



TUGAS AKHIR - MO 184804

**ANALISIS PERILAKU GERAK DAN GAYA TALI TAMBAT
SISTEM TAUT PADA *FLOATING BREAKWATER* TIPE
GERGAJI**

**LILA ANAS ANGGRAENI
NRP. 0431164000071**

**Dosen Pembimbing:
Sujantoko, S.T., M.T.
Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**



TUGAS AKHIR - MO 184804

**ANALISIS PERILAKU GERAK DAN GAYA TALI TAMBAT
SISTEM TAUT PADA *FLOATING BREAKWATER* TIPE
GERGAJI**

**LILA ANAS ANGGRAENI
NRP. 0431164000071**

**Dosen Pembimbing:
Sujantoko, S.T., M.T.
Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**



FINAL PROJECT - MO 184804

**ANALYSIS OF MOTION AND TAUT *MOORING* SYSTEM
FORCE ON A SAW TYPE *FLOATING BREAKWATER***

LILA ANAS ANGGRAENI

NRP. 04311640000071

Dosen Pembimbing:

Sujantoko, S.T., M.T.

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

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERILAKU GERAK DAN GAYA TALI TAMBAT SISTEM TAUT PADA FLOATING BREAKWATER TIPE GERGAJI

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:

LILA ANAS ANGGRAENI

NRP. 04311640000071

Disetujui oleh:

1. Sujantoko, S.T., M.T.

(Pembimbing 1)

2. R. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D.

(Pembimbing 2)

3. Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D.

(Penguji 1)

4. Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc.

(Penguji 2)

5. Drs. M. Musta'in, M.Sc., Ph.D.

(Penguji 3)

6. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

(Penguji 4)

Surabaya, 3 Agustus 2020

**ANALISIS PERILAKU GERAK DAN GAYA *MOORING* SISTEM TAUT
PADA *FLOATING BREAKWATER* TIPE GERGAJI**

Nama : LILA ANAS ANGGRAENI
NRP : 0431164000071
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Sujantoko, S.T., M.T.
Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Breakwater merupakan struktur yang berfungsi sebagai pemecah gelombang untuk melindungi pantai dari abrasi. Beberapa tahun terakhir, *floating breakwater* menjadi alternatif dari penggunaan fixed breakwater karena dapat digunakan secara efektif di daerah pesisir pada lingkungan dengan gelombang yang ringan, kondisi tanah yang kurang baik, kedalaman laut yang cukup dalam, dan fenomena erosi pantai yang intens. *Floating breakwater* merupakan struktur terapung, oleh karena itu bagian terpenting dari struktur terapung adalah system *mooring* untuk menjaga struktur tetap pada posisinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon gerak struktur *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe ponton sebagai pembanding dan menentukan tegangan maksimum *mooring* line pada *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe ponton sebagai pembanding. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software ANSYS AQWA. Data dimensi breakwater dan data lingkungan (H , T , d , θ) yang dipakai dalam penelitian ini adalah data yang bersumber dari uji eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa elevasi muka air (d) dan sudut *mooring* (θ). Hasil tegangan *mooring* yang didapat telah dilakukan validasi dengan hasil uji eksperimen sebelumnya dan memiliki nilai RMSE yang masih termasuk dalam rentang tingkat kesalahan kecil dan sedang. Hasil dari penelitian ini yaitu berupa kurva respon gerak bangunan apung pada 6 moda gerakan, pengaruh variasi sudut *mooring* dan elevasi muka air terhadap tegangan *mooring* serta tegangan terbesar yang didapatkan dari beberapa variasi tersebut. Tegangan *mooring* terbesar pada *floating breakwater* tipe gergaji terjadi pada saat elevasi muka air 45 cm dan sudut 30 yaitu sebesar 4,71 kN.

Kata Kunci: *floating breakwater*, pemodelan numerik, *mooring*, ANSYS AQWA

ANALYSIS OF MOTION AND TAUT *MOORING* SYSTEM FORCE ON A SAW TYPE *FLOATING BREAKWATER*

Name : LILA ANAS ANGGRAENI
NRP : 04311640000071
Departement : Ocean Engineering FTK – ITS
Supervisors : Sujantoko, S.T.,M.T.
Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Breakwater is a structure that functions is to protect the coast from abrasion. In recent years, *floating breakwater* has become an alternative to the use of fixed breakwater because it can be used effectively in coastal areas in light waves, poor soil conditions, deep sea depths, and intense coastal erosion phenomena. *Floating breakwater* is a floating structure, therefore the most important part of the floating structure is the *mooring* system to keep the structure in position. This study aims to determine the response of the motion of the *floating breakwater* structure of the saw and pontoon type as a comparison and determine the maximum stress of the *mooring* line in the *floating breakwater* type of the saw and pontoon type as a comparison. This research was conducted using ANSYS AQWA software. Breakwater dimension data and environmental data (H , T , d , θ) used in this study are data sourced from experimental tests that have been carried out previously. Variations used in this study are in the form of water level (d) and *mooring* angle (θ). The results of the *mooring* stress obtained have been validated with the results of previous experimental tests and have an RMSE value that is still included in the range of small and medium error rates. The results of this study are in the form of buoyancy motion response curves in 6 modes of motion, the influence of *mooring* angle variations and water level elevation on the *mooring* stresses as well as the greatest stress obtained from some of these variations. The greatest *mooring* stress on the saw-type *floating breakwater* occurs when the elevation of the water level is 45 cm and the angle of 30 is 4.71 kN.

Keyword: *floating breakwater*, numerical model, *mooring*, ANSYS AQWA

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemudahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perilaku Gerak dan Gaya *Mooring* Sistem Taut pada *Floating breakwater* Tipe Gergaji” dengan baik dan tepat waktu.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) mahasiswa Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pada tugas akhir ini dapat ditemukan banyak sekali kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk evaluasi dan perbaikan agar tugas akhir ini dan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini ini dapat memberikan kontribusi dalam dunia Pendidikan khususnya pada bidang kemaritiman dan dapat bermanfaat bagi setiap pihak terutama bagi penulis.

Surabaya, 11 Maret 2020

Lila Anas Anggraeni

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir dan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, meliputi:

1. Allah SWT dengan segala kuasanya yang selalu memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir;
2. Kedua orang tua penulis yang tidak pernah berhenti untuk memberikan dukungan secara moril dan material serta do'a baiknya selama ini;
3. Bapak Sujantoko, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, masukan, dan meluangkan waktunya untuk melakukan bimbingan selama proses pengerjaan tugas akhir hingga penyusunan laporan ini;
4. Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 yang memberikan masukan demi hasil laporan tugas akhir yang lebih baik;
5. Kepala Lab Hidrodinamika dan Lab Komputasi dan Pemodelan Numerik ITS yang telah mengizinkan penulis memakai fasilitas lab untuk mengerjakan tugas akhir;
6. Teman-teman tim tugas akhir *Floating breakwater 2019* (Silvya Mardhatila, Thomi Habibi, dan Brilliyana Prasetyo Azis) yang selama ini telah bekerja keras dan kebersamaan selama pengerjaan tugas akhir;
7. Teman-teman pengurus Lab Hidrodinamika ITS yang telah menemani serta menjadi teman berdiskusi penulis selama mengerjakan Tugas akhir;
8. Sahabat-sahabat penulis, Firda Afifa, Riska Fitri, Alfie, Siska Ayu, Rofianti, M.Triantoro, Ilham Maulana, Iqbal Nuradiansyah, Gilang Surya, dan Isa Hanif Maulana yang selalu menghibur saat penulis mengalami kejenuhan, memotivasi dan memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR - MO 184804	1
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1. <i>Floating breakwater</i>	7
2.2.2 Jari-Jari Girasi	9
2.2.3 Parameter Hidrostatik	10
2.2.4 Gelombang.....	13
2.2.5 Teori Gerak Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang.....	17
2.2.6 Gaya Hidrodinamis.....	18
2.2.7 Response Amplitude Operator (RAO).....	21
2.2.6 Sistem <i>Mooring</i>	22
2.2.7 Tegangan <i>Mooring</i>	24
2.2.8 Gambaran Software ANSYS AQWA.....	25
BAB III.....	27
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2. Prosedur Penelitian.....	29

3.2.1 Studi literatur	29
3.2.2. Pengumpulan data	29
3.2.3 Pemodelan Dimensi Struktur.....	30
3.2.4 Simulasi menggunakan CFD dengan kondisi terapung bebas	30
3.2.5 Validasi hidrostatik	30
3.2.6 Analisa Response Amplitude Operator	31
3.2.7 Pemodelan <i>mooring</i> dengan CFD	31
3.2.8 Simulasi model menggunakan <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) .	32
3.2.9 Uji validasi tegangan maksimum <i>mooring</i>	32
3.2.10 Analisa perbandingan tegangan maksimum <i>mooring</i> pada kedua <i>floating breakwater</i>	33
3.2.11 Kurva perbandingan tegangan maksimum <i>mooring</i>	33
3.2.12 Penyusunan laporan tugas akhir	33
BAB IV	35
4.1. Material dan Gaya Apung <i>Floating Breakwater</i>	35
4.2. Pemodelan <i>Floating Breakwater</i>	35
4.3. Centre of Gravity (COG) dan Radius Girasi	37
4.4 Pemodelan <i>Floating Breakwater</i> pada Kondisi Terapung Bebas	38
4.6 Analisis Gerak <i>Floating breakwater</i> Pada Saat Terapung Bebas (<i>Free Floating</i>).....	39
4.7 <i>Floating Breakwater</i> pada Kondisi Tertambat.....	44
4.8 Analisis Hasil Tegangan dari Simulasi CFD pada <i>Floating Breakwater</i>	47
4.8.1. Variasi Elevasi Muka Air (d)	52
4.8.2. Variasi Sudut <i>Mooring</i> (θ)	54
4.8.3. Perbandingan Hasil Tegangan pada Ponton dan Gegaji	56
4.9 Pembahasan	60
4.9.1. <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO) pada <i>floating breakwater</i>	61
4.9.2. Kalibrasi hasil simulasi tegangan <i>mooring</i>	61
4.9.3. Tegangan <i>mooring</i> maksimum yang terjadi pada <i>floating breakwater</i> ..	61
BAB V.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Berbagai jenis <i>floating breakwater</i>	8
Gambar 2. 2 Keel to Center of Bouyancy (KB)	11
Gambar 2. 3 Longitudinal Center of Bouyancy (LCB).....	12
Gambar 2. 4 Longitudinal Center of Gravity (LCG).....	12
Gambar 2. 5 Karakteristik gelombang.....	14
Gambar 2. 6 Gelombang acak	15
Gambar 2. 7 Definisi pengukuran parameter sampel gelombang acak	16
Gambar 2. 8 Mode gerak bangunan laut terapung	18
Gambar 2. 9 Bentuk umum grafik respon gerakan bangunan apung	21
Gambar 2. 10 Cara memasang <i>floating breakwater</i>	22
Gambar 2. 11 Catenary Line <i>Mooring</i>	23
Gambar 2. 12 Taut Line <i>Mooring</i>	23
Gambar 2. 13 Tension Leg <i>Mooring</i>	23
Gambar 2. 14 Konfigurasi <i>mooring</i>	24
Gambar 3. 1 Diagram alir tugas akhir	27
Gambar 3. 2 Diagram alir tugas akhir (lanjutan).....	28
Gambar 3. 3 Dimensi <i>Floating breakwater</i> tipe ponton dan gergaji.....	30
Gambar 3. 4 Taut <i>mooring</i>	32
Gambar 4. 1 Model <i>floating breakwater</i> tipe ponton	36
Gambar 4. 2 Model <i>floating breakwater</i> tipe gergaji	37
Gambar 4. 3 Model <i>floating breakwater</i> tipe ponton kondisi terapung bebas	38
Gambar 4. 4 RAO <i>surge</i>	40
Gambar 4. 5 RAO <i>sway</i>	40
Gambar 4. 6 RAO <i>heave</i>	41
Gambar 4. 7 RAO <i>roll</i>	42
Gambar 4. 8 RAO <i>pitch</i>	42
Gambar 4. 9 RAO <i>yaw</i>	43
Gambar 4. 10 Material <i>mooring</i> yang berupa polyethilen.....	44
Gambar 4. 11 Model <i>floating breakwater</i> kondisi tertambat tampak samping	45

