* maksimum *mooring line* menggunakan *catenary mooring line* dan table nilai *offset* maksimum untuk struktur *single floating breakwater*; dan yang terakhir adalah penentuan spesifikasi *mooring*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

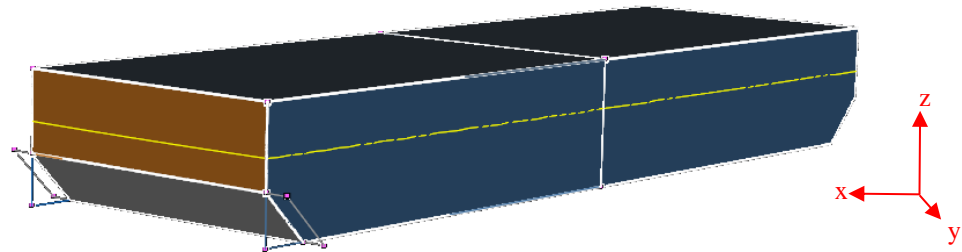
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Floating Breakwater

Pemodelan struktur *floating breakwater* dalam penelitian ini di bantu dengan menggunakan software MOSES. Langkah awal yang dilakukan dalam pemodelan ini adalah memasukan dimensi *floating breakwater* yang memiliki panjang 10 m, lebar 3 m, dan tinggi 1,3 m dan data-data lain yang dibutuhkan untuk melakukan analisa pada software MOSES. Berikut ini merupakan hasil pemodelan dari analisa *floating breakwater* pada software MOSES.

- Pemodelan Pada Software MOSES



Gambar 4.1 Pemodelan Struktur *Floating Breakwater* pada Software MOSES

Sebelum melanjutkan ke tahap analisis, setelah struktur di modelkan maka *floating breakwater* mendapatkan nilai-nilai hidrostatis dan harus divalidasi terlebih dahulu untuk mengetahui apakah *floating breakwater* tersebut sesuai dengan kondisi yang sebenarnya sehingga layak untuk digunakan dalam analisis- analisis selanjutnya . Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ABS untuk validasi displacement bernilai maksimum 2% dan untuk ketentuan lainnya bernilai maksimum 1%.

Tabel 4.1 Nilai Hidrostatis pada *Floating Breakwater* pada output software MOSES

Nilai Hidrostatis			
Floating Breakwater			
Displacement	=	23.06	mT
KB (<i>Keel To Bouyancy</i>)	=	0.42	m
WPA (<i>Water Plane Area</i>)	=	30	m ²
Cb (<i>Coefisien Block</i>)	=	0.968	
LCB (<i>Longitudinal Centre Bouyancy</i>)	=	1.5	m
Volume	=	35.55	m ³
GMT (<i>Gravity Metacenter Transversal</i>)	=	11.16	m
GML (<i>Gravity Metacenter Longitudinal</i>)	=	1.374	m

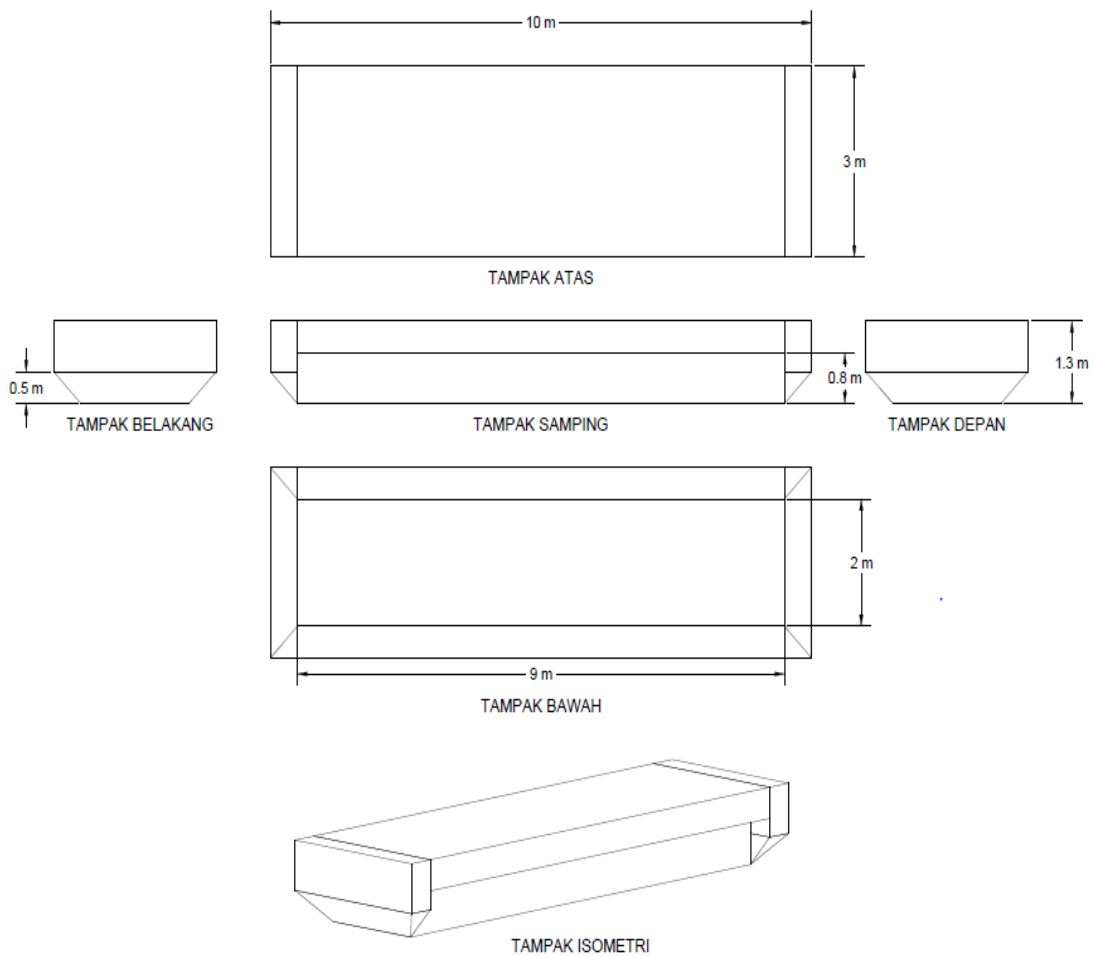
Tabel 4.2 Validasi nilai – nilai hidrostatis dengan data yang sudah di berikan

No	Validasi	Satuan	Model		Koreksi (%)
			Data	MOSES	
1	Displacement	ton	23.52	23.81	0.0123
2	WPA	m ²	30	30	0

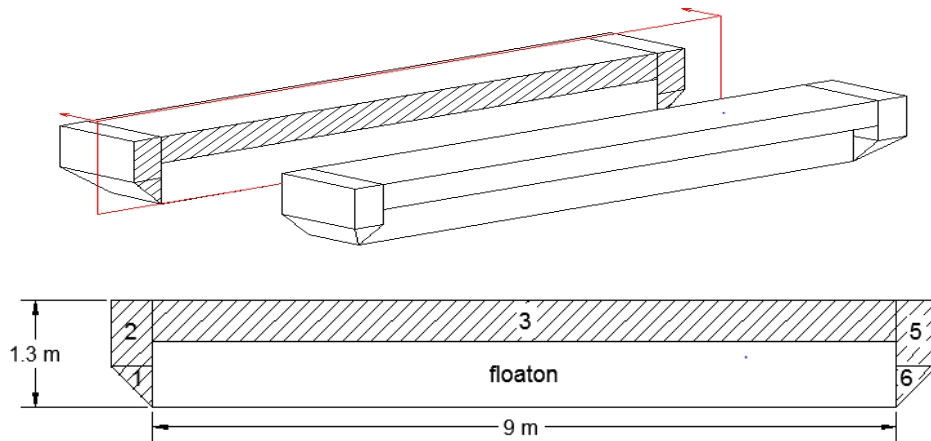
Berdasarkan hasil validasi di atas diperoleh koreksi *displacement* tidak melebihi 2% maka model dapat dinyatakan valid dan sudah mewakili struktur sesungguhnya. Dapat diambil kesimpulan bahwa model MOSES layak digunakan dalam analisis- analisis selanjutnya.

4.1.1 *Material Floating Breakwater*

Desain *floating breakwater* ini menggunakan material yang terdiri dari beton dan *floaton* (HDPE), yang dimana massa jenis beton bernilai 2400 Kg/m³ dan *floaton* memiliki masa jenis 970 Kg/m³. Pada perhitungan material *floating breakwater* ini bisa juga didapatkan berat dari struktur *floating breakwater* tersebut. Berikut akan dijelaskan perhitungan material *floating breakwater* :



Gambar 4.2 Dimensi *floating breakwater*



Gambar 4.3 Skenario peletakan material *floating breakwater*

Tabel 4.3 Perhitungan Material struktur *floating breakwater*

No	Item	Bidang	Dimensi (m)			Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Berat Item (Kg)
			X	Y	Z			
1	Floaton	Persegi Panjang	9	3	1	27	970	1296
2	Beton 1	Segitiga sama sisi	0.5	3	0.5	0.375	2400	900
3	Beton 2	Persegi	0.5	3	0.8	1.2	2400	2880
4	Beton 3	Persegi Panjang	9	3	0.2	5.4	2400	12960
5	Beton 4	Persegi	0.5	3	0.8	1.2	2400	2880
6	Beton 5	Segitiga sama sisi	0.5	3	0.5	0.375	2400	900
Total								21816

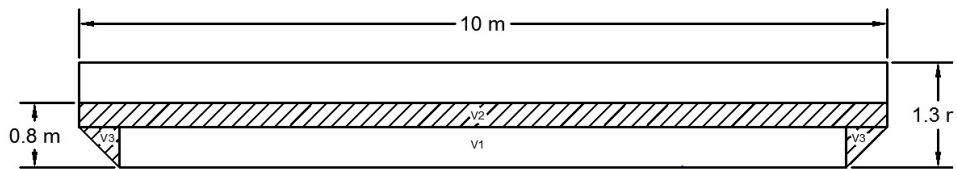
Dari hasil perhitungan material diatas didapatkan nilai dari berat struktur floating breakwater sebesar 21816 Kg.

4.1.2 Gaya Apung (*Bouyancy*)

Seperti yang telah dibahas pada Archimedes, semua benda yang berada di dalam air akan mengalami gaya apung (*buoyancy*). Yang dimana gaya apung ini untuk menentukan struktur *floating breakwater* bisa mengapung atau tidak. Untuk mencari nilai *buoyancy* pada *floating breakwater* ini menggunakan persamaan :

$$FA = \rho \times V_{tercelup} \times g$$

Langkah pertama yaitu mencari $V_{tercelup}$ masing-masing bidang yang dimana bidang yang tercelup pada *floating breakwater* ini adalah segitiga sama sisi, floaton (persegi panjang), dan persegi panjang.



Gambar 4.4 Skenario perhitungan *buoyancy floating breakwater*

Tabel 4.4 Perhitungan Volume tercelup *floating breakwater*

No	Volume Bidang	Bidang	Jumlah Bidang	Dimensi (m)			V tercelup (m ³)
				P	L	T	
1	V1	Floaton	1	9	3	0.8	21.6
2	V2	Persegi Panjang	1	0.5	3	0.2	0.6
3	V3	Segitiga sama sisi	2	0.5	3	0.5	0.75
Total							22.95

Selanjutnya perhitungan $V_{tercelup}$ dimasukan pada persamaan *bouyancy* maka akan di dapatkan nilai *buoyancy* sebesar 230.8 N. Jika dihubungkan dengan total berat struktur yang memiliki nilai berat 21816 kg, maka dapat disimpulkan struktur *floating breakwater* ini dapat mengapung di permukaan air laut.

4.1.3 Centre Of Gravity (COG)

Centre Of Gravity pada struktur bangunan terapung sangatlah penting agar dapat mengetahui stabilitas dari bangunan terapung tersebut. Sesuai dengan pemahaman *Centre Of Grafity* tersebut adalah titik berat atau pusat massa, yang mana semua beban seakan-akan berada di titik tersebut. Untuk mengetahui letak titik *Centre Of Grafity* ini dapat diketahui dengan meninjau semua bobot pada *floating breakwater* tersebut dengan cara meninjau *Centre Of Grafity* masing-masing bidang dan berat jenis material yang digunakan. Berikut table *Centre Of Grafity* masing-masing item :

Tabel 4.5 *Centre Of Grafity* masing-masing bidang pada *floating breakwater*

COG masing-masing bidang							
No	Bidang	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Berat Item (Kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
1	Floaton	27	970	1296	4.5	0	0.5
2	Prisma Segitiga	0.375	2400	900	-0.166	0	0.333
3	Kubus	1.2	2400	2880	-0.25	0	0.9
4	Balok	5.4	2400	12960	4.5	0	1.15
5	Kubus	1.2	2400	2880	9.22	0	0.9
6	Prisma Segitiga	0.375	2400	900	9.166	0	0.333
Total		35.55		21816			

Setelah mendapatkan nilai *Centre Of Gravity* masing-masing bidang yang paparkan pada table 4.5, selanjutnya mencari Momen X, Momen Y, dan Momen Z dengan cara mengalikan nilai X, Y, dan Z dengan nilai masing-masing berat bidang. Berikut table untuk nilai momen :

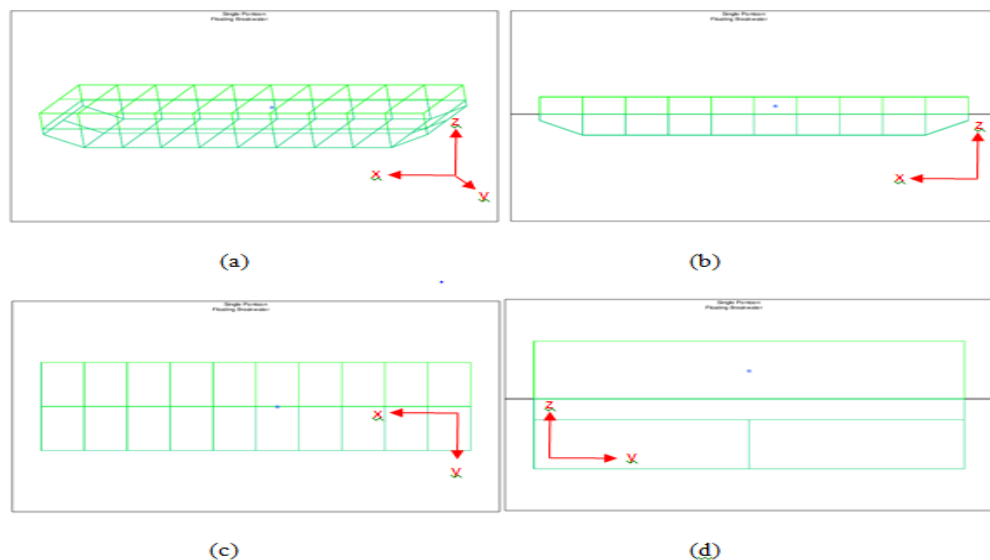
Tabel 4.6 Momen Masing-masing bidang

Momen masing-masing bidang								
No	Bidang	Berat Item (Kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Momen X (Kg.m)	Momen Y (Kg.m)	Momen Z (Kg.m)
1	Floaton	1296	4.5	0	0.5	5832	0	648
2	Prisma Segitiga	900	-0.166	0	0.333	-149.4	0	299.7
3	Kubus	2880	-0.25	0	0.9	-720	0	2592
4	Balok	12960	4.5	0	1.15	58320	0	14904
5	Kubus	2880	9.22	0	0.9	26553.6	0	2592
6	Prisma Segitiga	900	9.166	0	0.333	8249.4	0	299.7
Total		21816				98085.60	0	21335.4