Gambar 4. 12 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 41\text{cm}, \theta = 30^\circ$	48
Gambar 4. 13 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 41\text{cm}, \theta = 45^\circ$	48
Gambar 4. 14 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 41\text{cm}, \theta = 60^\circ$	48
Gambar 4. 15 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 43\text{cm}, \theta = 30^\circ$	49
Gambar 4. 16 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 43\text{cm}, \theta = 45^\circ$	49
Gambar 4. 17 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 43\text{cm}, \theta = 60^\circ$	49
Gambar 4. 18 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 45\text{cm}, \theta = 30^\circ$	50
Gambar 4. 19 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 45\text{cm}, \theta = 45^\circ$	50
Gambar 4. 20 Tegangan <i>mooring</i> pada FB gergaji ; $d = 45\text{cm}, \theta = 60^\circ$	50
Gambar 4. 21 Hubungan tegangan <i>mooring</i> dan wave steepness dengan variasi d	53
Gambar 4. 22 Hubungan tegangan <i>mooring</i> dan wave steepness dengan variasi θ	55
Gambar 4. 23 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 41\text{ cm}$ dan $\theta = 30^\circ$...	57
Gambar 4. 24 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 41\text{ cm}$ dan $\theta = 45^\circ$	57
Gambar 4. 25 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 41\text{ cm}$ dan $\theta = 60^\circ$	57
Gambar 4. 26 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 43\text{ cm}$ dan $\theta = 30^\circ$	58
Gambar 4. 27 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 43\text{ cm}$ dan $\theta = 45^\circ$...	58
Gambar 4. 28 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 43\text{ cm}$ dan $\theta = 60^\circ$	58
Gambar 4. 29 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 45\text{ cm}$ dan $\theta = 30^\circ$	59
Gambar 4. 30 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 45\text{ cm}$ dan $\theta = 45^\circ$	59
Gambar 4. 31 Perbandingan tegangan <i>mooring</i> pada $d = 45\text{ cm}$ dan $\theta = 60^\circ$	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Dimensi model dari <i>floating breakwater</i>	29
Tabel 3. 2 Skenario Kondisi Lingkungan.....	29
Tabel 4. 1 data <i>floating breakwater</i>	35
Tabel 4. 2 Validasi Hidrostatik Model Numeris dengan Teoritis	39
Tabel 4. 3 Spesifikasi Tali <i>Mooring</i>	44
Tabel 4. 4 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 30^\circ, d = 41cm$	45
Tabel 4. 5 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 30^\circ, d = 43cm$	46
Tabel 4. 6 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 30^\circ, d = 45cm$	46
Tabel 4. 7 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 45^\circ, d = 41cm$	46
Tabel 4. 8 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 45^\circ, d = 43cm$	46
Tabel 4. 9 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 45^\circ, d = 45cm$	47
Tabel 4. 10 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 60^\circ, d = 41cm$	47
Tabel 4. 11 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 60^\circ, d = 43cm$	47
Tabel 4. 12 Posisi pemasangan <i>mooring line</i> ; $\theta = 60^\circ, d = 45cm$	47

DAFTAR NOTASI

A	: Luas permukaan tali <i>mooring</i> (m^2)
A_{fb}	: Luas <i>floating breakwater</i> (m^2)
α_p	: Konstanta Philip (<i>equilibrium-range</i> parameter)
θ	: Sudut <i>mooring</i>
b	: Koefisien regresi
β	: 0.07 untuk $f < f_p$ atau 0.09 untuk $f > f_p\omega$
C	: Kecepatan rambat gelombang
C_D	: Koefisien drag
C_M	: Koefisien inersia
D	: Elevasi muka air (m)
dfb	: Draft <i>floating breakwater</i> (m)
E	: Modulus young
F_A	: Gaya apung (N)
FB	: <i>Floating breakwater</i>
F_D	: Gaya drag (N)
F_I	: Gaya inersia (N)
F_T	: Gaya total
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
H	: Tinggi gelombang (m)
H_s	: Tinggi gelombang signifikan (m)
h	: Kedalaman air (m)
k	: Angka gelombang
L	: Panjang gelombang (m)
N_v	: Skala kecepatan
N_a	: Skala percepatan
N_T	: Skala waktu
ρ_w	: Massa jenis air (kg/m^3)
T	: Periode Gelombang (s)
T_p	: Periode gelombang prototipe (s)

T_m	: Periode gelombang model (s)
T_z	: Periode lintas nol semu (<i>apparent zero closing period</i>) (m)
T_c	: Periode semu (<i>apparent period</i>) (s)
T_s	: Periode gelombang signifikan (s)
T_H	: Tegangan horizontal yang terjadi pada <i>fairlead</i> (N)
T_m	: Tegangan pada <i>mooring line</i> (N)
T_{max}	: Tegangan maksimum (N)
T_{design}	: <i>Maximum allowable working load</i> (N)
T_{break}	: <i>Breaking strength of chain</i> (N)
U	: Kecepatan angin paling sering terjadi 10 m diatas permukaan (m/s)
u	: Kecepatan gelombang (m/s)
V_{fb}	: Volume <i>floating breakwater</i> (m ³)
v	: Kecepatan (m/s)
w	: Berat rantai (chain) yang digunakan per satuan panjang (N/m)
ω	: Frekuensi gelombang
X	: Panjang <i>fetch</i> (m)
X	: Variabel independen/ variabel bebas/ variabel prediktor (penyebab)
Y	: Variabel dependen/ variabel terkait/ variabel tak bebas (kejadian)
γ	: Peak edness parameter ($\gamma = 3.3$)
z	: Panjang tali (m)
ξ	: Elevasi gelombang (m)
ξ_o	: Amplitude gelombang semu (<i>apparent wave amplitude</i>) (m)
ω_p	: Frekuensi puncak
μ	: Viskositas dinamik (kg/m.s)
σ	: Tegangan permukaan (N/m)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Garis pantai yang panjang yang dimiliki Negara Indonesia merupakan suatu tantangan tersendiri untuk melakukan perlindungan dan perawatannya. Jika garis pantai tersebut tidak dirawat dan pantai-pantainya tidak diberikan perlindungan, maka bukan hal tidak mungkin apabila suatu saat garis pantai Indonesia menjadi berkurang akibat adanya kerusakan. Salah satu kerusakan pantai yang sering terjadi adalah abrasi. Abrasi merupakan kerusakan pantai yang disebabkan oleh adanya air laut yang mengikis pantai karena adanya energi dari gelombang sehingga menyebabkan garis pantai semakin mundur. Jika hal itu terus menerus dibiarkan, akan menimbulkan kerugian yang cukup signifikan. Oleh karena itu diperlukan suatu struktur pelindung pantai yang dapat mereduksi energi gelombang yang datang. Salah satu struktur pelindung pantai adalah *breakwater*.

Ada dua jenis *breakwater*, yaitu *fixed breakwater* dan *floating breakwater*. *Fixed breakwater* memiliki tingkat perlindungan yang lebih tinggi daripada *floating breakwater*. Namun, *floating breakwater* lebih ekonomis dan tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan seperti *fixed breakwater*. Tetapi *floating breakwater* juga memiliki keterbatasan dalam kinerjanya, akibat dipengaruhi oleh besarnya karakteristik gelombang datang, yaitu periode gelombang dan panjang gelombang (PIANC, 1994)

Beberapa jenis *floating breakwater* yang telah diidentifikasi oleh (McCartney, 1985) diantaranya *ponton*, *box*, *mat* dan tipe *tethered float*, namun jenis yang paling umum digunakan untuk *floating breakwater* adalah persegi (*ponton*) yang dihubungkan antara satu dengan yang lainnya dan ditambahkan ke dasar laut dengan menggunakan suatu sistem tambat yang berbahan dari kabel atau rantai. Suatu *floating breakwater* tidak akan bekerja apabila tidak ada sistem tambat yang membuatnya tetap berada pada posisinya. Hal yang harus diperhatikan ketika merancang suatu sistem

tambat adalah tegangan yang terjadi untuk menentukan berapa kekuatan *mooring* agar struktur tersebut aman.



Gambar 1.1 *Floating breakwater*
(Sumber : <http://primaspringsmfg.blogspot.com>)

Pada tugas akhir ini penulis akan melakukan analisis terhadap perilaku gerak dan gaya suatu sistem tambat (*mooring*) yang akan digunakan pada *floating breakwater* berdasarkan analisis dari respon gerakan struktur dan tegangan yang terjadi pada sistem tambat dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. *Floating breakwater* yang digunakan adalah tipe gergaji dan tipe ponton sebagai pembanding, sedangkan sistem tambat yang digunakan penulis adalah jenis taut. Dimensi dari struktur *floating breakwater* ini mengacu pada data uji eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Pada proses analisis tersebut penulis akan menggunakan bantuan *software* ANSYS AQWA. Data yang digunakan untuk validasi model adalah data hasil uji eksperimen yang sudah ada.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah hasil simulasi numerik dari *Respon Amplitude Operator (RAO)* *floating breakwater* tipe gergaji dan ponton sebagai pembanding pada kondisi terapung bebas?

2. Bagaimana hasil kalibrasi tegangan *mooring* antara simulasi numerik model *floating breakwater* tipe gergaji dengan data dari uji eksperimen yang sudah ada?
3. Berapa tegangan maksimum *mooring* yang terjadi pada *floating breakwater* tipe gergaji dan ponton dengan sistem taut?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan hasil simulasi numerik dari *Respon Amplitude Operator (RAO)* *floating breakwater* tipe gergaji dan ponton sebagai pembanding pada kondisi terapung bebas.
2. Membandingkan hasil kalibrasi tegangan *mooring* antara simulasi numerik model *floating breakwater* tipe gergaji dengan data dari uji eksperimen yang sudah ada.
3. Menentukan tegangan *mooring* maksimum yang terjadi pada *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe ponton dengan sistem taut.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan acuan untuk memilih spesifikasi *mooring* yang efektif untuk menambat *floating breakwater* tipe gergaji.
2. Dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan ruang lingkup dari permasalahan, maka permasalahan akan dibatasi dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. *Floating breakwater* yang digunakan adalah *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe ponton untuk dijadikan pembanding.
2. Data dimensi *floating breakwater* dan data lingkungan yang digunakan mengikuti data uji eksperimen yang sudah ada.
3. Gelombang datang 90° berarah tegak lurus dengan struktur *floating breakwater*
4. *Mooring* yang digunakan adalah jenis taut dan material yang digunakan berupa polyethylene.

5. Kekakuan *mooring* diabaikan.
6. Panjang tali dianggap sama
7. Kalibrasi tegangan hasil simulasi numerik dilakukan dengan hasil uji eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya.

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 topik 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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Akhir-akhir ini telah banyak dilakukan pengembangan terhadap struktur bangunan pelindung pantai, salah satunya adalah pemecah gelombang atau *breakwater*. Menurut Triatmodjo (1999), bangunan pemecah gelombang dapat dibagi menjadi dua yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Bangunan pemecah gelombang sambung pantai biasanya digunakan untuk melindungi daerah garis pantai dari bahaya abrasi, sedangkan bangunan pemecah gelombang lepas pantai biasanya digunakan untuk melindungi fasilitas perairan pelabuhan atau fasilitas marina. Menurut Hales (1981), bangunan pemecah gelombang lepas pantai lebih efektif dan ekonomis menggunakan tipe *Floating breakwater* dibandingkan dengan menggunakan *Bottom-founded Breakwater*. Menurut Dong (2008) dalam Manan (2017), *Floating breakwater* dapat digunakan secara efektif pada area pantai dalam kondisi gelombang yang relatif ringan.

Menurut penelitian yang telah dilakukan Tsinker (1995), sistem tambat, baik berupa tiang pancang ataupun tali, harus mampu menahan *floating breakwater* tetap berada pada posisinya, dan analisa dalam tegangan *mooring* ketika terjadi gelombang badai harus dilakukan untuk menentukan seberapa kekuatan sistem tambat yang akan dirancang. Dari jenis konfigurasi sistem tambat yang ada, pada analisis ini penulis menggunakan sistem tambat jenis taut. Menurut Manan (2017), jenis taut merupakan sistem tambat (*mooring*) yang biasa digunakan pada kondisi laut yang dalam. Penambat struktur terapung menggunakan prinsip taut ini memanfaatkan tegangan sistem tambat (*mooring*) untuk menahan gaya apung dari struktur tersebut. Dengan keadaan sistem tambat yang tegang ini penggunaan taut *mooring* menjadi memiliki radius *mooring* yang lebih rendah. Hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan (*stress*) yang terjadi pada *mooring* dan berat *anchor* yang dibutuhkan agar *floating breakwater* tetap stabil. Karakteristik sistem tambat memiliki dampak

langsung pada kinerja transmisi gelombang dan desain struktural *breakwater* (Tsinker, 1995).

Sannasiraj et al., (1996), telah melakukan eksperimen terhadap *floating breakwater* tipe ponton dengan variasi konfigurasi tali *mooring*. Variasi konfigurasi berjumlah tiga macam, yaitu: *mooring* pada *water level*, *mooring* pada bawah struktur, dan *mooring* pada bawah struktur dengan tali menyilang. Didapatkan bahwa *mooring force* dipengaruhi secara signifikan oleh konfigurasi tali *mooring*. Konfigurasi *mooring* pada *water level* dan *mooring* pada bawah struktur menghasilkan *mooring force* lebih rendah daripada konfigurasi *mooring* pada bawah struktur dengan tali menyilang.

Penelitian mengenai tegangan pada *floating breakwater* juga telah dilakukan oleh Ali (2019). Ia telah melakukan pemodelan fisik *floating breakwater* di Flume, Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Departemen Teknik Kelautan, ITS. Ia melakukan penelitian dengan variasi elevasi muka air laut dan sudut *mooring*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin dalam elevasi muka air, semakin besar tegangan maksimum tali tambat dan semakin besar sudut *mooring* maka semakin kecil tegangan yang dialami tali tambat. Tegangan maksimum tali tambat terbesar yaitu pada elevasi muka air 45 cm dan sudut *mooring* 30°. Pemodelan fisik tersebut memerlukan biaya yang cukup banyak untuk dan memerlukan peralatan yang lengkap. Tentunya semua itu memerlukan biaya yang cukup besar. Selain itu, pemodelan fisik tersebut mempunyai banyak batasan-batasan yang disesuaikan dengan kondisi Lab Flume Tank. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian ini untuk melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ali (2019) dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) . Selain karena biaya yang dikeluarkan tidak terlalu tinggi dan pengerjaan relatif lebih praktis dibandingkan pemodelan fisik, penelitian dengan model numerik ini juga sebagai validasi dari uji eksperimen yang telah dilakukan.

Pada penelitian ini, penulis akan melakukan pemodelan numerik untuk menganalisis perilaku gerak dan gaya tali tambat sistem taut pada *floating breakwater* tipe gergaji dengan variasi elevasi muka air laut dan variasi sudut *mooring*. Desain suatu sistem tambat (*mooring*) yang akan digunakan pada *floating breakwater* berdasarkan analisis dari respon gerakan struktur dan tegangan yang terjadi pada sistem

tambat. *Floating breakwater* yang digunakan adalah tipe gergaji dan tipe ponton sebagai pembanding, sedangkan sistem tambat yang digunakan penulis adalah jenis taut *mooring*. Dimensi dari struktur *floating breakwater* ini sesuai dengan data uji eksperimen penelitian sebelumnya. Pada proses analisis tersebut penulis akan menggunakan bantuan software ANSYS AQWA. Data yang digunakan untuk validasi model adalah data hasil percobaan yang ada.

2.2 Dasar Teori

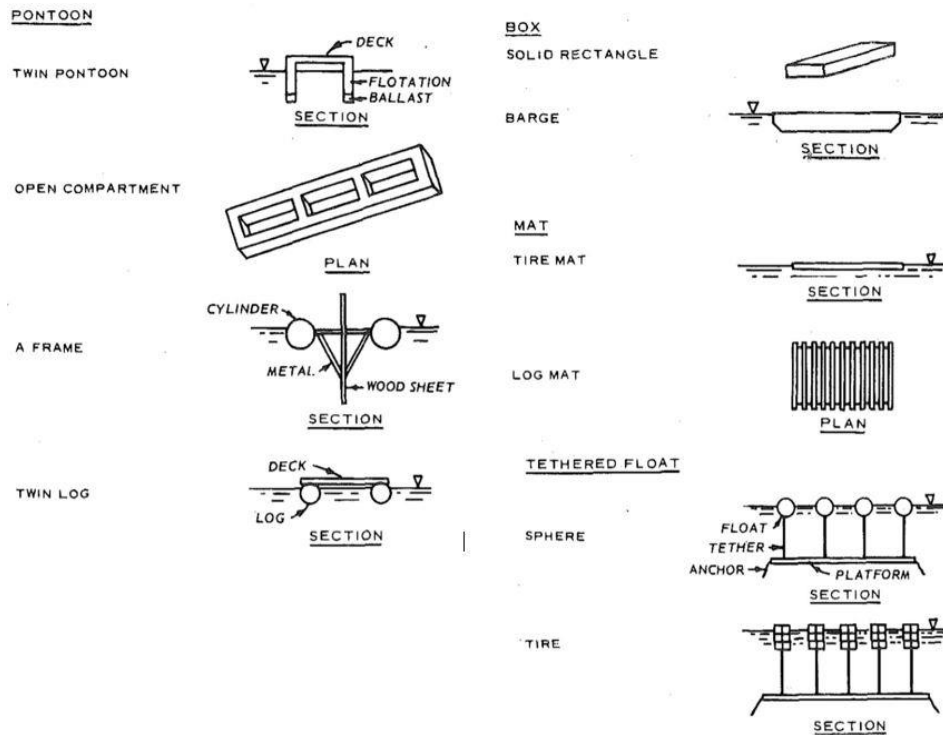
2.2.1. *Floating breakwater*

Breakwater atau pemecah gelombang adalah suatu struktur yang dapat mereduksi energi gelombang atau bahkan menghilangkan efek gelombang tersebut. Hal itu berfungsi untuk melindungi garis pantai, pelabuhan, dan struktur pantai alami maupun buatan manusia dari terjadinya kerusakan (Fousert, 2006). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Fousert (2006), terdapat beberapa jenis dari *breakwater*, namun secara umum diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

1. Konvensional / Gundukan : Jenis *breakwater* gundukan terbuat dari tumpukan besar elemen lepas, seperti batu kerikil dan kuari atau balok beton.
2. Monolitik : Jenis ini monolitik memiliki penampang yang dirancang sedemikian rupa sehingga struktur bertindak sebagai satu blok padat. Jenis ini umumnya digunakan pada wilayah perairan yang mempunyai kedalaman besar.
3. Komposit : jenis ini merupakan jenis pemecah gelombang gabungan antara konvensional dan monolitik.