Setelah itu mencari total *Centre Of Gravity* keseluruhan pada *floating breakwater* dengan cara membagi jumlah masing-masing Momen X, Momen Y, dan Momen Z dengan nilai total berat item. Berikut merupakan table nilai hasil perhitungan total dan gambar letak dari *Centre Of Gravity floating breakwater* :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Centre Of Gravity floating breakwater*

CENTRE OF GRAVITY		
X (m)	Y (m)	Z (m)
4.5	0	1



Gambar 4.5 Pemodelan MOSES yang menunjukkan letak COG : (gambar a) tampak isometric, (gambar b) tampak depan, (gambar c) tampak atas, (gambar d) tampak samping

4.1.4 Radius Girasi

Sebelum mencari radius girasi, dilakukan perhitungan untuk mencari inersia masing-masing massa material dan bidang terlebih dahulu. Berikut table hasil dari perhitungan inersia masing-masing bidang:

Tabel 4.8 Perhitungan inersia masing-masing massa material pada bidang *floating breakwater*

No	Bidang	Berat (Kg/m ³)	Panjang (m)	Tinggi (m)	Lebar (m)	Inersia (m ⁴)		
						X	Y	Z
1	Prisma Segitiga	900	0.25	0.25	9	12.5	12.5	450
2	Kubus	2880	0.25	0.64	9	2220	213.6	2313.6
3	Balok	12960	81	0.04	9	97200	87523	9763.2
4	Kubus	2880	0.25	0.64	9	2220	213.6	2313.6
5	Prisma Segitiga	900	0.25	0.25	9	12.5	12.5	450
6	Floaton	1296	81	1	9	8856	9720	1080

Setelah itu, ditemukan hasil dari masing-masing massa pada bidang *floating breakwater*, selanjutnya menghubungkan titik *Centre Of Gravity* masing-masing bidang dengan cara mengkuadratkan hasil dari *Centre Of Gravity* masing-masing bidang untuk mengetahui jarak titik berat masing-masing bidang terhadap titik berat *Floating Breakwater*. Berikut pemaparan nilai perhitungan jarak titik berat bidang terhadap titik berat *floating breakwater* : (m⁴)

Table 4.9 Perhitungan Jarak titik berat bidang terhadap titik berat *floating breakwater*

No	Bidang	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Jarak titik berat item terhadap titik berat Floating Breakwater (m)		
							X	Y	Z
1	Floaton	27	970	4.5	0	0.5	20.25	0	0.25
2	Bidang 1	0.375	1200	-0.17	0	0.33	0.03	0	0.11
3	Bidang 2	1.2	1200	-0.25	0	0.9	0.06	0	0.81
4	Bidang 3	5.4	1200	4.5	0	1.15	20.25	0	1.32
5	Bidang 4	1.2	1200	9.22	0	0.9	85.01	0	0.81
6	Bidang 5	0.375	1200	9.17	0	0.33	84.02	0	0.11

Jika sudah mengetahui jarak titik berat bidang terhadap titik berat *floating breakwater*, selanjutnya melakukan koreksi inersia masing-masing bidang yang dimana koreksi inersia X, didapatkan dari hasil penambahan jarak titik berat bidang terhadap titik berat *floating breakwater* Y dengan jarak titik berat item terhadap titik berat *floating breakwater* Z lalu dikalikan dengan jumlah dari berat per item masing-masing bidang. Untuk mengetahui koreksi inersia Y, didapatkan dari hasil penambahan jarak titik berat item terhadap titik berat *floating breakwater* X dengan jarak titik berat item terhadap titik berat *floating breakwater* Z lalu dikalikan

dengan jumlah dari berat per item masing-masing bidang. Untuk mengetahui koreksi inersia Z, didapatkan dari hasil penambahan jarak titik berat item terhadap titik berat *floating breakwater* X dengan jarak titik berat item terhadap titik berat *floating breakwater* Y lalu dikalikan dengan jumlah dari berat per item masing-masing bidang. Tujuan dari mengkoreksi inersia bidang ini karena benda itu tidak tetap pada sumbu putarnya sendiri (titik beratnya sendiri) akan tetapi diputar terhadap total benda gabungannya.

Tabel 4.10 Koreksi Inersia masing-masing bidang pada *floating breakwater*

No	Bidang	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Berat Item (Kg)	Jarak titik berat item terhadap titik berat Floating Breakwater (m)			Koreksi Inersia		
					X ²	Y ²	Z ²	X	Y	Z
1	Floaton	27	970	1296	20.25	0.00	0.25	324	26568	26244
2	Bidang 1	0.375	2400	900	0.03	0.00	0.11	99.8	124.6	24.8004
3	Bidang 2	1.2	2400	2880	0.06	0.00	0.81	2332.8	2512.8	180
4	Bidang 3	5.4	2400	12960	20.25	0.00	1.32	17139.6	279580	262440
5	Bidang 4	1.2	2400	2880	85.01	0.00	0.81	2332.8	247157	244824
6	Bidang 5	0.375	2400	900	84.02	0.00	0.11	99.8	75713.8	75614
Total				21816						

Mengingat radius girasi adalah jarak yang menunjukkan distribusi massa (atau area) dari benda tersebut, maka perhitungan radius girasi *floating breakwater* kali ini distribusi massa dihitung setiap massa material yang di gunakan dan disesuaikan dengan bentuk bidang pada struktur *floating breakwater*. Dimana hasil dari penjumlahan inersia material yang di gunakan dan disesuaikan dengan bentuk bidang pada struktur *floating breakwater*. Cara mendapatkan nilai radius girasi ini adalah koreksi inersia dijumlahkan dengan inersia masing-masing item pada *floating breakwater* lalu akan di dapatkan hasil berupa nilai Kxx, Kyy, Kzz. Selanjutnya Kxx, Kyy, Kzz dijumlahkan masing-masing. Berikut table nilai dari Kxx, Kyy, Kzz :

Tabel 4.11 Perhitungan mencari nilai Radius Girasi

No	Bidang	Koreksi Inersia			Inersia Masing-Masing Item			Kxx	Kyy	Kzz
		X	Y	Z	I _{0x}	I _{0y}	I _{0z}			
1	Floaton	324	26568	26244	8856	9720	1080	9180	36288	27324
2	Bidang 1	99.8	124.601	24.8	12.5	12.5	450	112.30	137.10	474.8
3	Bidang 2	2332.8	2512.8	180	2220	213.6	2313.6	4552.8	2726.4	2493.6
4	Bidang 3	17140	279580	262440	97200	87523	9763.2	114340	367103	272203
5	Bidang 4	2332.8	247157	244824.2	12.5	213.6	2313.6	2345.3	247371	247138
6	Bidang 5	99.8	75713.8	75614	2220	12.5	450	2319.8	75726.3	76064
Total								132850	729351	625697

Setelah didapatkan hasil nilai K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} selanjutnya untuk mencari radius girasi menggunakan persamaan Bhattacharyya (1978) sebagai berikut, dimana M merupakan total berat dari masing-masing item (massa item):

$$\begin{aligned} R_{Gx} &= \sqrt{\frac{K_{xx}}{M}} \\ &= \sqrt{\frac{132850}{21816}} \\ &= 2.4677 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{Gy} &= \sqrt{\frac{K_{yy}}{M}} \\ &= \sqrt{\frac{729351}{21816}} \\ &= 5.782036 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{Gz} &= \sqrt{\frac{K_{zz}}{M}} \\ &= \sqrt{\frac{625697}{21816}} \\ &= 5.35543 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan radius girasi menggunakan persamaan Bhattacharyya (1978), maka akan didapatkan nilai R_{Gx} sebesar 2.4677 m, nilai R_{Gy} sebesar 5.782036 m, dan nilai R_{Gz} sebesar 5.35543 m.

4.2 Analisis Gerak Floating Breakwater Pada Saat Terapung Bebas (Free Floating)

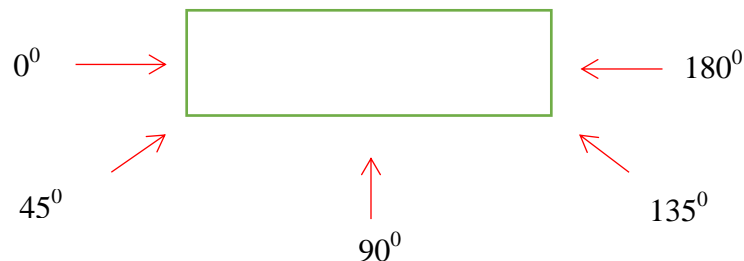
Karakteristik gerak *floating breakwater* dalam kondisi mengapung bebas (*free floating*) tanpa sistem penambatan akan menghasilkan moda gerak vertikal (*heave*, *roll* dan *pitch*) yang lebih dominan daripada moda gerak horizontal (*surge*, *sway* dan *yaw*). Hal ini disebabkan karena ketiga moda gerak tersebut (moda gerak vertikal) memiliki faktor kekakuan akibat eksitasi gelombang harmonik, adanya faktor kekakuan tersebut menyebabkan harga faktor redaman menjadi kecil sehingga ketika gerakan mencapai frekuensinya perubahan karakteristik gerak akan mempunyai bagian yang melonjak secara tajam. Sedangkan moda gerak horizontal yang tidak memiliki faktor kekakuan saat kondisi terapung bebas akan menghasilkan faktor redaman yang relatif besar sehingga gerakan akan teredam oleh adanya faktor redaman tersebut sehingga dalam moda gerak horizontal tidak memiliki bagian yang melonjak tajam. Apabila ada kenaikan pada bagian tertentu,

maka kenaikan kurva tersebut dipengaruhi oleh efek kopel dari gerakan lainnya. Penjelasan dibawah ini akan menerangkan karakteristik gerak *floating breakwater* yang dianalisis akibat beban lingkungan yang di tinjau.

4.2.1 Skenario Dengan menambahkan Beban Lingkungan

Skenario pembebanan yang dilakukan untuk menganalisa gerak *floating breakwater* pada software MOSES dalam penelitian ini, khususnya untuk beban lingkungan adalah sebagai berikut :

- a. Beban gelombang arah 0^0
- b. Beban gelombang arah 45^0
- c. Beban gelombang arah 90^0
- d. Beban gelombang arah 135^0
- e. Beban gelombang arah 180^0

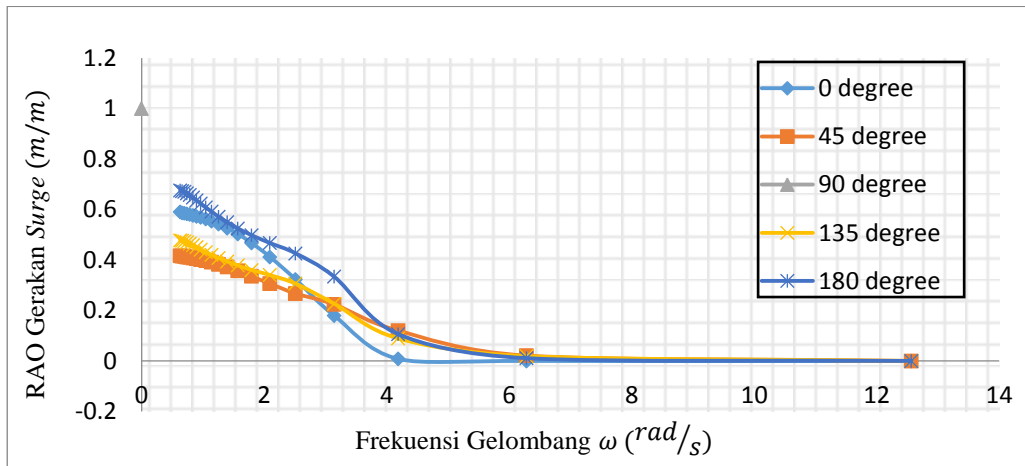


Gambar 4.6 Skenario arah datang gelombang pada *floating breakwater* tampak atas

4.2.2 *Response Amplitude Operators (RAO) Floating Breakwater* kondisi *Free Floating*

Untuk mengetahui RAO *floating breakwater* pada kondisi *free floating* pada *floating breakwater* ini di bantu dengan menggunakan software MOSES. Untuk variasi tinggi gelombang tidak di masukan pada simulasi ini, karena secara otomatis MOSES akan menghitung pada amplitude 1 m. Nilai yang dihasilkan bersifat linear terhadap tinggi gelombang akan tetapi pada frekuensi yang sama. Setelah itu akan menghasilkan respon gerak *floating breakwater* pada kondisi *free floating* denga arah pembebanan 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 . Berikut pemaparan karakteristik gerak *floating breakwater* pada waktu *free floating* :

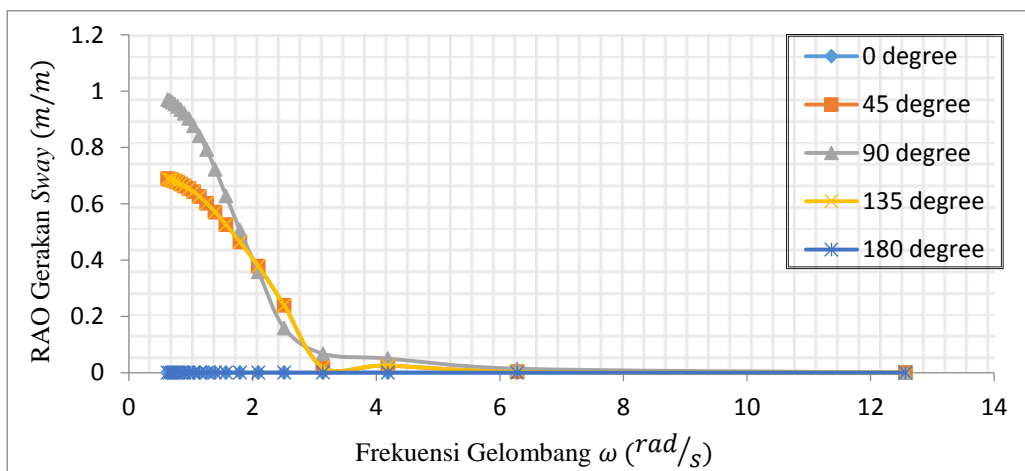
a. Analisa RAO pada gerakan Surge



Gambar 4.7 RAO *floating breakwater* pada gerakan Surge

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan horizontal bangunan apung. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.7 bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang haluan (arah 180°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.675 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s. Kemudian gelombang buritan (arah 0°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.05 m/m yang terjadi pada frekuensi yang sama 0.623 rad/s. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.623 rad/s. RAO perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO tertinggi sebesar 0.471 m/m dan 0.478 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi yang sama 0.6283 rad/s. Sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil dengan RAO 0 m/m pada frekuensi 0.6283 rad/s, hal ini dikarenakan gelombang arah 90° tidak begitu berpengaruh untuk terjadinya gerakan *surge*.