Menurut Fousert (2006), meskipun ketiga jenis *breakwater* tersebut berbeda, namun ketiganya mempunyai kesamaan yaitu merupakan *fixed structure* dan hanya dapat digunakan pada kedalaman tertentu. Dari sudut pandang teknis dan ekonomis, sebuah tipe *breakwater* baru diperlukan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Menurut G. H Dong (2008) dalam Irawati (2017), *floating breakwater* dirasa cukup layak untuk mengatasi keterbatasan yang ada pada *fixed breakwater*. Konstruksi *floating breakwater* biasanya dipasang sejajar atau tegak lurus dengan garis pantai

(McCartney, 1985). Gambar di bawah ini merupakan beberapa jenis *floating breakwater* yang sudah ada menurut McCartney (1958)



Gambar 2. 1 Berbagai jenis *floating breakwater* (McCartney, 1985)

a. Keunggulan *Floating breakwater*

Menurut Biesheuvel (2013), *floating breakwater* memiliki beberapa keunggulan antara lain :

1. Dapat diberlakukan pada kondisi tanah yang buruk.
2. Hampir tidak ada gangguan pada transportasi sedimen dan sirkulasi air.
3. Memiliki beberapa fungsi lain seperti dapat dijadikan fasilitas tambatan, jalan setapak maupun untuk fasilitas parkir.
4. Lebih mempunyai nilai estetik dibandingkan dengan *fixed breakwater*.
5. Dapat dengan mudah untuk dibongkar, dipindahkan lalu dipasang kembali.
6. Untuk kedalaman air yang lebih dari 10 ft, *floating breakwater* lebih ekonomis.

b. Kekurangan *Floating breakwater*

Sedangkan kekurangan dari *floating breakwater* menurut Biesheuvel (2013) adalah :

1. Jika dibandingkan dengan *fixed breakwater*, *floating breakwater* kurang dalam memberikan perlindungan terhadap gelombang.
2. Sensitif untuk frekuensi gelombang yang dekat dengan frekuensi alami.
3. Kurang efektif untuk gelombang yang panjang.
4. Biaya perawatan lebih tinggi karena respon dinamis.

c. *Ponton Floating breakwater*

Berdasarkan prinsip kerja dari *floating breakwater* untuk mengurangi gelombang, maka dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelas yaitu struktur reflektif dan struktur dissipative (PIANC, 1994). *Ponton Floating breakwater* kelompok struktur prismatic (pontoon tunggal, pontoon ganda, atau variasi lainnya) merupakan bentuk sederhana dari *floating breakwater* yang bersifat reflektif. Beberapa faktor tambahan selain massa juga berpengaruh terhadap kinerja *floating breakwater*. Faktor-faktor tersebut yaitu 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 (Hales, 1981).

2.2.2 Jari-Jari Girasi

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.

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 :

$$R_{GX} = \sqrt{\frac{I_{GX}}{M}} \quad (2.1)$$

$$R_{GY} = \sqrt{\frac{I_{GY}}{M}} \quad (2.2)$$

$$R_{GZ} = \sqrt{\frac{I_{GZ}}{M}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

IGX = momen inersia sumbu x (m⁴)

IGY = momen inersia sumbu y (m⁴)

IGZ = momen inersia sumbu z (m⁴)

RGX = jari-jari girasi sumbu x

RGY = jari-jari girasi sumbu y

RGZ = jari-jari girasi sumbu z

2.2.3 Parameter Hidrostatik

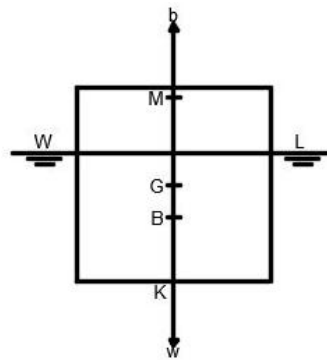
Bangunan apung memiliki sifat-sifat tertentu ketika mengapung di air. Sifat-sifat bangunan apung yang tercelup di dalam air ini disebut lengkung hidrostatik atau parameter hidrostatik. Parameter hidrostatik terbagi menjadi 20 lengkungan antara lain *Water Plane Area* (WPA), *Coefficient of Water Line* (CWL), *Midship Coefficient* (CM), *Block Coefficient* (CB), *Prismatic Coefficient* (w), *Displacement* (D), *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB), *Keel to Center of Bouyancy* (KB), dan lain-lain. Namun, dalam tugas akhir ini parameter hidrostatik yang digunakan hanya *Displacement*, *Keel to Center of Bouyancy* (KB), dan *Waterplane Area*. Parameter hidrostatik ini digunakan sebagai validasi dalam tugas akhir ini. Berikut penjelasan beberapa parameter hidrostatik :

a. Displacement dan Volume Displacement

Displacement merupakan berat volume air yang dipindahkan oleh bangunan apung, Sedangkan, *volume displacement* merupakan volume air yang dipindahkan oleh bangunan apung. *Volume displacement* ini menunjukkan volume bangunan apung dibawah garis air.

b. Keel to Center of Bouyancy (KB)

Keel to Center of Bouyancy (KB) adalah jarak titik tekan (titik *bouyancy*) ke lunas struktur terapung dalam meter. KB menunjukkan titik *bouyancy* secara vertikal. KB dirumuskan sebagai berikut:



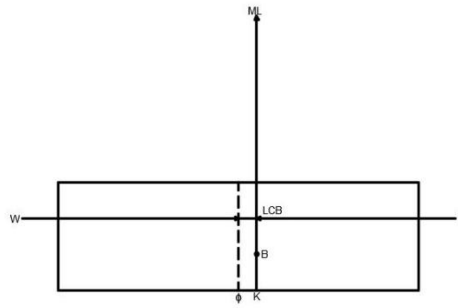
Gambar 2. 2 Keel to Center of Bouyancy (KB)

c. Waterplane Area (WPA)

WPA atau luasan daerah air adalah luasan penampang kapal yang terletak pada sarat air atau draft.

d. Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

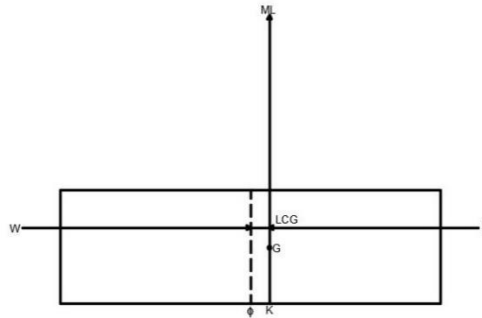
LCB adalah jarak titik tekan (titik *buoyancy*) terhadap station *midship* struktur terapung untuk setiap sarat struktur terapung. Tanda negatif (-) dan positif (+) menunjukkan letaknya ada di depan *midship* (+) dan di belakang *midship* (-). Titik B merupakan titik tangkap gaya tekan keatas atau juga didefinisikan sebagai titik berat atau titik pusat volume bagian struktur terapung yang berada dibawah garis air.



Gambar 2. 3 Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

e. Longitudinal Center of Gravity (LCG)

Longitudinal Center of Gravity adalah jarak titik berat terhadap *midship* struktur terapung. Nilai titik LCG akan berubah apabila dalam struktur terapung tersebut terjadi penambahan, pengurangan, dan pergeseran posisi muatan. Pada struktur terapung dalam keadaan tegak, titik G selalu berada pada bidang simetris.



Gambar 2. 4 Longitudinal Center of Gravity (LCG)

f. Transversal Center of Gravity (TCG)

Transversal Center of Gravity adalah jarak titik berat struktur terapung secara melintang terhadap *centerline* struktur terapung. Nilai titik TCG akan berubah apabila dalam struktur terapung tersebut terjadi penambahan, pengurangan, dan pergeseran posisi muatan. Pada struktur terapung dalam keadaan tegak, titik G selalu berada pada bidang simetris.

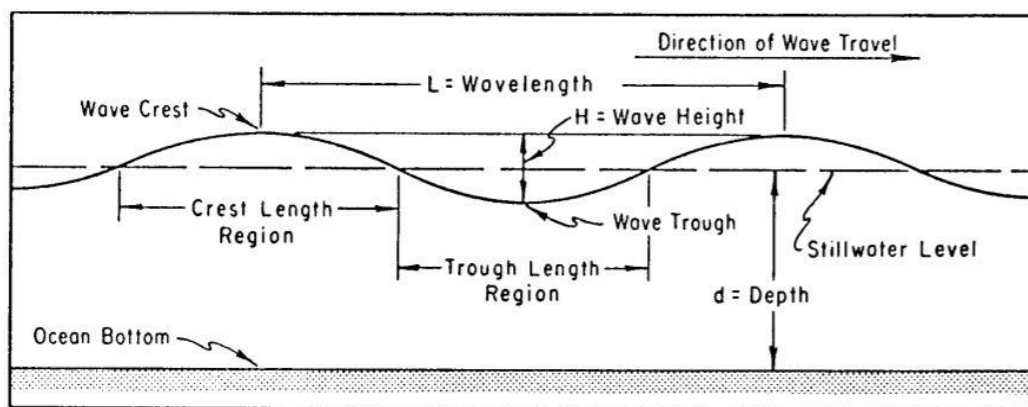
2.2.4 Gelombang

Gelombang di laut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam tergantung pada gaya penyebabnya. Gelombang tersebut antara lain gelombang pasang surut yang diakibatkan oleh gaya tarik menarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami yang diakibatkan oleh erupsi gunung berapi, gelombang angin yang diakibatkan oleh angin di permukaan laut, gelombang yang diakibatkan oleh struktur terapung yang bergerak, dan sebagainya. Di antara beberapa macam gelombang tersebut, yang paling penting dalam bidang Teknik pantai adalah gelombang angin. Gelombang dapat menyebabkan beberapa fenomena pada pantai seperti dapat menimbulkan energi untuk membentuk garis pantai, dapat menimbulkan arus dan transport sedimen, serta menyebabkan gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Triatmojo, 1999)

a. Karakteristik Gelombang

Menurut Triatmojo (1999), secara umum bentuk gelombang sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak linieran, tiga dimensi, dan random. Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang secara sederhana dan merupakan pendekatan terhadap gelombang alam. Beberapa teori gelombang yang ada antara lain teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal, dan tunggal.

Gelombang angin, yang lebih dikenal dengan sebutan gelombang osilasi, mempunyai beberapa parameter gelombang seperti tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang. Tinggi gelombang adalah jarak vertical antara puncak gelombang dengan lembah gelombang. Panjang gelombang adalah jarak horizontal antara puncak berurutan. Sedangkan periode gelombang adalah waktu antara puncak gelombang yang berurutan melewati titik tertentu (SPM Vol 1, 1984)



Gambar 2. 5 Karakteristik gelombang (SPM Vol.1, 1984)

b. Gelombang Acak

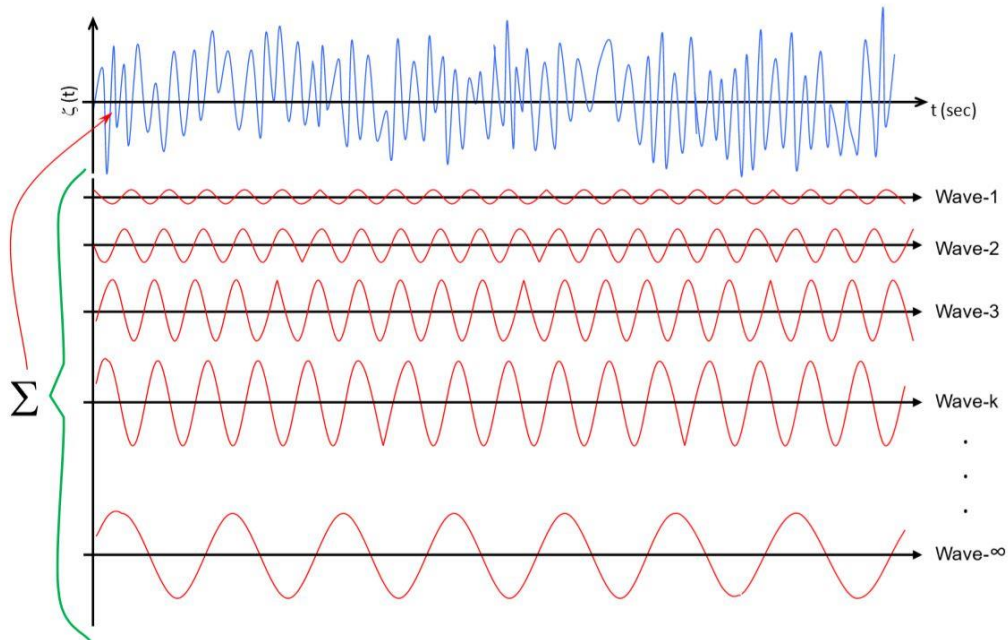
Menurut Young (1999) dalam Djatmiko (2012), besarnya ukuran gelombang angin yang terbentuk disebabkan oleh lima faktor, yaitu :

1. Kecepatan angin yang berhembus
2. Jarak bentangan permukaan laut dimana angin berhembus atau *fetch length*
3. Lebar area angin berhembus
4. Durasi atau lamanya angin berhembus
5. Kedalaman air

Dalam hal angin terus berhembus dalam jarak bentangan yang panjang dan durasi yang lama, maka akan tercapai kondisi dimana energi angin akan terserap seluruhnya oleh permukaan air laut atau gelombang. Pada saat kondisi tersebut, dapat dikatakan gelombang sedang dalam fase penuh atau *fully developed sea*. Kondisi ini sangat jarang terjadi karena ketiga persyaratan angin tersebut sulit diperoleh. Kecepatan angin yang tidak konstan, bentangan angin yang tidak tetap, dan durasi angina yang berubah-ubah menjadikan gelombang yang terbentuk bersifat acak atau *random* baik dalam bentuk maupun arahnya (Djatmiko, 2012).

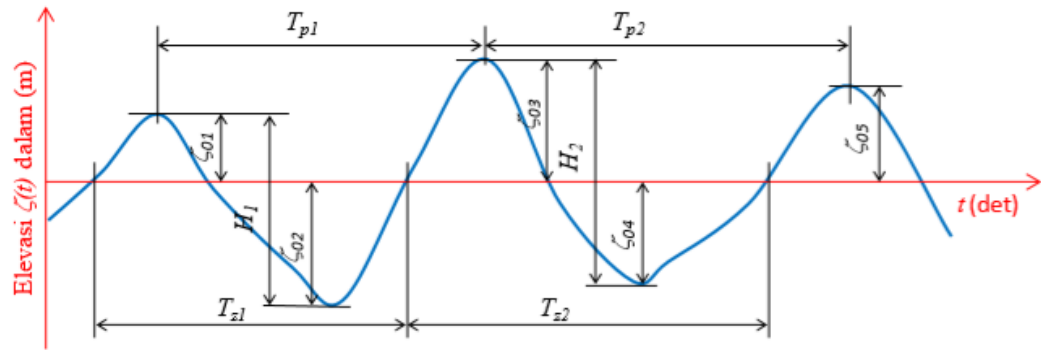
Menurut Djatmiko (2012), gelombang acak pada dasarnya tersusun dari superposisi gelombang-gelombang regular dalam jumlah yang besar, yang secara teoritis mencapai jumlah tak berhingga. Penerapan persamaan gelombang acak dalam

bidang rekayasa perstruktur terapungan dan kelautan telah diperkenalkan oleh Weinblum & St Denis (1950) dan St Denis & Pierson (1953), yang dapat ditunjukkan seperti gambar 2.4.



Gambar 2. 6 Gelombang acak (Djatkiko, 2012)

Pengukuran gelombang acak dapat dilakukan dengan *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Untuk *zero upcrossing method*, hal pertama yang dilakukan adalah menetapkan titik nol yang merupakan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Dilanjutkan dengan pemberian tanda titik pada perpotongan antara kurva naik dan garis nol. Titik nol tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Titik diberikan pada tiap perpotongan antara kurva naik dan garis nol. Jarak antar kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1). Sedangkan jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah diantara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1) dan begitu seterusnya. Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol (Triatmodjo, 1999). Berikut ini merupakan gambar pengukuran parameter sampel gelombang acak.



Gambar 2. 7 Definisi pengukuran parameter sampel gelombang acak
(Djarmiko, 2012)

Dalam pencatatan gelombang irregular dengan luaran berupa tinggi gelombang signifikan (H_s), persamaannya menjadi :

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \quad (2.4)$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_j \quad (2.5)$$

Dimana j adalah data yang diurutkan sesuai tinggi gelombang. Selain s , ada juga gelombang yang biasanya digunakan dalam perancangan yaitu $H_{1/10}$ (tinggi gelombang rata-rata pada sepersepuluh data gelombang tertinggi).

c. Spektrum Gelombang JONSWAP

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hasselman dkk (1993), hanya dua parameter dari lima parameter gelombang yang biasa divariasikan. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$S(\omega) = E(f) \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \gamma^\Gamma \quad (2.6)$$

Dengan:

$$\Gamma = \exp \left[- \frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\beta^2 \omega_p^2} \right] \quad (2.7)$$

$$E(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4} \quad (2.8)$$

Dimana:

ω = frekuensi (Hz)

ω_p = frekuensi puncak (Hz)

α = konstan Philip (equilibrium-range parameter)

γ = peakedness parameter ($\gamma = 3.3$)

$\beta = 0.07$ untuk $f < f_p$ atau 0.09 untuk $f > f_p$

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Terdapat sedikit ketergantungan pada ω_p dan α , dengan menggunakan kuantitas non-dimensional didapat dua hubungan empiris sebagai berikut (Hasselmann, 1973):

$$\alpha = 0,076 \left(\frac{gX^2}{U^2} \right)^{-0.22} \quad (2.9)$$

$$\frac{U\omega_p}{g} = 3.5 \left(\frac{gX^2}{U^2} \right)^{-0.33} \quad (2.10)$$

Dimana:

U = kecepatan angin yang paling sering terjadi 10 m diatas permukaan laut (m/s) X = panjang fetch (m)

2.2.5 Teori Gerak Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang

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

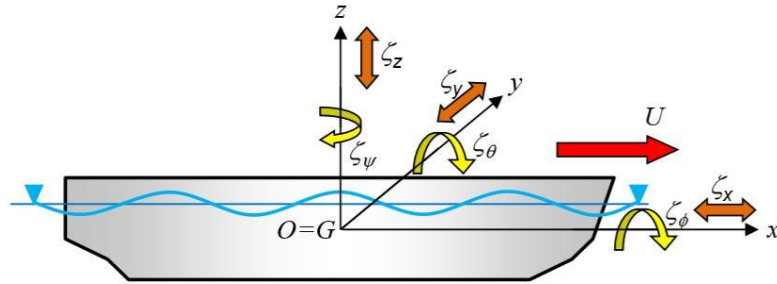
a. Mode gerak translasional

- *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
- *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
- *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z

b. Mode gerak rotasional

- *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
- *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y

- *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z



Gambar 2. 8 Mode gerak bangunan laut terapung (Djatkiko, 2012)

2.2.6 Gaya Hidrodinamis

a. Gaya Gelombang

Perhitungan gaya gelombang sebagai komponen horizontal dalam tegangan tali dapat digunakan persamaan Morison, bahwa total gaya gelombang adalah jumlah dari dua gaya yakni gaya drag dan gaya inersia (Dean dan Dalrymple, 1991). Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_w = F_D + F_I \quad (2.11)$$

Dengan:

F_w = gaya gelombang (N)

F_D = gaya drag (N)

F_I = gaya inersia (N)

Dalam penelitian ini perhitungan gaya gelombang hanya dilakukan pada struktur yang menghadap arah datang gelombang dan jika hanya ingin mengetahui kecepatan dan percepatan partikel gelombang maksimum dapat digunakan persamaan berikut ini (Dean dan Dalrymple, 1991):

$$(u_w^2)_{max} = \left(\frac{H}{2}\right)^2 f^2 \coth^2 kd \quad (2.12)$$

$$\left(\frac{\delta u}{\delta t}\right)_{max} = \frac{H}{2} f^2 \coth kd \quad (2.13)$$

Dengan:

H = tinggi gelombang (m)

f = frekuensi gelombang (Hz)

k = angka gelombang ($2\pi/L$) (/m)

d = kedalaman air (m)

Sedangkan, untuk mencari nilai tegangan total maksimum dari gaya total maksimum gelombang adalah akar dari penjumlahan kuadrat gaya drag dan kuadrat gaya inersia (Dean dan Dalrymple, 1991). Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$(F_w)_{max} = \sqrt{F_D^2 + F_I^2} \quad (2.14)$$

Dengan:

(Fw)max = gaya total maksimum gelombang (N)

FD = gaya drag (N)

FI = gaya inersia (N)

b. Gaya Drag

Nilai gaya drag yang dialami suatu struktur *floating breakwater* dapat dituliskan sebagai berikut (Dean dan Dalrymple, 1984) :

$$FD = C_D A_{fb} \rho_w U |U| \quad (2.15)$$

Dimana :