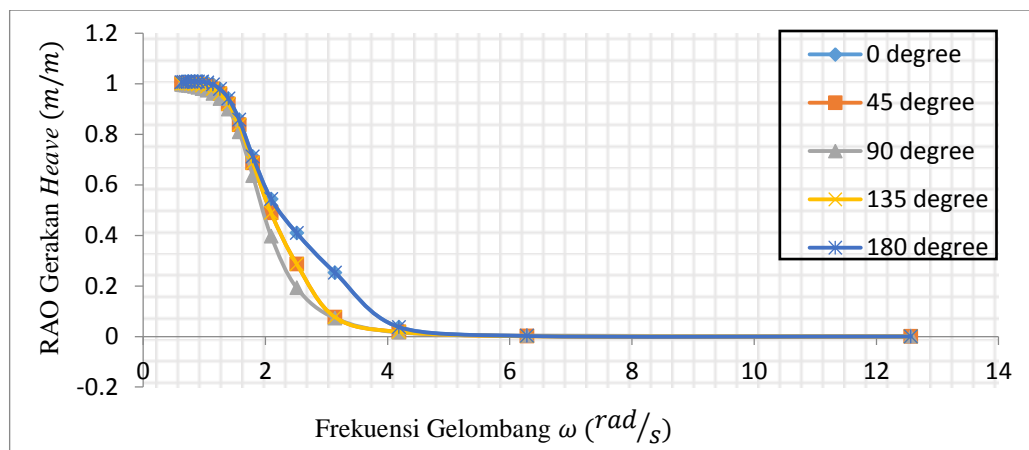
b. Analisa RAO pada gerakan Sway



Gambar 4.8 RAO *floating breakwater* pada gerakan Sway

Gerakan surge dan sway memiliki karakteristik kurva yang hampir sama, dimana nilai maksimum terjadi pada frekuensi rendah. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan sway didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°). Pada gelombang perempat (arah 45° dan 135°) intensitas gerakan sedikit menurun. Gerakan sway secara teoritis tidak akan terjadi pada gelombang buritan ataupun haluan, seperti pada Gambar 4.6, arah 0° dan arah 180° memiliki kurva yang menempel di sumbu-x kurva dan memiliki nilai RAO 0 m/m. RAO gerakan sway tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 0.97 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang keduanya memiliki nilai RAO yang sama sebesar 0.689 m/m. Semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang gelombang terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memberikan efek terhadap perilaku gerakan sway.

c. Analisa RAO pada gerakan *Heave*

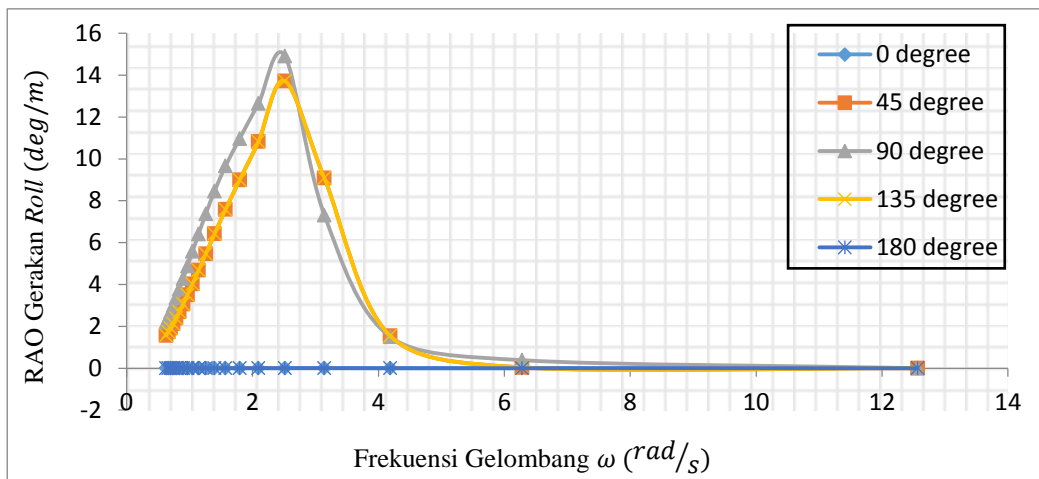


Gambar 4.9 RAO *floating breakwater* pada gerakan *Heave*

Gerakan heave merupakan salah satu pola gerakan vertical bangunan apung. Seperti pada Gambar 4.9 bahwa semakin kecil frekuensi maka nilai RAO akan mendekati 1 atau lebih kecil dari 1, yang berarti bahwa perilaku struktur akibat adanya gelombang hampir tidak ada dan bahkan mengecil. Kemudian grafik secara bertahap naik sampai mencapai puncak (resonansi) dan menurun lagi sampai mendekati 0. RAO gerakan heave memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 0.996 m/m, terjadi pada frekuensi 0.8976 rad/s. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 1 m/m dan 1 m/m. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memberikan efek yang paling kecil sebesar 1.008 m/m dan

1.008 m/m. Semuanya terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s. Dapat disimpulkan bahwa pada gelombang sisi (arah 90°) terjadi resonansi yang menyebabkan puncak gelombang pada arah ini tidak berada pada frekuensi yang sama seperti arah datang gelombang lainnya, yaitu pada frekuensi 0.6283 rad/s tetapi memiliki perbedaan sendiri, dimana puncaknya terjadi pada frekuensi 0.8976 rad/s. Hal ini memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai acuan untuk menempatkan/menambatkan floating breakwater supaya tidak terkena gelombang sisi yang dominan

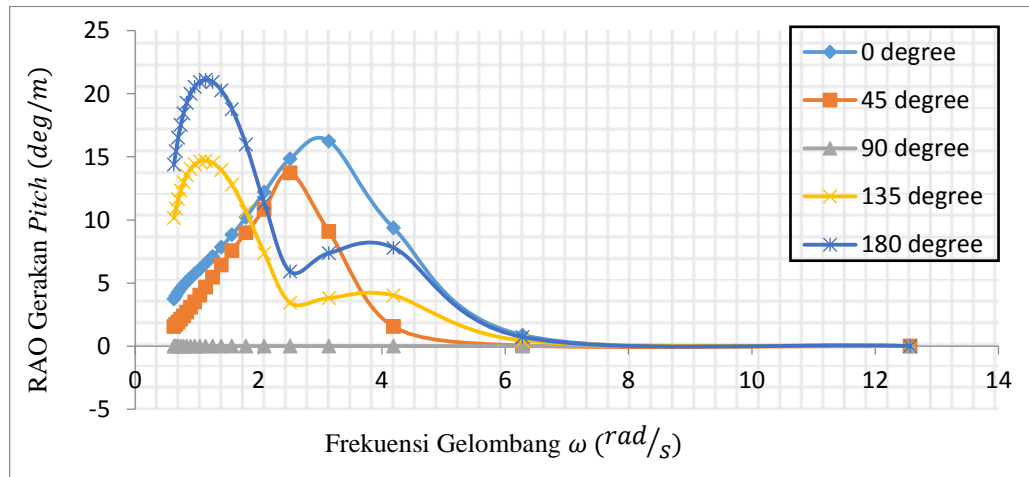
d. Analisa RAO pada gerakan Roll



Gambar 4.10 RAO floating breakwater pada gerakan Roll

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerak roll merepresentasikan nilai yang kecil kemudian naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi). Karakteristik gerakan roll akan didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°), kemudian gelombang perempat (arah 45° dan 135°). Sedangkan gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) memberikan efek yang paling kecil, seperti pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai RAOnya adalah 0. RAO gerakan roll memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 14.915 deg/m yang terjadi pada frekuensi 2.5 rad/s. Diikuti oleh RAO dari gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tertinggi yaitu 13.72 deg/m dan 13.72 deg/m, nilai RAO tersebut juga terjadi pada frekuensi 2.5 rad/s.

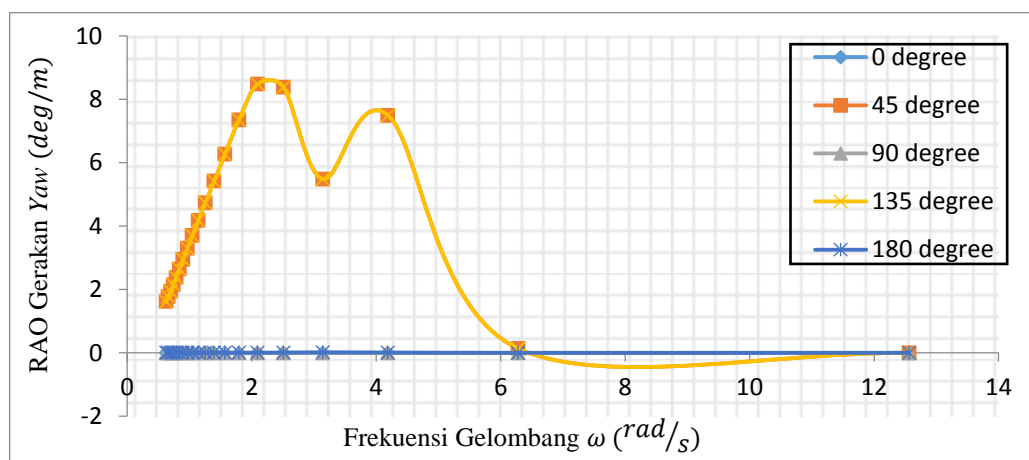
e. Analisa RAO pada gerakan Pitch



Gambar 4.11 RAO *floating breakwater* pada gerakan Pitch

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan pitch didominasi oleh gelombang arah 0° dan 180° . Kemudian gerakan akibat gelombang perempat (arah 45° dan 135°), dan gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil. RAO gerakan pitch memiliki kenaikan tajam pada arah datang gelombang haluan (180°) dengan nilai tertinggi sebesar 21.105 deg/m, diikuti oleh arah datang gelombang buritan (90°) sebesar 0 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s. Kemudian selanjutnya RAO tertinggi dari arah 135° sebesar 14.7 deg/m yang terjadi pada frekuensi 1.1 rad/s dan dari arah 45° dengan nilai RAO yang lebih kecil yaitu 8.33 deg/m terjadi pada frekuensi 2.0944 rad/s. Dan arah gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil yakni 0 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.6283 rad/s.

f. Analisa RAO pada gerakan Yaw



Gambar 4.12 RAO *floating breakwater* pada gerakan Yaw

Untuk RAO gerakan yaw seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 memiliki kenaikan pada gelombang perempat haluan (arah 135°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 8.477 deg/m dan gelombang perempat buritan (arah 45°) sebesar 8.479 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 2 rad/s. Diikuti oleh RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90°) sebesar 0 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memiliki pengaruh terhadap gerakan yaw floating breakwater karena memiliki nilai RAO 0 deg/m pada setiap frekuensi.

Dari keseluruhan pembahasan RAO *floating breakwater* pada kondisi terapung bebas (*free floating*) yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7 – Gambar 4.12, maka dapat disimpulkan bahwa *floating breakwater* mengalami gerakan yang signifikan yakni pada gerak heave, roll dan pitch. Dimana ketiganya merupakan mode gerakan vertikal bangunan apung.

4.3 Catenary Mooring

Pemilihan jenis *mooring* yang digunakan pada *floating breakwater* ini adalah *Catenary Mooring Line*. *Catenary Mooring Line* ini adalah penambat struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary* yang bertujuan untuk memanfaatkan berat *mooring* sehingga struktur terapung tertahan di posisinya. Desain *mooring* struktur *floating breakwater* ini memerlukan 4 buah *mooring* yang akan di tambatkan. Analisa *mooring* struktur ini di berikan variasi ketinggian gelombang, pasang surut, kedalamann laut, dan sudut datang arah gelombang yang nantinya akan berpengaruh pada tension mooring dan *offset* pada *floating breakwater*. Biasanya *Catenary Mooring Line* ini digunakan pada kondisi perairan dangkal. Selain itu *catenary mooring* ini memiliki tension yang tidak terlalu besar, maka berpengaruh pada peluang untuk putusnya *chain* semakin kecil.

4.3.1 Properti Rantai (*Chain Property*)

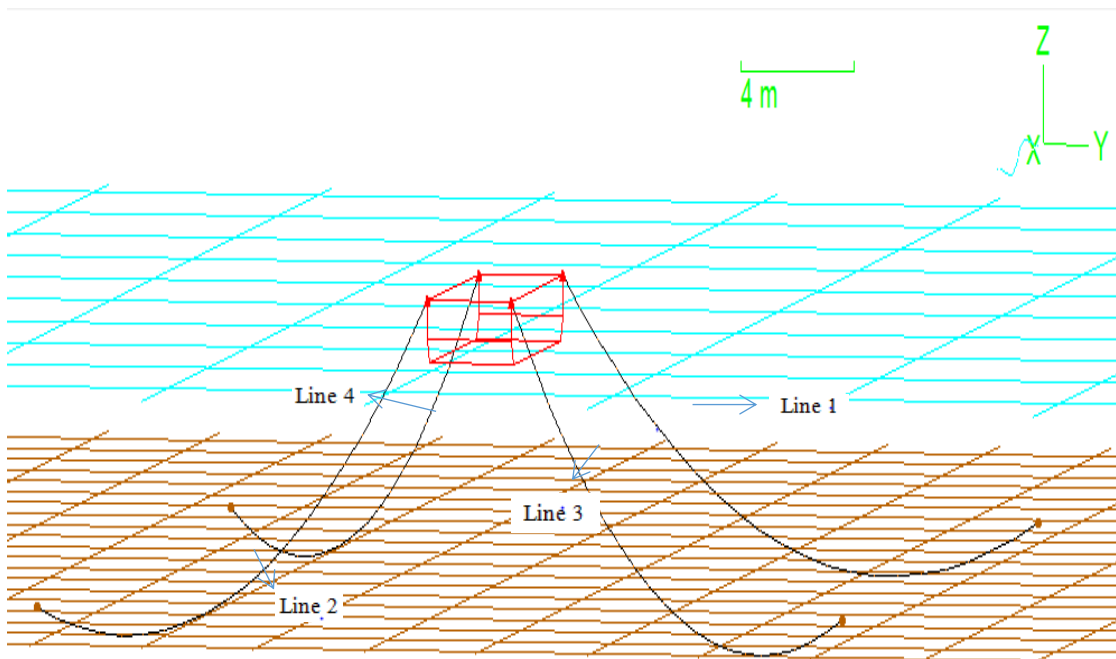
Material yang digunakan pada system tambat *floating breakwater* ini adalah rantai (*chain*). Rantai telah menunjukkan keunggulannya pada operasi lepas pantai. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi *holding capacity anchor* terhadap yang sangat signifikan. Perancangan desain *mooring* kali ini menggunakan diameter chain 12,5 dan memiliki nilai breaking load 92,2 kN yang menggunakan acuan katalog dari PT. Franklin Offshore Indonesia Perkasa.