FD = gaya drag (N)

C_D = koefisien drag

A_{fb} = luas *floating breakwater* (m^2)

ρ_w = massa jenis air (kg/m^3)

U = kecepatan gelombang (m/s)

Koefisien drag C_D yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada OCDI Port Design Standard (2002) dan untuk bentuk ponton, digunakan C_D sebesar 2. Dalam kejadian yang sebenarnya, kecepatan partikel gelombang, U selalu berubah setiap waktu. Dean dan Dalrymple (1984), memberikan suatu persamaan yang untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang maksimum kuadrat. Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$(U^2)_{max} = \left(\frac{H}{2}\right)^2 \omega^2 \text{Coth}^2 kh \quad (2.16)$$

Dengan,

$$k = 2\pi/L \quad (2.17)$$

Dimana :

k = angka gelombang

h = kedalaman air (m)

c. Gaya Inersia

Besarnya gaya inersia yang dialami oleh struktur *floating breakwater* menurut persamaan Morison (Dean dan Dalrymple, 1991) :

$$F_I = C_m \rho V_{fb} \frac{Du}{Dt} \quad (2.18)$$

Dengan:

F_I = gaya inersia (N)

C_m = koefisien inersia

ρ = densitas air (kg/m³)

V_{fb} = volume *floating breakwater* yang tercelup air (m³)

$\frac{Du}{Dt}$ = percepatan partikel gelombang (m/s²)

d. Gaya Apung

Menurut Hukum Archimedes, benda yang tercelup kedalam zat cair akan mengalami gaya angkat yang besarnya setara dengan berat volume zat cair yang dipindahkan. Kim (2001), merumuskan gaya apung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_A = \rho V_{fb} g \quad (2.19)$$

Dimana :

F_A = gaya apung (N)

ρ = densitas air (kg/m³)

V_{fb} = volume *floating breakwater* yang tercelup air (m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.2.7 Response Amplitude Operator (RAO)

RAO adalah sebuah grafik yang berisi informasi mengenai karakteristik gerakan bangunan laut, di mana absisnya adalah berupa parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitude gerakan pada mode tertentu, ζ_{k0} , dengan amplitude gelombang ζ_0 . Frekuensi yang dipakai dapat berupa frekuensi gelombang insiden, frekuensi gelombang papasan, atau frekuensi non dimensi, disesuaikan dengan keperluan analisis yang akan dilakukan. Menurut Djatmiko (2012), respons gerakan RAO terdiri dari 2 macam, yaitu :

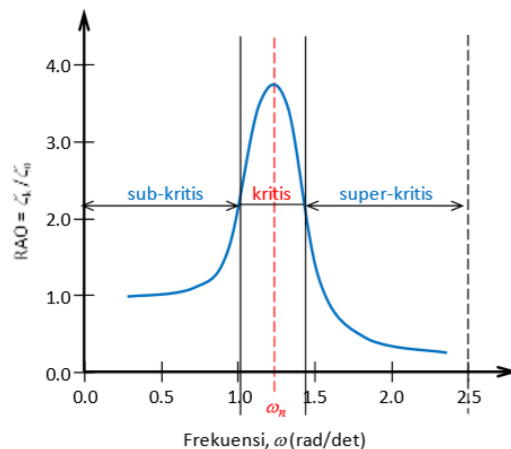
1. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi yaitu *surge*, *sway*, dan *heave*, merupakan perbandingan langsung antara amplitude gerakannya dibanding dengan amplitude gelombang (dalam satuan panjang). Persamaan di bawah ini digunakan untuk menentukan RAO gerakan translasi.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \quad (m/m) \quad (2.20)$$

2. RAO untuk gerakan rotasi yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw* adalah merupakan perbandingan antara amplitude gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitude gelombang insiden). Persamaan di bawah ini digunakan untuk menentukan RAO gerakan rotasi.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \quad (rad/rad) \quad (2.21)$$

Bentuk umum grafik response gerakan bangunan apung adalah sebagai berikut:



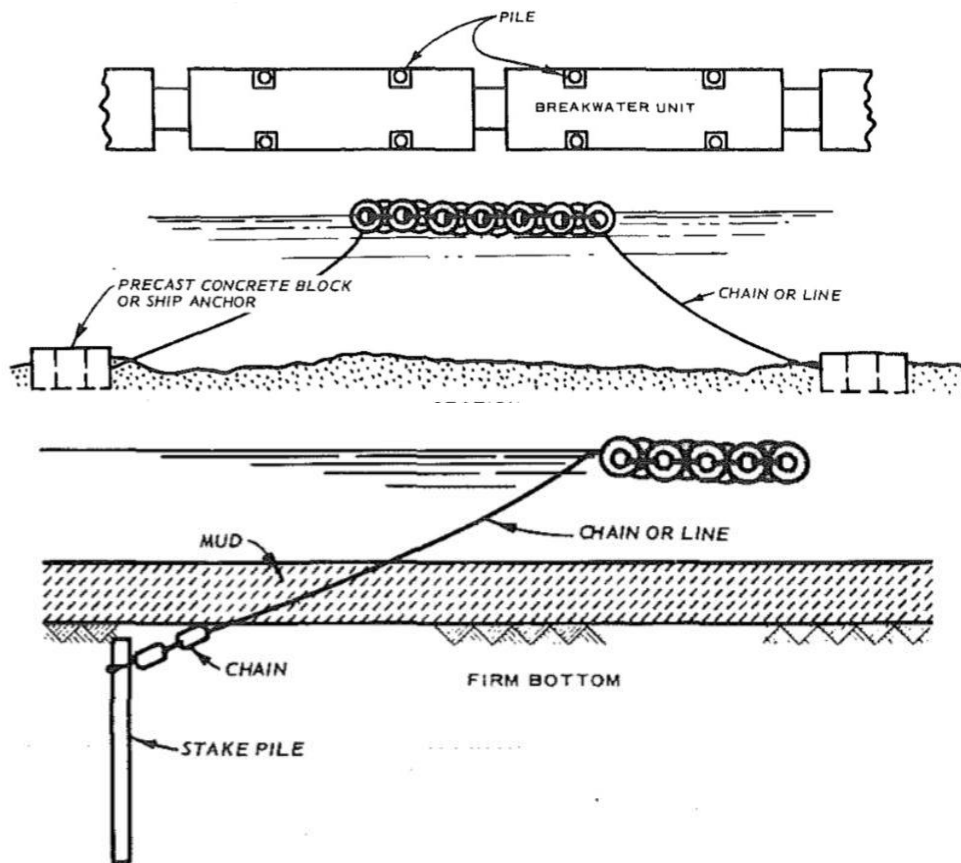
Gambar 2. 9 Bentuk umum grafik respon gerakan bangunan apung (Djatkiko, 2012)

2.2.6 Sistem *Mooring*

Menurut McCartney (1985), pemasangan sistem *mooring* pada *floating breakwater* ada 3 cara, yaitu:

- 1) *Floating breakwater* dapat dipasang dengan piling, dimana *floating breakwater* naik dan turun dengan arus tetapi tidak ada gerakan lateral.
- 2) *Floating breakwater* dapat dipasang dengan menggunakan massa concrete atau jangkar struktur terapung beserta talinya.
- 3) *Floating breakwater* dapat dipasang dengan menggunakan pile pancang dan talinya.

Ketiga cara pemasangan sistem *mooring* tersebut ditunjukkan dalam gambar di bawah ini :



Gambar 2. 10 Cara memasang *floating breakwater* (McCartney, 1985)

Sedangkan jenis tali/rantai yang dapat digunakan menurut Hakiki dan Samskerta (2016), adalah sebagai berikut :

a. *Catenary Line Mooring*

Berat tali melengkung karena dipengaruhi gaya pengembali akibat berat tali. Berikut adalah gambar *catenary line mooring* :



Gambar 2. 11 *Catenary Line Mooring*

b. *Taut Line Mooring*

Bentuk catenary dihilangkan akibat berat tali yang ringan. Gaya pengembali berasal dari elastisitas bahan tali.



Gambar 2. 12 *Taut Line Mooring*

c. *Tension Leg Mooring*

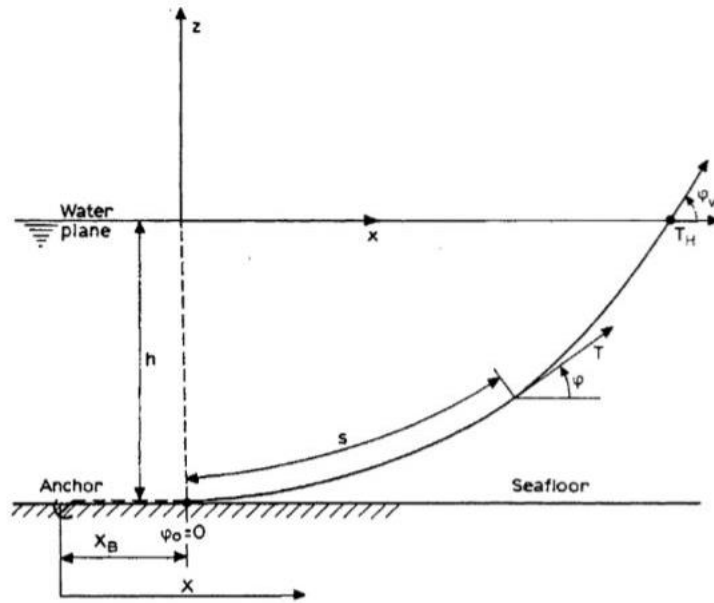
Tali *mooring* yang dapat menahan struktur yang mempunyai kelebihan gaya apung, sehingga gaya vertical dibatasi.