4.3.2 Catenary Mooring Line

Perhitungan panjang *mooring line* didapatkan menggunakan acuan dari *Design Of Ocean System Mooring Dynamic* Untuk menentukan sudut ordinat pada *mooring line* yang dipasang dibantu dengan menggunakan software Autocad. Tiap-tiap *mooring line* menggunakan ordinat symetri 45° . Pada perhitungan mencari *mooring line* ini juga di berikan beban angin, arus, dan gelombang serta terdapat variasi pasang surut dan kedalaman. Berikut ringkasan beban lingkungan.

Tabel 4.14 Beban Lingkungan

Kondisi Lingkungan			
Wind speed	=	11	Knots
	=	5.65889	m/s
Current speed	=	3.38	cm/s
	=	0.338	m/s
Maximum wave height	=	1.7	m
Signifikan weve height	=	1.5	m
Selisih dari pasang ke surut	=	1.2	m
Periode	=	6	s
Spektra	=	JONSWAP	



Gambar 4.13 Penempatan *Mooring Line*

4.4 Tension dan Offset

Untuk mengetahui nilai *tension* pada *mooring line floating breakwater*, penelitian kali ini di bantu dengan menggunakan software Orcaflex. Analisa *tension* pada *mooring line* ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum

yang terjadi pada *mooring line*. Hasil dari tegangan maksimum ini akan digunakan untuk menentukan apakah konfigurasi *mooring floating breakwater* sudah didesain kuat atau tidak saat digunakan di dunia nyata. Beban yang dimasukkan dalam analisis ini adalah beban gelombang, arus, dan angin. Setelah memasukkan input beban lingkungan seperti yang sudah disebutkan, kemudian dilakukan input data *floating breakwater* dari software MOSES. Setelah *floating breakwater* sudah sesuai dengan design maka dilakukan peletakan struktur *mooring floating breakwater* dan *mooring line* sesuai dengan design yang diinginkan. Untuk properti *mooring line* yang digunakan adalah rantai (*chain*) dengan diameter 12.2 mm dan memiliki *Minimum Breaking Load* (MBL) sebesar 92.2 kN. *Safety Factor* untuk *mooring line* sebesar 1.67 yang menggunakan *rules* dari API RP 2 SK. Untuk proses running agar menghasilkan *tension maksimum* pada *mooring line* diperlukan simulasi selama 3 jam (10800 s) sesuai dengan *rules* dari DNV OS E301.

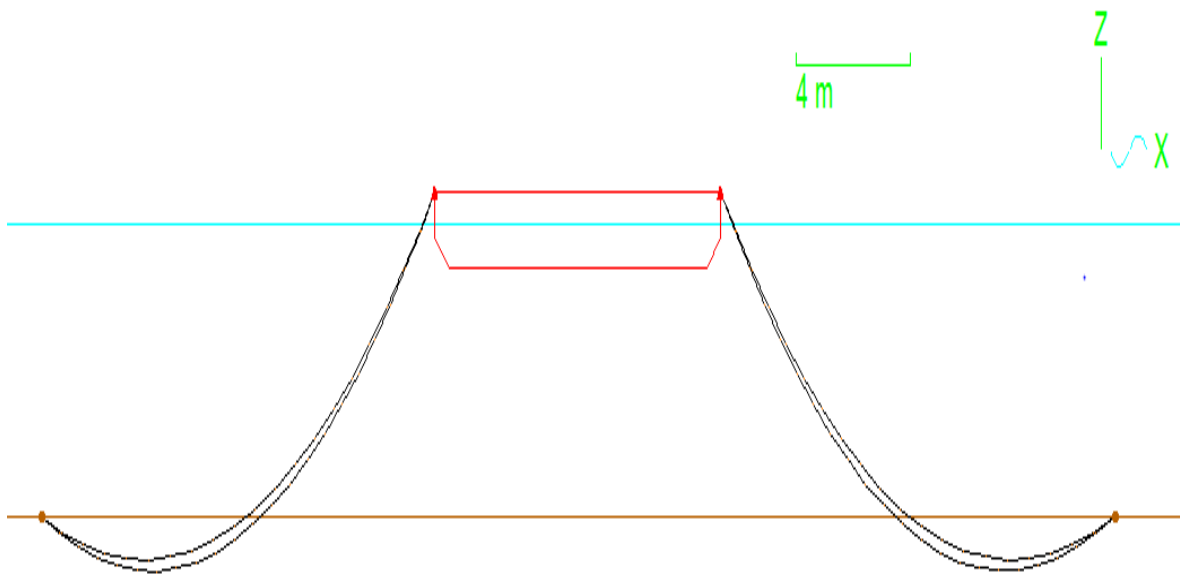
Untuk mengetahui *offset* pada *floating breakwater* di bantu dengan menggunakan software Orcaflex. *Offset* adalah perpindahan posisi pada *floating breakwater* dengan jarak sejauh X meter setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari *floating breakwater* pada saat mendapat beban lingkungan. Hasil beban lingkungan yang di dapat dari output software MOSES, selanjutnya diinputkan pada struktur *floating breakwater* menggunakan software Orcaflex. Output yang di berikan dari software Orcaflex ini berupa nilai maksimum *offset floating breakwater*. *Safety Factor* dari *offset* bernilai 8%-12% dari kedalaman. Cara menghitungnya adalah hasil dari pergerakan dinamis dikurangi hasil pergerakan statis. Nilai *safety factor* tersebut mengacu pada API RP 2 SK.

4.4.1 Kondisi Lingkungan

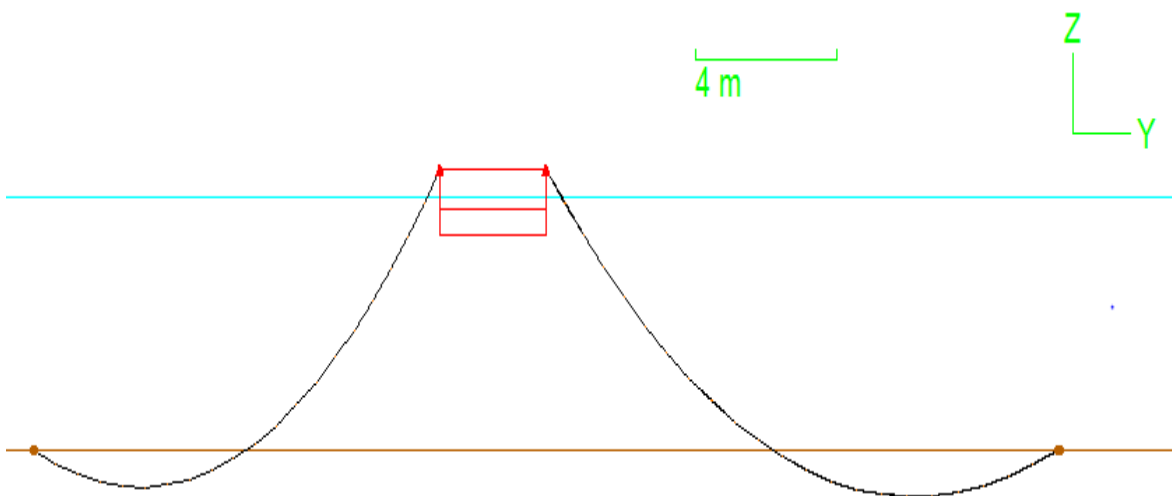
Berikut merupakan table kondisi lingkungan untuk analisa *tension maksimum* pada *mooring* dan *offset* yang terjadi pada *struktur floating breakwater* yang di mengacu pada kondisi pasang surut, arus, angin dan gelombang di daerah pantai utara Jawa :

Tabel 4.15 Tabel kondisi lingkungan Pantai Utara Jawa

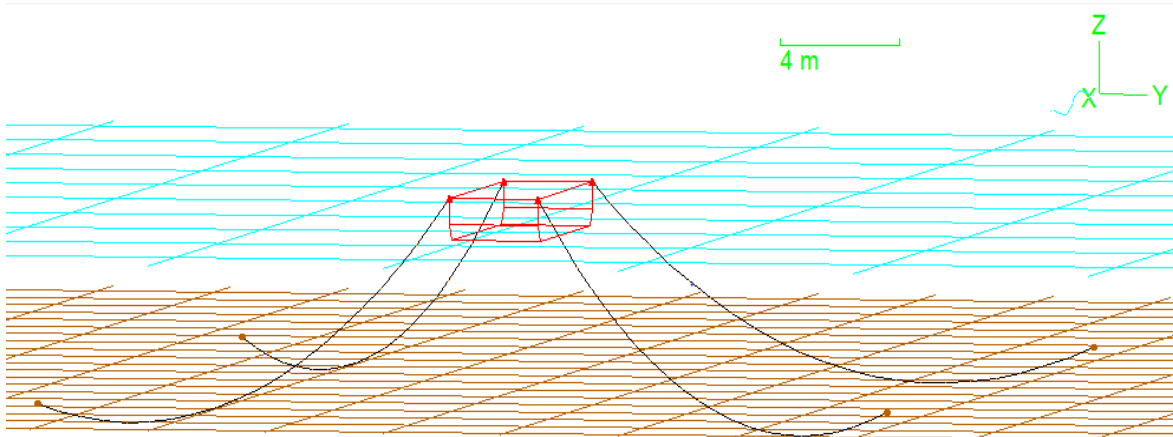
Kondisi Lingkungan			
Wind speed	=	11	Knots
	=	5.65889	m/s
Current speed	=	3.38	cm/s
	=	0.338	m/s
Maximum wave height	=	1.7	m
Signifikan weve height	=	0.5	m
	=	1	m
	=	1.5	m
Selish dari pasang ke surut	=	1.2	m
Periode	=	6	s



Gambar 4.14 Tampak depan *floating breakwater* yang sudah tertambat



Gambar 4.15 Tampak samping *floating breakwater* yang sudah tertambat



Gambar 4.16 Tampak isometri *floating breakwater* yang sudah tertambat

4.4.2 Letak pemasangan *mooring line*

Letak pemasangan *mooring line* ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *catenary mooring* yang nantinya akan menjadi acuan untuk mengetahui ordinat peletakan *mooring line*. Jumlah *mooring line* yang diperlukan ada 4 buah. *Mooring line* pada *floating breakwater* ini dipasang pada ujung struktur *floating breakwater* dan pada *anchor*. Berikut table letak pemasangan *mooring line* pada keadaan pasang 6,2 m; 8,2 m; 9,2 m; 11,2 m; dan surut 5 m; 7 m; 8 m; 10 m.

Tabel 4.16 Letak pemasangan *mooring line* pada *floating breakwater* pada kondisi pasang 6,2 m dan surut 5 m

No	Fairlead	Position		
		X	Y	Z
1	Fairlead 1	9.5	0	1.3
2	Fairlead 2	9.5	3	1.3
3	Fairlead 3	-0.5	3	1.3
4	Fairlead 4	-0.5	0	1.3

No	Anchor	Position		
		X	Y	Z
1	Anchore 1	-23.2854	14.499	0
2	Anchore 2	-23.2854	-14.499	0
3	Anchore 3	14.2854	-14.499	0
4	Anchore 4	14.2854	14.449	0

Tabel 4.17 Letak pemasangan *mooring line* pada *floating breakwater* pada kondisi pasang 8,2 m dan surut 7 m

No	Fairlead	Position		
		X	Y	Z
1	Fairlead 1	9.5	0	1.3
2	Fairlead 2	9.5	3	1.3
3	Fairlead 3	-0.5	3	1.3
4	Fairlead 4	-0.5	0	1.3

No	Anchor	Position		
		X	Y	Z
1	Anchore 1	-24.225	15.4572	0
2	Anchore 2	-24.225	-15.4572	0
3	Anchore 3	15.225	-15.4572	0
4	Anchore 4	15.225	15.4572	0

Tabel 4.18 Letak pemasangan *mooring line* pada *floating breakwater* pada kondisi pasang 9,2 m dan surut 8 m

No	Fairlead	Position		
		X	Y	Z
1	Fairlead 1	9.5	0	1.3
2	Fairlead 2	9.5	3	1.3
3	Fairlead 3	-0.5	3	1.3
4	Fairlead 4	-0.5	0	1.3

No	Anchor	Position		
		X	Y	Z
1	Anchore 1	-24.573	15.7464	0
2	Anchore 2	-24.573	-15.7464	0
3	Anchore 3	15.573	-15.7464	0
4	Anchore 4	15.573	15.7464	0

Tabel 4.19 Letak pemasangan *mooring line* pada *floating breakwater* pada kondisi pasang 11,2 m dan surut 8 m

No	Fairlead	Position		
		X	Y	Z
1	Fairlead 1	9.5	0	1.3
2	Fairlead 2	9.5	3	1.3
3	Fairlead 3	-0.5	3	1.3
4	Fairlead 4	-0.5	0	1.3

No	Anchor	Position		
		X	Y	Z
1	Anchore 1	-25.0671	16.1784	0
2	Anchore 2	-25.0671	-16.1784	0
3	Anchore 3	16.0671	-16.1748	0
4	Anchore 4	16.0671	16.1748	0

4.4.3 Hasil analisa *Tension Maximum* dan *Offset Maximum*

Untuk mengetahui nilai *tension* maksimum dan *offset* maksimum pada penelitian ini menggunakan variasi pada kondisi lingkungan, yang dimana elevasi muka air pada saat pasang 6,2 m; 8,2 m; 9,2 m; 11,2 m; dan surut 5 m; 7 m; 8 m; 10 m. Kondisi tinggi gelombang divariasikan menjadi 0,5 m, 1 m, 1,5 m dan variasi arah datang gelombang dari sudut 0°, 45°, 90°. Dengan kondisi arus 0,33 (m/s).

Tegangan maksimum pada tiap-tiap *mooring line* dan *safety factor* yang di koreksi dengan menggunakan *rules API RP 2 SK*. *Offset* maksimum pada *floating breakwater* menggunakan *rules API RP 2 SK*, yang dimana pada analisa ini nilai *offset* maksimum didapatkan dari gelombang signifikan paling maksimum pada elevasi muka air dalam kondisi pasang sesuai dengan arah datang gelombang. Berikut penjelasan table pemasangan mooring line, *tension maksimum* dan *offset* maksimum dibantu dengan menggunakan software Orcaflex:

a. Kondisi Pantai pada saat pasang 6.2 m surut 5 m

Hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.20, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi pasang 6,2 m adalah pada *mooring line* nomer 3 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 10,55 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 8,74. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,01 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,0704 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.20 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi pasang 6.2 m*

No	Mooring Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	10.40	8.87	10.39	8.87	10.52	8.76	0.01	0.0704
2	Line 3	45°	10.45	8.82	10.49	8.79	10.48	8.80	0.0036	0.0924
3	Line 3	90°	10.53	8.76	10.54	8.75	10.55	8.74	0.0039	0.1047

Sedangkan hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.21, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi surut 5 m adalah pada *mooring line* nomer 2 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 6,54 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 14,45. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,0089 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,1209 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.21 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi surut 5 m*

No	Moorin g Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	6.42	14.36	6.45	14.29	6.39	14.44	0.015	0.061
2	Line 3	45°	6.45	14.29	6.43	14.34	6.46	14.26	0.099	0.033
3	Line 3	90°	6.53	14.13	6.53	14.11	6.54	14.45	0.0089	0.1209

b. Kondisi Pantai pada saat pasang 8.2 m dan surut 7 m

Hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.22, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi pasang 8,2 m adalah pada *mooring line* nomer 2 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 10,50 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 8,78. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,0006 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,0143 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.22 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi pasang 8.2 m*

No e	Moorin g Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	10.31	8.94	10.33	8.93	10.37	8.89	0.013	0.0969
2	Line 3	45°	10.35	8.91	10.35	8.91	10.37	8.89	0.0041	0.127
3	Line 3	90°	10.42	8.85	10.43	8.84	10.50	8.78	0.006	0.143

Sedangkan hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.23, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi surut 7 m adalah pada *mooring line* nomer 3 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 7,37 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 12,51. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,0118 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,1607 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka

disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.23 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi surut 7 m*

No	Mooring Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	7.25	12.72	7.27	12.69	7.31	12.61	0.019	0.0875
2	Line 3	45°	7.29	12.64	7.30	12.64	7.31	12.61	0.004	0.1341
3	Line 3	90°	7.36	12.53	7.36	12.53	7.37	12.51	0.0118	0.1607

c. Kondisi Pantai pada saat pasang 9.2 m dan surut 8 m

Hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.24, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi pasang 9,2 m adalah pada *mooring line* nomer 3 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 10,45 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 8,82. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,0004 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,127 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.24 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi pasang 9.2 m*

No	Mooring Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	10.27	8.98	10.33	8.93	10.38	8.88	0.0265	0.1108
2	Line 3	45°	10.35	8.91	10.35	8.91	10.36	8.90	0.0102	0.1642
3	Line 3	90°	10.38	8.88	10.38	8.88	10.45	8.82	0.0004	0.127

Sedangkan hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.25, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi surut 8 m adalah pada *mooring line* nomer 3 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 7,67 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 11,40. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,008 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,194 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah

Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.25 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi surut 8 m*

No	Mooring Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	7.56	12.19	7.50	12.29	7.60	12.13	0.013	0.096
2	Line 3	45°	7.60	12.13	7.60	12.13	7.60	12.13	0.0102	0.1642
3	Line 3	90°	7.60	12.13	7.66	12.04	7.67	11.40	0.008	0.194

d. Kondisi Pantai pada saat pasang 11.2 m dan surut 10 m

Hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.26, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi pasang 11,2 m adalah pada *mooring line* nomer 3 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 10,32 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 8,93. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,0109 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,2125 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.26 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi pasang 11.2 m*

No	Mooring Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	10.21	9.03	10.21	9.03	10.21	9.03	0.022	0.1383
2	Line 3	45°	10.25	9.00	10.25	8.99	10.26	8.99	0.0007	0.187
3	Line 3	90°	10.31	8.94	10.32	8.93	10.32	8.93	0.0109	0.2152

Sedangkan hasil analisa yang telah ditunjukkan pada table 4.27, nilai *tension maximum mooring line* dan *offset maximum floating breakwater* yang terbesar pada kondisi surut 10 m adalah pada *mooring line* nomer 3 saat arah datang gelombang 90° dan ketinggian gelombang 1,5 m. Dimana memiliki nilai *tension* sebesar 8,14 kN dengan nilai *safety factor* sebesar 11,33. Nilai *offset* pada arah X sebesar 0,0173 m sedangkan pada arah Y sebesar 0,2291 m. Yang dimana *floating breakwater* lebih cenderung ke

arah Y karena dipengaruhi oleh arah datang gelombang yang berasal dari arah 90°. Maka disimpulkan bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* sudah memenuhi kriteria dari API RP 2 SK.

Tabel 4.27 *Tension maksimum dan offset maksimum kondisi surut 10 m*

No	Mooring Line	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
			0.5		1		1.5		X	Y
			Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor		
1	Line 2	0°	8.00	11.53	8.05	11.46	8.04	11.47	0.028	0.117
2	Line 3	45°	8.08	11.41	8.06	11.44	8.08	11.41	0.0072	0.1886
3	Line 3	90°	8.14	11.33	8.14	11.33	8.14	11.33	0.0173	0.2291

Safety factor yang dihasilkan masing-masing *mooring line* memiliki ukuran nilai diantara 7-15 yang dimana melebihi ukuran *safety factor* sebenarnya yaitu 1,67. *Safety factor* yang dihasilkan pada analisa *tension* maksimum kali ini sangat amat jika ingin di terapkan di lapangan. Factor penyebab dari *safety factor mooring line* ini sangat besar diantaranya ukuran *floating breakwater* yang kecil selain itu *floating breakwater* tidak tidak memiliki beban-beban lain selain berat struktur itu sendiri sehingga *floating breakwater* terbilang ringan , ukuran *chain* yang dipilih berdiameter kecil, software yang digunakan pada umumnya untuk bangunan *massive* seperti untuk analisa FPSO, TLP, FSO dan lain sebagainya. Selain aman, jika *over design* juga memiliki kelemahan yaitu biaya yang diperlukan sangat besar.

4.5 Spesifikasi *Mooring Line*

Tipe *mooring line* yang digunakan pada *floating breakwater* ini adalah *catenary mooring line*, yang dimana bentuknya seperti kurva *catenary*. *Mooring line* untuk *floating breakwater* ini terbuat dari *chain*. Material *chain* ini biasanya terbuat dari baja. Jumlah *mooring line* yang diperlukan untuk menopang *floating breakwater* ini adalah sebanyak 4 buah *mooring line*. Berikut gambar *chain* yang digunakan untuk struktur *floating breakwater* :

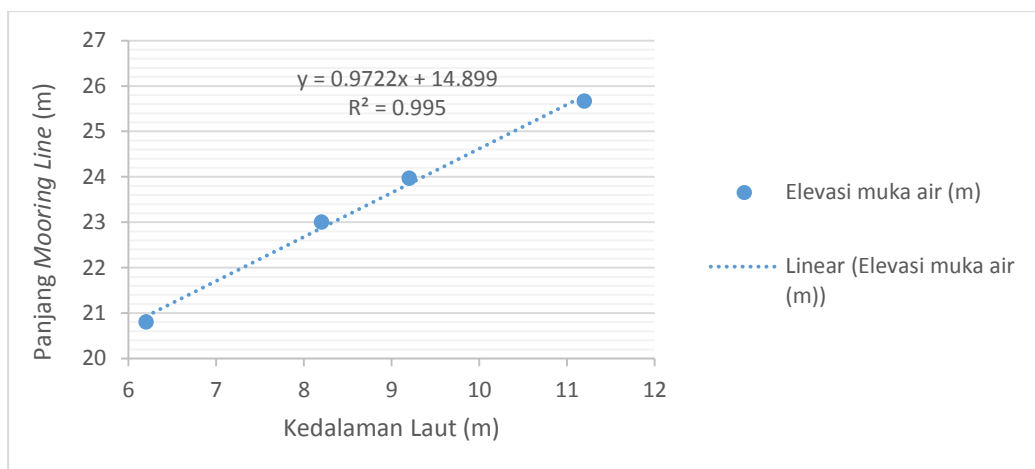


Gambar 4.18 Studlink chain yang digunakan untuk mooring line

Katalog *chain* yang digunakan mengikuti acuan dari PT. Franklin Offshore Indonesia Perkasa. Dari katalog tersebut dapat dipilih ukuran *chain* diameter *chain* yang sesuai untuk *floating breakwater* tersebut. Diameter *chain* yang diperlukan berukuran 12,5 mm yang memiliki nilai *Minimum Breaking Load* sebesar 92,2 kN. Panjang *mooring line* pada *floating breakwater* ini berbeda-beda karena perberbedaan yang dilihat dari kedalaman dan elevasi gelombang. Berikut table dan grafik untuk menunjukkan panjang mooring line :

Tabel 4.28 Panjang *mooring line*

No	Elevasi muka air (m)		Panjang Mooring Line (m)
	Pasang	Surut	
1	6.2	5	20.801
2	8.2	7	23.001
3	9.2	8	23.963
4	11.2	10	25.664



Gambar 4.19 Grafik korelasi panjang *mooring line* dengan kedalaman laut

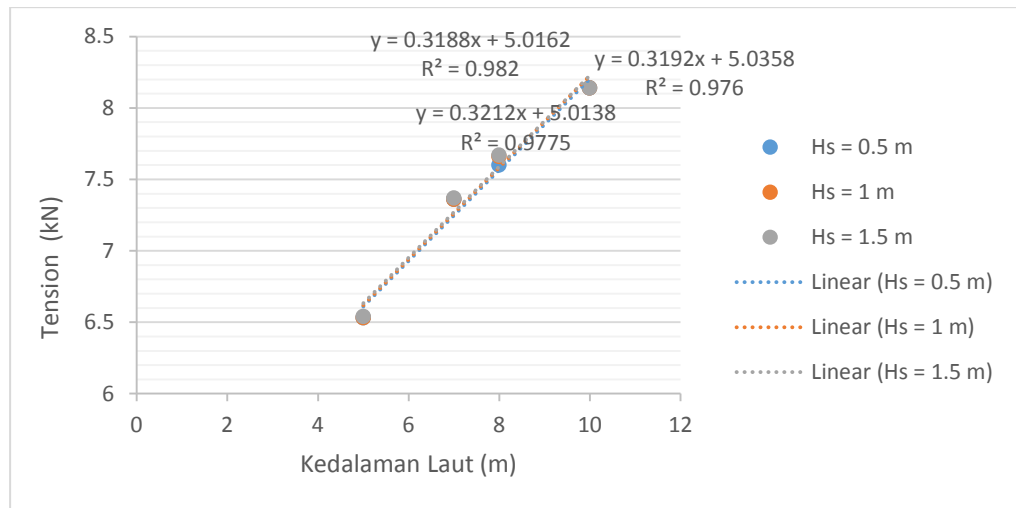
Nilai panjang *mooring line* yang digunakan adalah pada kondisi pasang. Nilai panjang *mooring line* yang digunakan pada kondisi pasang ini merupakan nilai paling minum. Jika menggunakan nilai panjang *mooring saat* surut sangat beresiko, dampaknya adalah ketika terkena gelombang saat pasang maka *mooring line* tersebut akan putus. Dari table diatas dapat disimpulkan bahwa semakin dalam kedalaman yang di perlukan maka semakin panjang ukuran *mooring line* yang diperlukan. Untuk penjelasan pada grafik panjang *mooring line* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah panjang *mooring line*. Persamaan garis linier $Y = 0,9722x + 14,899$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,995$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah panjang mooring line (m) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka nilai panjang mooring line (Y) bergantung pada kedalaman laut (m). Nilai $0,9722x$ di sebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,995. Dengan mengakarakan nilai 0,995 didapatkan hasil 0,997. Hasil pengakaran tersebut (0,997) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,997. Dapat di lihat pada tabel 4.29 :

Tabel 4.29 Nilai koefisien korelasi (Sudjana (1982))

Nilai Koefisien Korelasi	Keterangan
0,00-0,199	Sangat Rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Cukup
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,000	Sangat Kuat

Nilai korelasi 0,997 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara panjang mooring line terhadap kedalaman sangat kuat.

Penjelasan *tension maximum* tiap-tiap kedalaman akan disajikan dalam bentuk grafik regresi. Parameter grafik ini menunjukkan jika arah sumbu X adalah *tension maximum* dan arah sumbu Y adalah kedalaman laut. Nilai-nilai *tension maximum* pada grafik ini diambil berdasarkan arah dominan 90^0 , variasi tinggi gelombang, dan variasi pasang surut. Berikut pemaparan grafik pasang dan grafik surut :



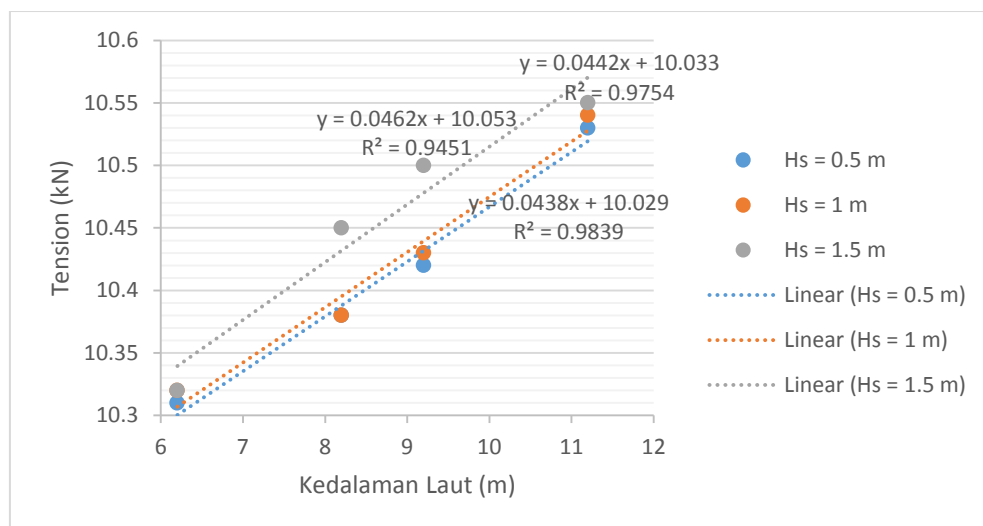
Gambar 4.20 Grafik korelasi *tension maximum* dan kedalaman pada kondisi surut

Penjelasan pada grafik *tension maximum* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah *tension maximum* pada ketinggian gelombang 0,5 m. Persamaan garis linier $Y = 0,3212x + 5,0138$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,9775$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah *tension maximum* (kN) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka *tension maximum* (Y) bergantung pada kedalaman laut (m). Nilai $0,3212x$ di sebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,9775. Dengan mengakarkan nilai 0,9775 didapatkan hasil 0,9886. Hasil pengakaran tersebut (0,9886) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,9886. Dapat di lihat pada tabel 4.29, nilai korelasi 0,9886 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara *tension maximum* terhadap kedalaman pada ketinggian gelombang 0,5 m sangat kuat.