Gambar 2. 13 *Tension Leg Mooring*

2.2.7 Tegangan *Mooring*

Menurut Faltinsen (1990), diperlukan komponen horizontal dari tegangan *mooring* untuk mengetahui tegangan totalnya. Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa komponen horizontal berupa gaya gelombang. Untuk menghitung tegangan *mooring* digunakan persamaan Faltinsen (1990), dan gambar pendukung dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 14 Konfigurasi *mooring* (Faltinsen, 1990)

Tegangan yang terjadi sepanjang *mooring* dirumuskan dengan:

$$TM = TH + wd + (w + \rho gAm)z \quad (2.22)$$

Dengan:

TH = gaya horizontal pada fairlead (N)

d = kedalaman laut (m)

z = jarak ujung *floating breakwater* sampai anchor secara vertikal (m)

TM = tegangan pada tali *mooring* (N)

w = berat tali *mooring* per satuan panjang (N/m)

Am = luasan penampang tali *mooring* (m^2)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2.2.8 Gambaran Software ANSYS AQWA

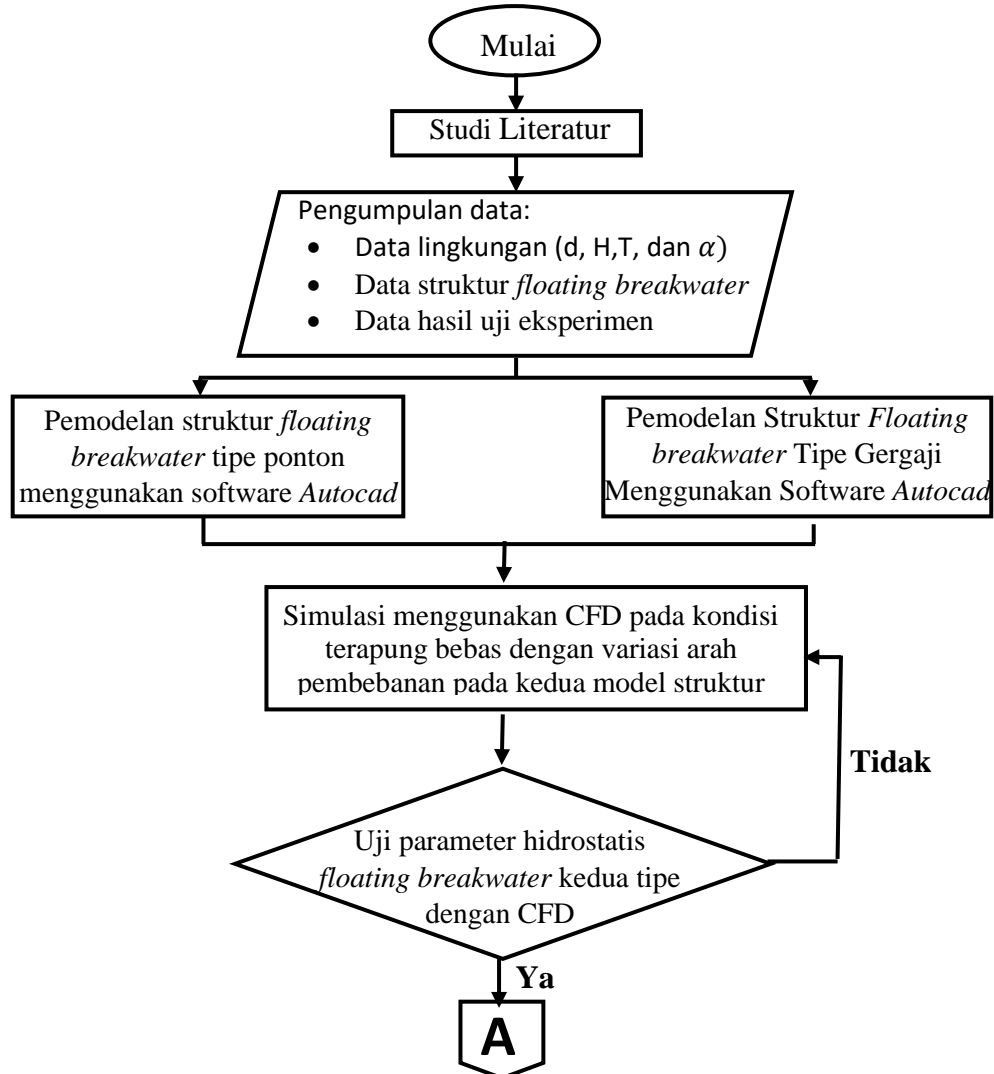
Pada pengerjaan tugas akhir ini di bantu dengan menggunakan software *ANSYS*. *ANSYS* adalah program yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik. Untuk pemodelan pada tugas akhir ini digunakan *ANSYS Aqwa* yang berfungsi untuk menganalisa beban dan gerakan floating breakwater. Pada *ANSYS Aqwa* akan terlihat beban,tekanan, gaya geser, tegangan dan lain-lain yang terjadi pada struktur saat pergerakan struktur berlangsung. Output yang diharapkan adalah grafik RAO floating breakwater dan tegangan maksimum yang terjadi pada setiap tali tambat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

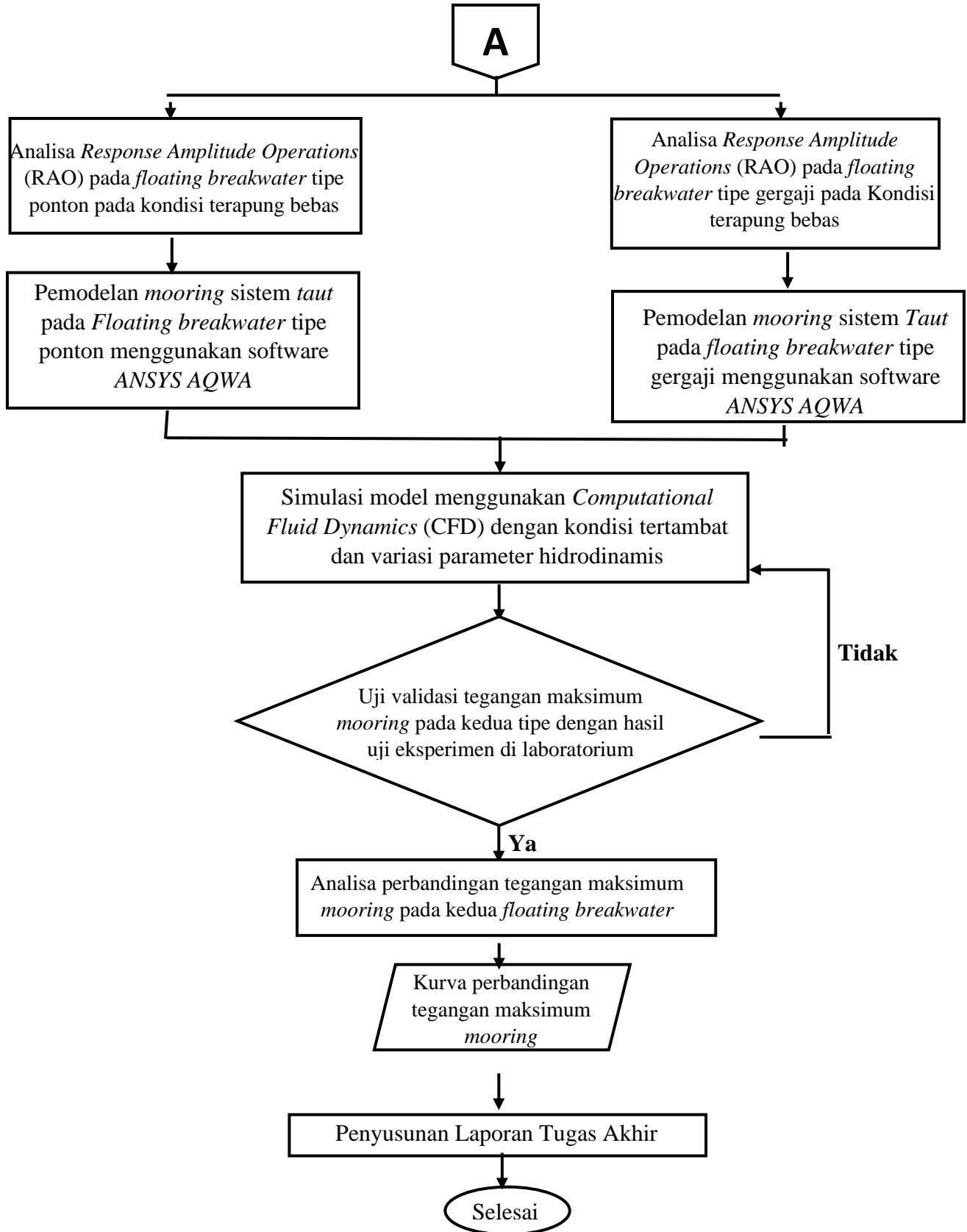
BAB III MEODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan pada *floating breakwater* tipe gergaji dan ponton sebagai pembanding. Data yang digunakan diperoleh dari eksperimen sebelumnya dan simulasi struktur dilakukan menggunakan CFD. Hasil dari simulasi numerik dilakukan kalibrasi dengan hasil uji eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut ini merupakan metodologi penelitian yang digambarkan secara singkat dengan diagram alir oleh peneliti:



Gambar 3. 1 Diagram alir tugas akhir



Gambar 3. 2 Diagram alir tugas akhir (lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Diagram alir digunakan untuk mewakili penggambaran pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini. Berikut merupakan penjelasan tentang diagram alir tersebut.

3.2.1 Studi literatur

Pada tahap awal penelitian dilakukan pencarian informasi dan teori-teori penunjang yang berkaitan dengan penelitian seperti *floating breakwater*, *mooring*, jenis-jenis *mooring*, *Response Amplitude Operator (RAO)*, teori gelombang, dan teori-teori lainnya yang berasal dari jurnal, buku, penelitian dan tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya. Tahap studi literatur juga mencakup pengumpulan informasi mengenai software yang digunakan selama penelitian ini dari modul-modul pelatihan maupun buku-buku yang ada.