Penjelasan pada grafik *tension maximum* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah *tension maximum* pada ketinggian gelombang 1 m. Persamaan garis linier $Y = 0,3192x + 5,0358$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,976$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah *tension maximum* (kN) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka *tension maximum* (Y) bergantung pada kedalaman laut (m). Nilai $0,3192x$ di sebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat

diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,976. Dengan mengakarkan nilai 0,976 didapatkan hasil 0,987. Hasil pengakaran tersebut (0,987) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,987. Dapat di lihat pada tabel 4.29, nilai korelasi 0,987 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara *tension maximum* terhadap kedalaman pada ketinggian gelombang 1 m sangat kuat.

Penjelasan pada grafik *tension maximum* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah *tension maximum* pada ketinggian gelombang 1,5 m. Persamaan garis linier $Y = 0,3188x + 5,0162$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,982$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah *tension maximum* (kN) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka *tension maximum* (Y) bergantung pada kedalaman laut (m). Nilai 0,3188x disebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,982. Dengan mengakarkan nilai 0,982 didapatkan hasil 0,990. Hasil pengakaran tersebut (0,990) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,990. Dapat di lihat pada tabel 4.29, nilai korelasi 0,9844 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara *tension maximum* terhadap kedalaman pada ketinggian gelombang 1,5 m sangat kuat.



Gambar 4.21 Grafik korelasi *tension maximum* dan kedalaman pada kondisi pasang

Penjelasan pada grafik *tension maximum* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah *tension maximum* pada ketinggian gelombang 0,5 m. Persamaan garis linier $Y = 0,0438x + 10,029$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,9839$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah *tension maximum* (kN) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka *tension maximum* (Y) bergantung pada kedalaman laut (m). Nilai 0,0438x di sebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,9839. Dengan mengakarkan nilai 0,9839 didapatkan hasil 0,991. Hasil pengakaran tersebut (0,991) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,991. Dapat di lihat pada tabel 4.29, nilai korelasi 0,991 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara *tension maximum* terhadap kedalaman pada ketinggian gelombang 0,5 m sangat kuat.

Penjelasan pada grafik *tension maximum* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah *tension maximum* pada ketinggian gelombang 1 m. Persamaan garis linier $Y = 0,0462x + 10,053$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,9451$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah *tension maximum* (kN) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka *tension maximum* (Y) bergantung pada kedalaman laut (m). Nilai 0,0462x di sebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,9451. Dengan mengakarkan nilai 0,9451 didapatkan hasil 0,9721. Hasil pengakaran tersebut (0,9721) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,9721. Dapat di lihat pada tabel 4.29, nilai korelasi 0,9721 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara *tension maximum* terhadap kedalaman pada ketinggian gelombang 1 m sangat kuat.

Penjelasan pada grafik *tension maximum* diketahui X adalah kedalaman laut (m) dan Y adalah *tension maximum* pada ketinggian gelombang 1,5 m. Persamaan garis linier $Y = 0,0442x + 10,033$ yang mempunyai nilai koefisien determinasi (KD) $R^2 = 0,9754$. Dapat disimpulkan jika fungsi Y adalah *tension maximum* (kN) dan fungsi X adalah kedalaman (m), maka *tension maximum* (Y) bergantung pada

kedalaman laut (m). Nilai $0,0442x$ disebut juga *Slope* yang menentukan arah regresi linear. Karena nilai *slope* nya positif maka menunjukkan hubungan yang positif, artinya makin tinggi atau dalam nilai X makin besar pula nilai Y. Dapat diketahui nilai koefisien determinasi (KD) pada grafik tersebut sebesar 0,9754. Dengan mengakarkan nilai 0,9754 didapatkan hasil 0,987. Hasil pengakaran tersebut (0,987) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara panjang mooring line dan kedalaman sebesar 0,987. Dapat di lihat pada tabel 4.29, nilai korelasi 0,987 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi korelasi antara *tension maximum* terhadap kedalaman pada ketinggian gelombang 1,5 m sangat kuat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengerjaan Tugas Akhir desain *mooring* pada struktur *floating breakwater* ini dapat ditarik kesimpulan diantaranya :

1. Analisa RAO pada kondisi terapung bebas dengan arah datang gelombang 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 . Dapat disimpulkan respon dominan *floating breakwater* berdasarkan tiap-tiap moda gerak :

Moda gerak yang didominasi oleh haluan 180^0 adalah moda gerak *surge* yang memiliki nilai RAO sebesar 0,675 m/m yang terjadi pada frekuensi 0,6283 rad/s dan moda gerak *pitch* memiliki nilai RAO sebesar 21,105 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0,6283 rad/s. Moda gerak yang di dominasi oleh gelombang arah sisi 90^0 adalah moda gerak *sway* dengan memiliki nilai RAO sebesar 0,97 m/m yang terjadi pada frekuensi 0,6283 rad/s, moda gerak *heave* memiliki nilai RAO sebesar 0,996 m/m yang terjadi pada frekuensi 0,8976 rad/s dan moda gerak *roll* dengan nilai RAO sebesar 21,105 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0,6283 rad/s. Moda gerak yang di dominasi oleh gelombang sisi 135^0 adalah moda gerak *yaw* dengan RAO sebesar 8,477 deg/m yang terjadi pada frekuensi 2 rad/s.

2. Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa *tension maximum* dan *offset maximum* adalah sebagai berikut :

- a. *Tension maximum*

Nilai *tension maximum mooring line* dapat ditentukan dari variasi ketinggian gelombang dan arah datang gelombang dari sudut 90^0 . Pada kondisi pasang 6,2 m; 8,2 m; 9,2 m; 11,2 m; didapatkan nilai *tension maximum* dari arah gelombang dominan 90^0 dan variasi tinggi gelombang. Saat gelombang mencapai ketinggian 0,5 m nilai *tension maximum* yang didapatkan sebesar 10,31 – 10,53 kN. Saat gelombang mencapai ketinggian 1 m nilai *tension maximum* yang didapatkan sebesar 10,32 – 10,54 kN. Saat gelombang mencapai ketinggian 1,5 m nilai *tension maximum* yang didapatkan sebesar 10,33 – 10,55 kN.

Pada kondisi surut 5 m, 7 m, 8 m, 10 m didapatkan nilai *tension maximum* dari arah gelombang dominan 90^0 dan variasi tinggi gelombang.

Saat gelombang mencapai ketinggian 0,5 m nilai *tension maximum* yang didapatkan sebesar 6,53 – 8,14 kN. Saat gelombang mencapai ketinggian 1 m nilai *tension maximum* yang didapatkan sebesar 6,45 – 8,14 kN. Saat gelombang mencapai ketinggian 1,5 m nilai *tension maximum* yang didapatkan sebesar 6,39 – 8,14 kN.

Dari hasil analisa *tension maximum* untuk *floating breakwater* dapat disimpulkan bahwa mooring line yang di desain ini layak untuk di pasang karena sudah memenuhi kreteria desain.

b. *Offset maximum*

Nilai *offset maximum* dapat ditentukan dari seberapa jauh perpindahan *floating breakwter* dari *initial position*. Nilai *offset maxium* yang diambil terjadi pada arah datang gelombang 0^0 , 45^0 , 90^0 dan tinggi gelombang 1,5 m dengan kedalaman yang sudah ditentukan.

Pada kondisi pasang 6,2 m; 8,2 m; 9,2 m; 11,2 m; saat arah datang gelombang 0^0 didapatkan nilai *offset maximum* sebesar 0,010-0,019 m. Nilai tersebut menunjukkan perpindahan *floating breakwater* lebih dominan bergeser pada sumbu X. Saat arah datang gelombang 45^0 didapatkan nilai *offset maximum* sebesar 0,0924-0,187 m. Nilai tersebut menunjukkan perpindahan *floating breakwater* lebih dominan bergeser pada sumbu Y. Saat arah datang gelombang 90^0 didapatkan nilai *offset maximum* sebesar 0,0147-0,2152 m. Nilai tersebut menunjukkan perpindahan *floating breakwater* lebih dominan bergeser pada sumbu Y.

Pada kondisi surut 5 m, 7 m, 8 m, 10 m, saat arah datang gelombang 0^0 didapatkan nilai *offset maximum* sebesar 0,015-0,096 m. Nilai tersebut menunjukkan perpindahan *floating breakwater* lebih dominan bergeser pada sumbu X. Saat arah datang gelombang 45^0 didapatkan nilai *offset maximum* sebesar 0,099-0,1886 m. Nilai tersebut menunjukkan perpindahan *floating breakwater* lebih dominan bergeser pada sumbu Y. Saat arah datang gelombang 90^0 didapatkan nilai *offset maximum* sebesar 0,1205-0,2291 m. Nilai tersebut menunjukkan perpindahan *floating breakwater* lebih dominan bergeser pada sumbu X.

3. Struktur *floating breakwater* ini menggunakan *mooring line* tipe *catenary*. Jumlah *mooring line* yang diperlukan untuk menopang *floating breakwater* ini diperlukan sebanyak 4 buah *mooring line*. *Mooring line* struktur *floating*

breakwater ini terbuat dari *chain*. Katalog *chain* menggunakan acuan PT. Franklin Offshore Indonesia Perkasa. Untuk nilai diameter *chain* diambil berdasarkan katalog tersebut, nilai diamer *chain* sebesar 12,5 mm dan memiliki MBL (*Minimum Breaking Load*) sebesar 92,2 kN. Hasil analisa grafik panjang *mooring line* dan kedalaman memiliki korelasi yang sangat kuat, begitu juga pada hasil analisa grafik *tension maximum* dan kedalaman sesuai dengan tinggi gelombang memiliki korelasi yang kuat.

5.2 Saran

Berikut beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Penelitian ini bisa dibandingkan dengan menggunakan software ANSYS AQWA.
2. Pada penelitian ini bisa dihitung umur kelelahan pada masing-masing *mooring line*.
3. Penelitian selanjutnya bisa mendesain jangkar sesuai dengan data mooring yang sudah disediakan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2SK 3rd Edition. 2005. *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington DC: API Publishing Services.
- Adl.samad Ikam (2009). Performance of Catenary Mooring system. Master Thesis University of Technology, Malaysia, Faculty of Mechanical Engineering. Available online. www.google.com. 20-06-2013.
- Bruce L. McCartney. 1985. "Floating Breakwater Design" *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 111, No. 2.
- Bhattacharyya. R. 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Barltrop, N. D. P. 1998. *Floating Structures : a Guide for Design vol 1*. Houston : CMPT
- Barltrop, N. D. P. 1998. *Floating Structures : a Guide for Design vol 2*. Houston : CMPT
- Brown, D. T. Mavrakos, S. (1999). Comparative Study of Mooring Line Dynamics Loading. Available online. www.google.com. 20-06-2013.
- Brook AK (1985) The design of catenary mooring systems for offshore vessels. In: Dyke PPG, Moscardini AO, Robson EH (eds) *Offshore and coastal modelling*, vol 12. Springer, New York, pp 303–322
- Biesheuvel, Arie Cornelis. 2013. "Effectiveness Of Floating Breakwater"
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. USA: Computational.
- Carver, R. D. "Floating Breakwater Wave-Attenuation Tests for East Bay Marina, Olympia Harbor, Washington; Hydraulic Model Investigation." *Technical Report HL-79-13*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss., July, 1979
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV OS E301. 2008. *Position Mooring*. Norway.
- Fousert, M. W. 2006. "Floating Breakwater Theoretical Study of Dynamic Wave Attenuating System", Final Report Of The Master Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geoscience, Delft.
- Dong, G.H. 2008 "Experiments on Wave Transmission coefficient Of Floating Breakwater".

- Goda, Y., and Suzuki, Y., (2000) "Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments" Proc. 15th Coastal Eng. Conf., pp 828-845
- Hales, Lyndell Z. 1981. "Floating Breakwaters : State-of-the-art Literature Review"
- Isaacson, M. and Baldwin, J.F. (1996). "Moored structures in waves and currents." Canadian Journal of Civil Engineering Vol. 23, No. 2, pp. 418–430.
- Ji CY, Yuan ZM, Chen ML (2011) Study on a new mooring system integrating catenary with taut mooring. China Ocean Eng 25(3):427–440
- Kery S. (1996) Mooring issues common in most types of open ocean aquaculture. In: Open MIT. 2011. "Desain Of Ocean System Mooring Dynamics II"
- Murali, K., & Mani, J.S., 1997 "Performance Of Cage Floating Breakwater, ASCE"
- Ocean Aquaculture, Proceedings of an international Conference, Polk, M. (ed.), 1996, Portland, Maine, pp. 297-325. New Hampshire/Maine Sea Grant College Program Rpt No. UNHMP-CP-SG-96-9,
- PIANC. 1994. "Floatings Breakwater A Practical Guide for Design and Construction", Report of Working Group No.13 of The Permanent Technical Committee II, Brussel, Belgium.
- Putra, Risandi Dwirama. 2011. *Analisa Concrete Block Anchor Pada Floating Breakwater*
- Patel MH, Brown DT (1987) Analysis and design of catenary mooring systems. Economics of floating production systems: proceedings of an International conference, London, UK
- Priadi T.H, dkk. 1988, Parameterisasi Sistem Peredaman Energi Gelombang dengan Pemecah Gelombang Apung, Seminar Hidraulika dan Hidrologi Wilayah Pantai, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Rochani, Imam. 2007, Kajian Numerik Perancangan Struktur Bangunan Peredam Gelombang Terapung, Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.
- Triatmodjo, Bambang. 1999, Teknik Pantai, Beta Offset, Yogyakarta.
- Tsinker, Gregory P. 1995, Marine Structures Engineering: Specialized Application, An International Thomson publishing Company, New York.
- Tazaki, et al. 1975, "Floating Breakwater", United States Patent, Tokyo Japan.
- Sannasiraj, S.A., Sundar, V., and Sundaravadivelu, R. (1998). "Mooring forces and motion responses of pontoon-type floating breakwaters." Ocean Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 27–48.
- Z.J. Chen, Y.X. Wang, G.Y. Wang, Y. Hou. 2009. Time-domain responses of immersing tunnel element under wave actions

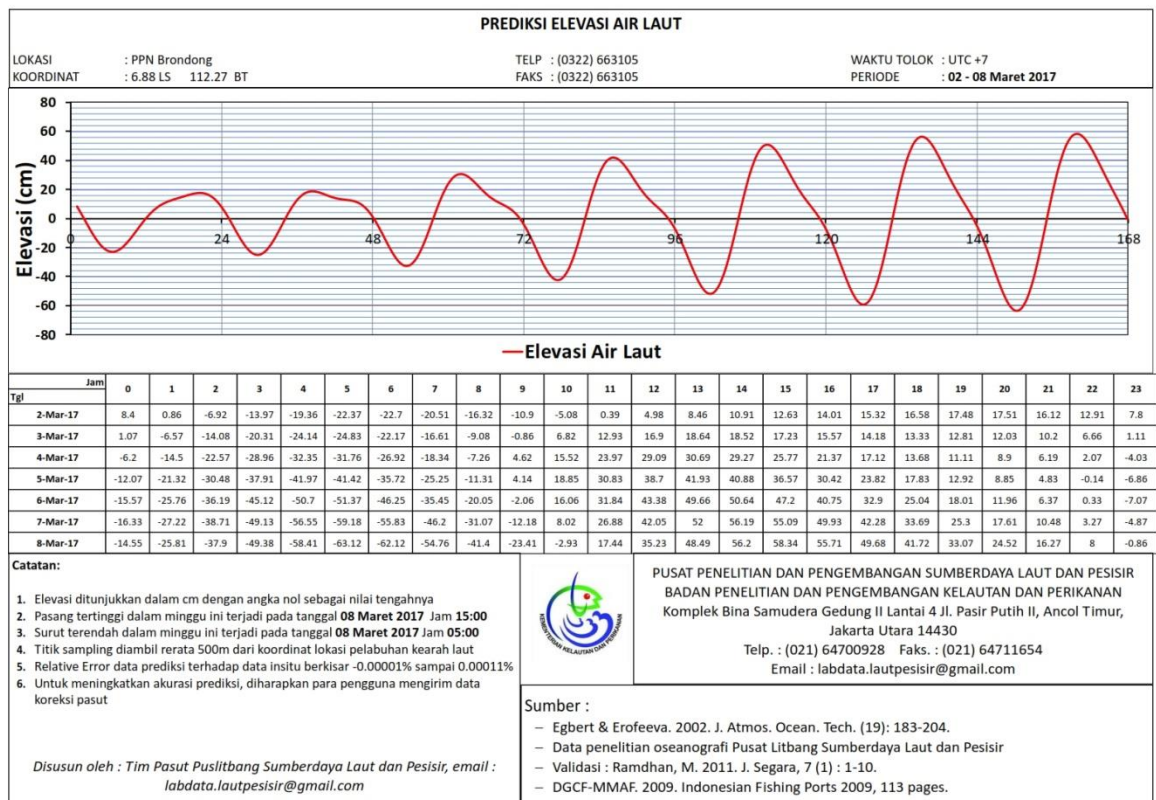
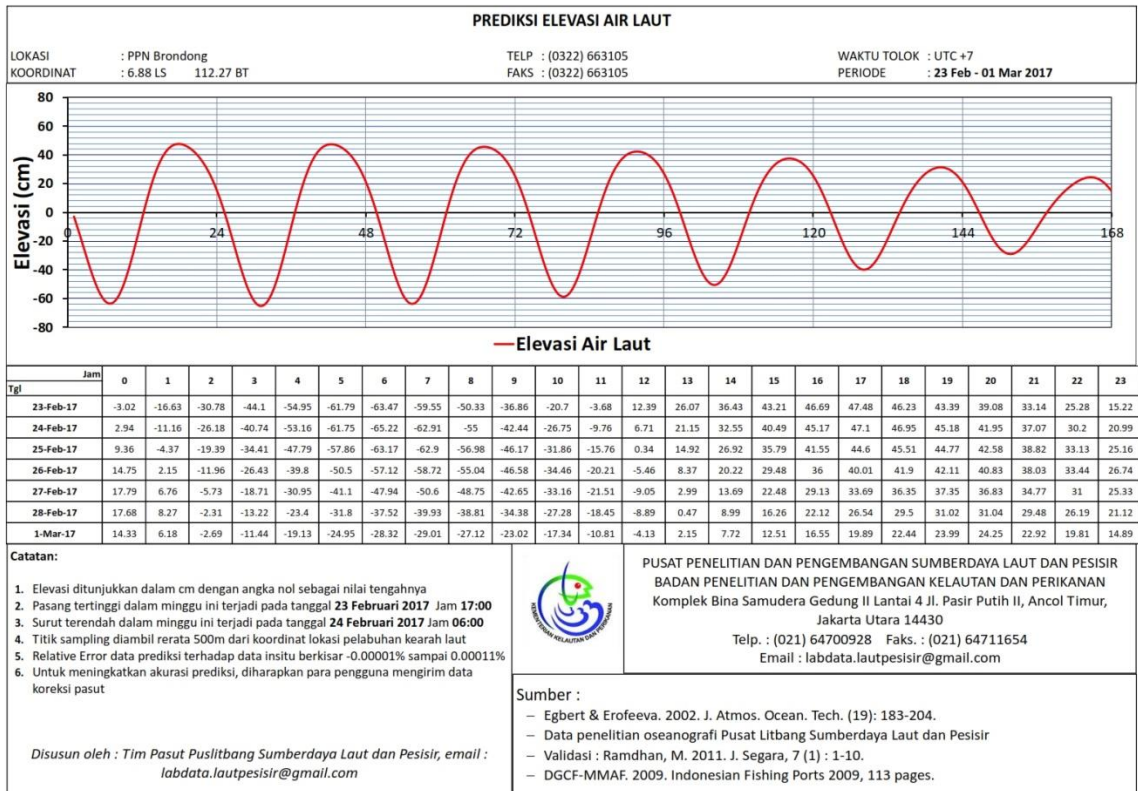
OCIMF. 1999. *Design and Construction Specification for Loading Arms*. United Kingdom : Witherby Seamanship International

OCIMF. 1997. *Mooring Equipment Guidelines 2nd Edition*. United Kingdom : Witherby Seamanship International.

OCIMF. 2008. *Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition*. United Kingdom : Witherby Seamanship International.

LAMPIRAN A
DATA PASANG SURUT

Data pasang surut pantai Brondong bulan Februari-Maret 2017



LAMPIRAN B

Response Amplitude Operators (RAO)

RAO Gerakan *Surge*

SURGE						
No.	Frequency ω (rad/s)	Degree				
		0°	45°	90°	135°	180°
		(m/m)				
1	0.6283	0.59	0.417	0	0.478	0.675
2	0.6614	0.587	0.416	0	0.476	0.673
3	0.6981	0.585	0.414	0	0.474	0.67
4	0.7392	0.583	0.412	0	0.47	0.664
5	0.7854	0.58	0.41	0	0.465	0.657
6	0.8378	0.577	0.408	0	0.458	0.647
7	0.8976	0.573	0.405	0	0.451	0.636
8	0.9666	0.569	0.402	0	0.441	0.623
9	1.0472	0.562	0.397	0	0.431	0.608
10	1.1424	0.554	0.391	0	0.42	0.591
11	1.2566	0.542	0.383	0	0.408	0.571
12	1.3963	0.526	0.372	0	0.394	0.55
13	1.5708	0.503	0.357	0	0.378	0.525
14	1.7952	0.467	0.335	0	0.36	0.498
15	2.0944	0.412	0.306	0	0.34	0.467
16	2.5133	0.323	0.267	0	0.306	0.426
17	3.1416	0.18	0.224	0	0.227	0.334
18	4.1888	0.008	0.12	0	0.089	0.106
19	6.2832	0	0.021	0	0.019	0.011
20	12.5664	0	0	0	0	0

RAO Gerakan Sway

SWAY						
No.	Frequency ω (rad/s)	Degree				
		0°	45°	90°	135°	180°
		(m/m)				
1	0.6283	0	0.689	0.97	0.689	0
2	0.6614	0	0.686	0.966	0.686	0
3	0.6981	0	0.684	0.961	0.684	0
4	0.7392	0	0.68	0.954	0.68	0
5	0.7854	0	0.676	0.946	0.676	0
6	0.8378	0	0.67	0.935	0.67	0
7	0.8976	0	0.663	0.921	0.663	0
8	0.9666	0	0.654	0.903	0.654	0
9	1.0472	0	0.642	0.877	0.642	0
10	1.1424	0	0.625	0.841	0.625	0
11	1.2566	0	0.602	0.792	0.602	0
12	1.3963	0	0.57	0.722	0.57	0
13	1.5708	0	0.525	0.628	0.525	0
14	1.7952	0	0.464	0.506	0.464	0
15	2.0944	0	0.378	0.358	0.378	0
16	2.5133	0	0.239	0.158	0.239	0
17	3.1416	0	0.019	0.067	0.019	0
18	4.1888	0	0.025	0.05	0.025	0
19	6.2832	0	0.003	0.014	0.003	0
20	12.5664	0	0	0	0	0

RAO Gerakan *Heave*

HEAVE						
No.	Frequency	Degree				
		0°	45°	90°	135°	180°
	ω (rad/s)	(m/m)				
1	0.6283	1.005	1	0.996	1	1.005
2	0.6614	1.006	1	0.995	1	1.006
3	0.6981	1.006	1	0.994	1	1.006
4	0.7392	1.007	1	0.992	1	1.007
5	0.7854	1.008	0.999	0.991	0.999	1.008
6	0.8378	1.008	0.998	0.988	0.998	1.008
7	0.8976	1.008	0.996	0.985	0.996	1.008
8	0.9666	1.007	0.993	0.98	0.993	1.007
9	1.0472	1.004	0.988	0.973	0.988	1.004
10	1.1424	0.996	0.978	0.961	0.978	0.996
11	1.2566	0.979	0.959	0.941	0.959	0.979
12	1.3963	0.94	0.919	0.899	0.919	0.94
13	1.5708	0.857	0.837	0.809	0.837	0.857
14	1.7952	0.711	0.686	0.635	0.686	0.711
15	2.0944	0.543	0.488	0.396	0.488	0.543
16	2.5133	0.409	0.286	0.192	0.286	0.409
17	3.1416	0.252	0.076	0.072	0.076	0.252
18	4.1888	0.037	0.018	0.016	0.018	0.037
19	6.2832	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002
20	12.5664	0	0	0.001	0	0

RAO Gerakan *Roll*

ROLL						
No.	Frequency	Degree				
		0°	45°	90°	135°	180°
	ω (rad/s)	(deg/m)				
1	0.6283	0	1.561	2.203	1.561	0
2	0.6614	0	1.724	2.43	1.724	0
3	0.6981	0	1.912	2.693	1.912	0
4	0.7392	0	2.131	2.999	2.131	0
5	0.7854	0	2.389	3.357	2.389	0
6	0.8378	0	2.695	3.779	2.695	0
7	0.8976	0	3.06	4.278	3.06	0
8	0.9666	0	3.499	4.871	3.499	0
9	1.0472	0	4.029	5.574	4.029	0
10	1.1424	0	4.674	6.403	4.674	0
11	1.2566	0	5.459	7.367	5.459	0
12	1.3963	0	6.415	8.46	6.415	0
13	1.5708	0	7.577	9.657	7.577	0
14	1.7952	0.001	8.998	10.967	8.998	0
15	2.0944	0.001	10.83	12.646	10.83	0.001
16	2.5133	0.002	13.72	14.915	13.72	0.002
17	3.1416	0.003	9.081	7.315	9.081	0.003
18	4.1888	0	1.538	1.496	1.538	0
19	6.2832	0	0.038	0.383	0.038	0
20	12.5664	0	0	0.001	0	0

RAO Gerakan *Pitch*

PITCH						
No.	Frequency	Degree				
		0°	45°	90°	135°	180°
	ω (rad/s)	(deg/m)				
1	0.6283	3.73	2.622	0	10.16	14.403
2	0.6614	3.996	2.808	0	10.904	15.464
3	0.6981	4.269	2.998	0	11.639	16.515
4	0.7392	4.544	3.191	0	12.343	17.525
5	0.7854	4.822	3.387	0	12.993	18.463
6	0.8378	5.106	3.589	0	13.566	19.299
7	0.8976	5.404	3.805	0	14.045	20.007
8	0.9666	5.73	4.047	0	14.411	20.566
9	1.0472	6.104	4.334	0	14.642	20.948
10	1.1424	6.555	4.689	0	14.7	21.105
11	1.2566	7.119	5.143	0	14.515	20.942
12	1.3963	7.847	5.731	0	13.954	20.279
13	1.5708	8.823	6.485	0	12.788	18.792
14	1.7952	10.201	7.408	0	10.684	15.982
15	2.0944	12.215	8.33	0	7.368	11.358
16	2.5133	14.845	8.33	0	3.431	5.905
17	3.1416	16.245	4.677	0	3.805	7.364
18	4.1888	9.363	0.671	0	4.02	7.798
19	6.2832	0.869	0.135	0	0.437	0.713
20	12.5664	0	0.001	0	0.001	0.001

RAO Gerakan *Yaw*

YAW						
No.	Frequency	Degree				
		0°	45°	90°	135°	180°
	ω (rad/s)	(deg/m)				
1	0.6283	0	1.618	0	1.617	0.002
2	0.6614	0	1.772	0	1.771	0.002
3	0.6981	0	1.948	0	1.947	0.002
4	0.7392	0	2.148	0	2.147	0.002
5	0.7854	0	2.378	0	2.377	0.002
6	0.8378	0	2.642	0	2.641	0.002
7	0.8976	0	2.946	0	2.945	0.002
8	0.9666	0	3.297	0	3.295	0.003
9	1.0472	0	3.703	0	3.701	0.003
10	1.1424	0	4.176	0	4.175	0.003
11	1.2566	0	4.736	0	4.734	0.003
12	1.3963	0	5.415	0	5.414	0.003
13	1.5708	0	6.27	0	6.268	0.003
14	1.7952	0	7.35	0	7.348	0.003
15	2.0944	0	8.479	0	8.477	0.005
16	2.5133	0	8.382	0	8.378	0.008
17	3.1416	0	5.482	0	5.484	0.017
18	4.1888	0	7.491	0	7.489	0.01
19	6.2832	0	0.134	0	0.133	0
20	12.5664	0	0	0	0	0

LAMPIRAN C

MOORING LINE

Panjang tali kondisi pasang 6,2 m

Fairlead Chain					
TOTAL	=	7.49689			
ENVIRONMENTAL	=	3.748445	(dibagi dua line)		
T max	=	3.748445	ton		
diameter chain	=	12.5	mm		
w (berat/meter)	=	0.115	ton/meter		
	=		N/meter		
h total	=	7.5	m	h kdalan+tinggi kapal	
h fairlead chain	=	7.5	m		
TH	=				
		$T_H - AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} - AE$			
E	=	54400000	KN/M2		
		5550000	T/M2		
A	=	0.00012277	M2		
AE	=	681.361607	T/M2		
T/AE	=	0.0055014		735	
2Wh	=	1.725		115	
2wh/ae	=	0.0025317			
t/ae+1	=	1.0055014			
kuadrat	=	1.01103307			
akar	=	1.00850138			
th	=	687.154119			
		5.79251171		2.885945	
		$l_{\min} = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - T_H^2} \quad l_{\min} = h \left(\frac{2T_{\max}}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$			
l min	=	8.69565217		7.5	
		14.0508399		7.49689	
		8.32867854		0.8625	
		5.72216138		8.692046	
		2.39210396		7.692046	
panjang tali	=	20.800904		2.773454	
				20.8009	
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \frac{wl_{\min}}{T_H} + \frac{T_H l_{\min}}{AE}$			
th/w	=	25.0951739		X	= 19.03651
w lmin/ Th	=	0.82888065			
th lmin	=	60.030265			
TH LMIN/AE	=	0.08810339			
ASINH	=	0.75506174			
	=	18.9484058			
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \left(\frac{wl_{\min}}{T_H} \right)$			
x	=	25.0951739			
		0.82888065			
		0.75506174			
		18.9484058			

Panjang tali kondisi pasang 8,2 m

Fairlead Chain					
TOTAL	=	7.49689			
ENVIRONMENTAL	=	3.748445	(dibagi dua line)		
T max	=	3.748445	ton		
diameter chain	=	12.5	mm		
w (berat/meter)	=	0.115	ton/meter		
	=		N/meter		
h total	=	9.5	m	h kdalan+tinggi kapal	
h fairlead chain	=	9.5	m		
TH	=				
		$T_H - AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE} - AE}$			
E	=	54400000	KN/M2		
		5550000	T/M2		
A	=	0.00012277	M2		
AE	=	681.361607	T/M2		
T/AE	=	0.0055014			735
2Wh	=	2.185			115
2wh/ae	=	0.00320681			
t/ae+1	=	1.0055014			
kuadrat	=	1.01103307			
akar	=	1.00782626			
th	=	686.694119			
		5.33251171		2.655945	
		$l_{min} = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - T_H^2} \quad l_{min} = h \left(\frac{2T_{max}}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$			
l min	=	8.69565217		9.5	
		14.0508399		7.49689	
		7.05404384		1.0925	
		6.99679608		6.862142	
		2.64514576		5.862142	
panjang tali	=	23.0012675		2.421186	
				23.00127	
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \frac{wl_{min}}{T_H} + \frac{T_H l_{min}}{AE}$			
th/w	=	23.0951739		X	= 20.37867
w lmin/Th	=	0.99593394			
th lmin	=	61.0901013			
TH LMIN/AE	=	0.08965885			
ASINH	=	0.87849552			
	=	20.2890068			
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \left(\frac{wl_{min}}{T_H} \right)$			
x	=	23.0951739			
		0.99593394			
		0.87849552			
		20.2890068			

Panjang tali kondisi pasang 9,2 m

Fairlead Chain					
TOTAL	=	7.49689			
ENVIRONMENTAL	=	3.748445	(dibagi dua line)		
T max	=	3.748445	ton		
diameter chain	=	12.5	mm		
w (berat/meter)	=	0.115	ton/meter		
	=		N/meter		
h total	=	10.5	m	h kdalan+tinggi kapal	
h fairlead chain	=	10.5	m		
TH	=				
		$T_H - AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} - AE$			
E	=	54400000	KN/M2		
		5550000	T/M2		
A	=	0.00012277	M2		
AE	=	681.361607	T/M2		
T/AE	=	0.0055014			735
2Wh	=	2.415			115
2wh/ae	=	0.00354437			
t/ae+1	=	1.0055014			
kuadrat	=	1.01103307			
akar	=	1.0074887			
th	=	686.464119			
		5.10251171		2.540945	
		$l_{\min} = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - T_H^2} \quad l_{\min} = h \left(\frac{2T_{\max}}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$			
l min	=	8.69565217		10.5	
		14.0508399		7.49689	
		6.45640149		1.2075	
		7.59443843		6.208605	
		2.75580087		5.208605	
panjang tali	=	23.9634858		2.282237	
				23.96349	
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \frac{wl_{\min}}{T_H} + \frac{T_H l_{\min}}{AE}$			
th/w	=	22.0951739		X	= 20.85704
w lmin/ Th	=	1.08455747			
th lmin	=	60.8898995			
TH LMIN/AE	=	0.08936503			
ASINH	=	0.93991912			
	=	20.7676763			
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \left(\frac{wl_{\min}}{T_H} \right)$			
x	=	22.0951739			
		1.08455747			
		0.93991912			
		20.7676763			

Panjang tali kondisi pasang 11,2 m

Fairlead Chain					
TOTAL	=	7.49689			
ENVIRONMENTAL	=	3.748445	(dibagi dua line)		
T max	=	3.748445	ton		
diameter chain	=	12.5	mm		
w (berat/meter)	=	0.115	ton/meter		
	=		N/meter		
h total	=	12.5	m	h kdalan+tinggi kapal	
h fairlead chain	=	12.5	m		
TH	=				
		$T_H - AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} - AE$			
E	=	54400000	KN/M2		
		5550000	T/M2		
A	=	0.00012277	M2		
AE	=	681.361607	T/M2		
T/AE	=	0.0055014			735
2Wh	=	2.875			115
2wh/ae	=	0.00421949			
t/ae+1	=	1.0055014			
kuadrat	=	1.01103307			
akar	=	1.00681358			
th	=	686.004119			
		4.64251171		2.310945	
		$l_{\min} = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - T_H^2} \quad l_{\min} = h \left(\frac{2T_{\max}}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$			
l min	=	8.69565217		12.5	
		14.0508399		7.49689	
		5.34046679		1.4375	
		8.71037313		5.215228	
		2.95133413		4.215228	
panjang tali	=	25.663775		2.053102	
				25.66378	
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \frac{wl_{\min}}{T_H} + \frac{T_H l_{\min}}{AE}$			
th/w	=	20.0951739		X	= 21.47671
w lmin/ Th	=	1.27711137			
th lmin	=	59.3075725			
TH LMIN/AE	=	0.08704273			
ASINH	=	1.06441803			
	=	21.3896654			
		$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \left(\frac{wl_{\min}}{T_H} \right)$			
x	=	20.0951739			
		1.27711137			
		1.06441803			
		21.3896654			

LAMPIRAN D

TENSION MAXIMUM

OFFSET MAXIMUM

Kondisi Pasang 6,2 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.60	9.60	9.63	9.57	9.68	9.52	0.01	0.0704
2	Line 2	10.40	8.87	10.39	8.87	10.52	8.76		
3	Line 3	10.35	8.91	10.32	8.93	10.39	8.88		
4	Line 4	9.56	9.65	9.57	9.63	9.50	9.71		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.50	9.71	9.54	9.66	9.59	9.61	0.0036	0.0924
2	Line 2	10.41	8.86	10.44	8.83	10.48	8.80		
3	Line 3	10.45	8.82	10.49	8.79	10.49	8.79		
4	Line 4	9.46	9.75	9.48	9.73	9.49	9.72		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.57	9.63	9.59	9.62	9.61	9.59	0.0039	0.1047
2	Line 2	10.39	8.87	10.40	8.87	10.41	8.86		
3	Line 3	10.53	8.76	10.54	8.75	10.55	8.74		
4	Line 4	9.42	9.79	9.43	9.78	9.44	9.76		

Kondisi Pasang 8,2 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.65	9.55	9.68	9.52	9.71	9.50	0.013	0.0969
2	Line 2	10.31	8.94	10.33	8.93	10.37	8.89		
3	Line 3	10.23	9.01	10.26	8.99	10.28	8.97		
4	Line 4	9.61	9.59	9.63	9.57	9.64	9.56		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.63	9.57	9.63	9.57	9.64	9.56	0.0041	0.127
2	Line 2	10.30	8.95	10.32	8.93	10.36	8.90		
3	Line 3	10.35	8.91	10.35	8.91	10.37	8.89		
4	Line 4	9.53	9.68	9.54	9.66	9.56	9.64		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.62	9.58	9.63	9.58	9.64	9.56	0.0006	0.143
2	Line 2	10.29	8.96	10.29	8.96	10.30	8.95		
3	Line 3	10.42	8.85	10.43	8.84	10.50	8.78		
4	Line 4	9.48	9.73	9.50	9.71	9.50	9.70		

Kondisi Pasang 9,2 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.66	9.54	9.68	9.52	9.71	9.50	0.0265	0.1108
2	Line 2	10.27	8.98	10.33	8.93	10.38	8.88		
3	Line 3	10.21	9.03	10.26	8.99	10.28	8.97		
4	Line 4	9.59	9.61	9.63	9.57	9.64	9.56		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.63	9.57	9.64	9.57	9.64	9.56	0.0102	0.1642
2	Line 2	10.30	8.95	10.32	8.93	10.36	8.90		
3	Line 3	10.35	8.91	10.35	8.91	10.36	8.90		
4	Line 4	9.53	9.67	9.50	9.71	9.56	9.64		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.64	9.57	9.64	9.56	9.65	9.55	0.004	0.127
2	Line 2	10.26	8.99	10.27	8.98	10.33	8.93		
3	Line 3	10.38	8.88	10.38	8.88	10.45	8.82		
4	Line 4	9.47	9.74	9.48	9.73	9.48	9.72		

Kondisi Pasang 11,2 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.72	9.49	9.73	9.48	9.73	9.47	0.022	0.1383
2	Line 2	10.21	9.03	10.21	9.03	10.21	9.03		
3	Line 3	10.16	9.07	10.17	9.07	10.16	9.07		
4	Line 4	9.71	9.50	9.71	9.50	9.71	9.50		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.71	9.50	9.71	9.50	9.72	9.49	0.0007	0.187
2	Line 2	10.22	9.02	10.23	9.01	10.26	8.99		
3	Line 3	10.25	9.00	10.25	8.99	10.26	8.99		
4	Line 4	9.63	9.57	9.64	9.57	9.65	9.55		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	9.70	9.50	9.71	9.50	9.72	9.49	0.0109	0.2152
2	Line 2	10.21	9.03	10.21	9.03	10.22	9.02		
3	Line 3	10.31	8.94	10.32	8.93	10.33	8.93		
4	Line 4	9.59	9.61	9.60	9.60	9.61	9.59		

Kondisi Surut 5 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	5.98	15.43	6.00	15.36	6.07	15.20	0.061	0.015
2	Line 2	6.42	14.36	6.45	14.29	6.39	14.44		
3	Line 3	6.36	14.50	6.37	14.48	6.39	14.43		
4	Line 4	5.94	15.51	5.96	15.48	5.97	15.45		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	5.96	15.48	5.96	15.46	5.97	15.44	0.033	0.099
2	Line 2	6.04	15.26	6.44	14.33	6.48	14.23		
3	Line 3	6.45	14.29	6.43	14.34	6.46	14.26		
4	Line 4	5.85	15.76	5.86	15.73	5.88	15.69		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	5.96	15.48	5.97	15.45	5.98	15.27	0.0089	0.1205
2	Line 2	6.39	14.44	6.39	14.43	6.40	14.24		
3	Line 3	6.53	14.13	6.53	14.11	6.54	14.45		
4	Line 4	5.80	15.89	5.81	15.86	5.82	15.45		

Kondisi Surut 7 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	6.86	13.44	6.88	13.41	6.85	13.46	0.019	0.0875
2	Line 2	7.25	12.72	7.27	12.69	7.31	12.61		
3	Line 3	7.20	12.81	7.20	12.80	7.22	12.76		
4	Line 4	6.82	13.52	6.83	13.50	6.84	13.49		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	6.84	13.49	6.86	13.45	6.85	13.41	0.004	0.1341
2	Line 2	7.25	12.72	7.27	12.68	7.30	12.65		
3	Line 3	7.29	12.64	7.30	12.64	7.31	12.61		
4	Line 4	6.74	13.69	6.84	13.48	6.76	13.65		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	6.83	13.50	6.84	13.48	6.85	13.46	0.0118	0.1607
2	Line 2	7.23	12.75	7.23	12.75	7.24	12.73		
3	Line 3	7.36	12.53	7.36	12.53	7.37	12.51		
4	Line 4	6.70	13.76	6.70	13.76	6.72	13.72		

Kondisi Surut 8 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	7.19	12.83	7.20	12.81	7.20	12.81	0.096	0.013
2	Line 2	7.56	12.19	7.50	12.29	7.60	12.13		
3	Line 3	7.54	12.23	7.52	12.25	7.50	12.29		
4	Line 4	7.13	12.93	7.14	12.92	7.14	12.91		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	7.10	12.99	7.17	12.86	7.10	12.99	0.0102	0.1642
2	Line 2	7.50	12.29	7.50	12.29	7.60	12.13		
3	Line 3	7.60	12.13	7.60	12.13	7.60	12.13		
4	Line 4	7.04	13.10	7.06	13.06	7.07	13.04		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	7.10	12.99	7.10	12.99	7.17	12.86	0.008	0.194
2	Line 2	7.50	12.29	7.50	12.29	7.56	11.40		
3	Line 3	7.60	12.13	7.66	12.04	7.67	11.40		
4	Line 4	7.00	13.17	7.00	13.17	7.02	13.13		

Kondisi Surut 10 m

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		0°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	7.70	11.97	7.72	11.94	7.72	11.94	0.028	0.117
2	Line 2	8.00	11.53	8.05	11.46	8.04	11.47		
3	Line 3	8.00	11.53	8.00	11.52	8.00	11.53		
4	Line 4	7.69	11.99	7.69	11.99	7.69	11.99		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		45°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	7.69	11.99	7.69	11.99	7.70	11.97	0.0072	0.1886
2	Line 2	8.05	11.45	8.06	11.44	8.09	11.40		
3	Line 3	8.08	11.41	8.06	11.44	8.08	11.41		
4	Line 4	7.62	12.11	7.62	12.09	7.64	12.07		

No	Mooring Line	Tinggi Gelombang (m)						Offset (m)	
		0.5		1		1.5		90°	
		Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	Maximum Tension (kN)	Safety Factor	X	Y
1	Line 1	7.68	12.00	7.69	11.99	7.70	11.98	0.0173	0.2291
2	Line 2	8.04	11.47	8.04	11.47	8.05	11.45		
3	Line 3	8.14	11.33	8.14	11.33	8.14	11.33		
4	Line 4	7.58	12.16	7.59	12.15	7.60	12.13		

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Ida Ayu Irawati Diah Ratna Putra dilahirkan di Denpasar pada 11 Mei 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 04 Ubung Kaja Denpasar Utara, SMP Negeri 5 Denpasar dan SMA Negeri 3 Denpasar. Setelah itu penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur SNMPT (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan dan Tim Pembina Kerohanian Hindu (TPKH) ITS. Penulis tercatat sebagai pengurus Laboratorium Komputasi dan Pemodelan Numerik Jurusan Teknik Kelautan. Penulis juga tercatat aktif mengikuti pelatihan-pelatihan pengembangan diri dan pengetahuan pengoperasian software, selain itu penulis juga mengisi berbagai tutorial software yang digunakan di jurusan seperti pelatihan software SACS dan MOSES. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Bumi Warah Geohydromatics di Bandung. Bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan yang diambil oleh penulis adalah hidrodinamika pantai.