3.2.2. Pengumpulan data

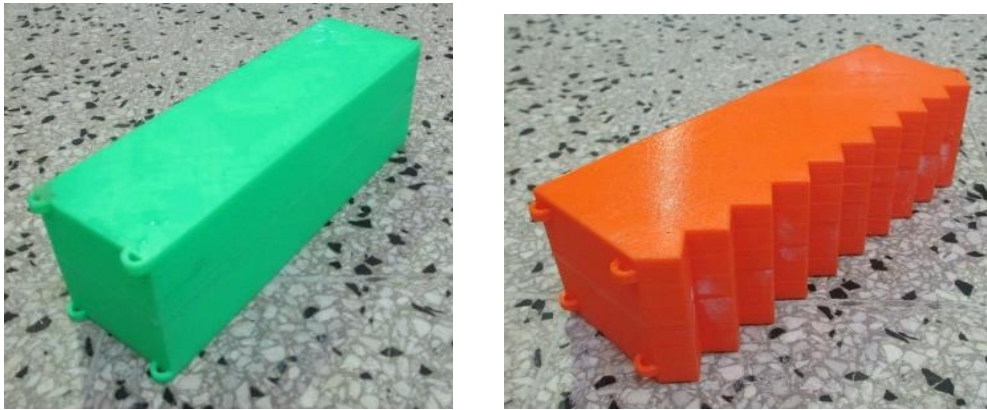
Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan oleh penulis dengan mengumpulkan data dari uji eksperimen penelitian sebelumnya. Data-data awal yang dikumpulkan untuk dilakukan pemodelan adalah data dimensi awal struktur *floating breakwater* tipe gergaji dan data *ponton* dan data kondisi lingkungan yang ada berupa data H, T, α (sudut sistem tambat), dan d (kedalaman). Selain itu juga ada data-data parameter hidrostatis yang akan digunakan untuk validasi. Data dimensi struktur *breakwater* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Dimensi model dari *floating breakwater*

Dimensi	Prototype (m)	Skala	Model (cm)
Panjang	10	1 : 50	20
Lebar	3		6
Tinggi	3		6

Tabel 3. 2 Skenario Kondisi Lingkungan

Parameter	Variasi Parameter		
Tinggi Gelombang, H_s (cm)	3	4	5
Periode Gelombang, T (s)	1,1	1,3	1,6
Elevasi muka air, D (m)	41	43	45
Sudut <i>Mooring</i> , θ ($^\circ$)	30	45	60



Gambar 3. 3 Dimensi *Floating breakwater* tipe ponton dan gergaji
(Sujantoko et al., 2019)

3.2.3 Pemodelan Dimensi Struktur

Pemodelan dimensi struktur *floating breakwater* tipe ponton maupun gergaji dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* AutoCAD dalam bentuk model 3D. Luas setiap permukaan yang bergergaji pada *floating breakwater* dianggap sama. Setelah selesai dibuat pemodelannya, model harus diubah dalam bentuk file IGES agar dapat terbaca pada *software* ANSYS AQWA untuk dilakukan simulasi.

3.2.4 Simulasi menggunakan CFD dengan kondisi terapung bebas

Simulasi model menggunakan *software* ANSYS AQWA dilakukan pada kondisi terapung bebas. Arah pembebanan yang digunakan bersudut 90° dari arah datang gelombang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik respon dari kedua model struktur *floating breakwater*.

3.2.5 Validasi hidrostatik

Setelah melakukan simulasi menggunakan CFD, didapatkan lah hasil berupa parameter hidrostatik dan RAO (Respon Amplitude Operator). Untuk nilai-nilai hidrostatik dilakukan validasi dengan menggunakan perhitungan teoritis. Jika nilai

hidrostatik tidak memenuhi kriteria, maka dilakukan pemodelan ulang. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ABS yaitu error displacement bernilai maksimum 2% dan untuk ketentuan lainnya bernilai 1% (Putra, 2017).

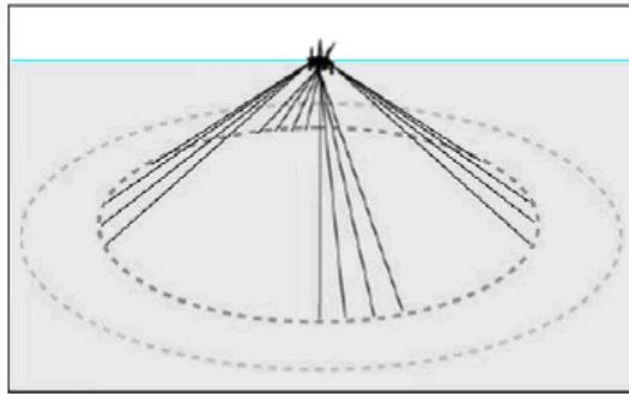
3.2.6 Analisa Response Amplitude Operator

Model yang sudah memenuhi kriteria validasi kemudian dilanjutkan ke tahap analisa RAO. RAO merupakan output software ANSYS AQWA, sama seperti hidrostatik. Keluaran karakteristik respon gerak model pada moda gerak 6 derajat kebebasan yaitu :

- a. Mode gerak translasional
 - *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
 - *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
 - *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
- b. Mode gerak rotasional
 - *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

3.2.7 Pemodelan *mooring* dengan CFD

Selanjutnya dilakukan pemodelan *mooring* sistem taut yang dibutuhkan untuk kedua struktur model. Aspek yang ditinjau dalam pemodelan pada tahap ini berupa panjang *mooring* yang digunakan, jumlah *mooring* yang digunakan, jarak antar *mooring*, perletakan posisi pemasangan *mooring*, jenis bahan *mooring* yang digunakan, dan beban lingkungan di sekitaran *mooring*. Software CFD yang digunakan pada tahap ini adalah ANSYS AQWA.



Gambar 3. 4 Taut *mooring*

(Sumber : <http://www.dredgingengineering.com>)

3.2.8 Simulasi model menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Setelah melakukan pemodelan, maka selanjutnya adalah melakukan simulasi model menggunakan software ANSYS AQWA. Masukan yang digunakan pada software adalah berupa keluaran dari analisa pada tahap sebelumnya, yaitu data *add mass*, *load RAO*, *motion RAO*, dan *wave drift* yang sudah dilakukan validasi. Selain itu, data kondisi beban lingkungan yang berupa data gelombang dan data material serta berat material *mooring* juga dimasukkan untuk simulasi. Keluaran dari simulasi ini adalah berupa tegangan maksimum pada sistem tambat.

3.2.9 Uji validasi tegangan maksimum *mooring*

Tahap ini dilakukan untuk menentukan apakah pemodelan system tambat sudah sesuai dengan uji eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang digunakan untuk uji validasi berupa data yang didapat pada uji eksperimen sebelumnya. Baik atau buruknya hasil simulasi numerik dapat ditentukan dengan menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Apabila nilai RMSE kecil, maka data tegangan hasil simulasi dianggap sudah baik.

3.2.10 Analisa perbandingan tegangan maksimum *mooring* pada kedua *floating breakwater*

Setelah dilakukan validasi dan hasilnya sudah sesuai, maka tahap selanjutnya adalah membandingkan tegangan maksimum pada kedua *floating breakwater*. Tegangan maksimum yang terjadi pada *floating breakwater* tipe ponton merupakan data pembanding, sedangkan tegangan maksimum yang terjadi pada *floating breakwater* tipe gergaji merupakan data utama yang diteliti. Pada tahap ini, kita dapat menentukan hubungan maupun perbedaan tegangan *mooring* pada masing-masing tipe *floating breakwater* pada semua variasi pembebanan.

3.2.11 Kurva perbandingan tegangan maksimum *mooring*

Pada tahapan ini, penulis membuat sebuah kurva perbandingan tegangan maksimum *mooring* pada kedua tipe *floating break water*. Dari kurva tersebut kita dapat menentukan seberapa efektif tali yang dapat digunakan untuk menambat kedua tipe *floating breakwater*.

3.2.12 Penyusunan laporan tugas akhir

Tahapan terakhir dalam penelitian tugas akhir ini adalah penyusunan laporan. Laporan berisi hasil analisis yang telah diuraikan penulis dan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Material dan Gaya Apung *Floating Breakwater*

Floating breakwater yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan material HDPE (*High Density Polyethylene*) yang memiliki massa jenis 0.96 g/cm^3 . Dari data massa jenis dan perhitungan volume *floating breakwater*, maka dapat ditentukan nilai massa dari *floating breakwater*. Selain itu, *floating breakwater* ini didesain sedemikian rupa agar dapat mengapung dengan ketinggian draft 4 cm dan freeboard 2 cm. Untuk menentukan gaya apung dapat menggunakan rumus Archimedes sebagai berikut :

$$F_B = \rho \times V_{\text{tercelup}} \times g$$

Dengan persamaan hukum Archimedes di atas maka dapat ditentukan nilai dari ketebalan *floating breakwater* agar dapat mengapung dengan ketinggian draft 4 cm dan freeboard 2 cm. Perhitungan draft pada *floating breakwater* tercantum pada lampiran.

4.2. Pemodelan *Floating Breakwater*

Pemodelan *floating breakwater* dilakukan dengan menggunakan software AutoCAD. Untuk koordinat pada *floating breakwater*, nilai koordinat 0 pada sumbu x dan y diletakkan pada centre of gravity (COG) atau titik pusat massa, sedangkan koordinat sumbu z diletakkan pada sarat air untuk mempermudah saat pemodelan di software ANSYS AQWA. Berikut adalah data dimensi dari *floating breakwater* yang akan dimodelkan :

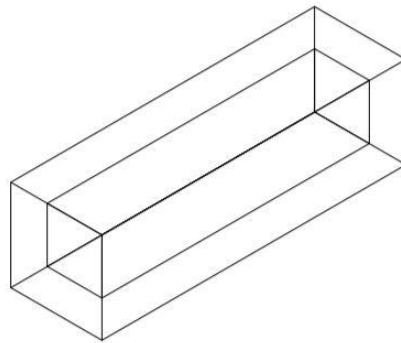
Tabel 4. 1 Data *Floating Breakwater*

Deskripsi	Unit	Breakwater	
		Ponton	Gergaji
Panjang	cm	20	20
Lebar	cm	6	6

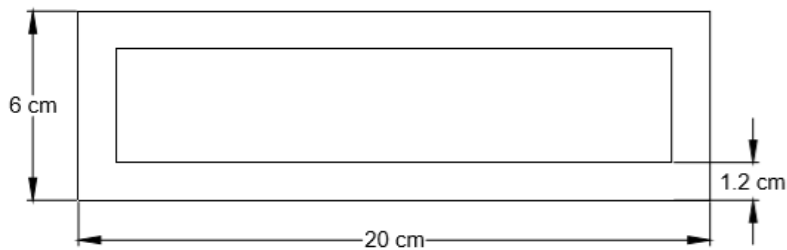
Deskripsi	Unit	Breakwater	
		Ponton	Gergaji
Tinggi	cm	6	6
Massa jenis	g/cm	0,96	0,96
Tinggi gerigi	cm	-	1
Lebar gergaji	cm	-	2
Ketebalan dinding	cm	1,2	1,2

- Pemodelan *Floating Breakwater* tipe Ponton pada AutoCAD

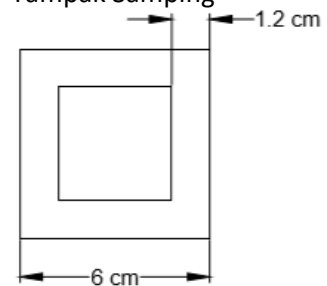
Tampak Isometri



Tampak Atas

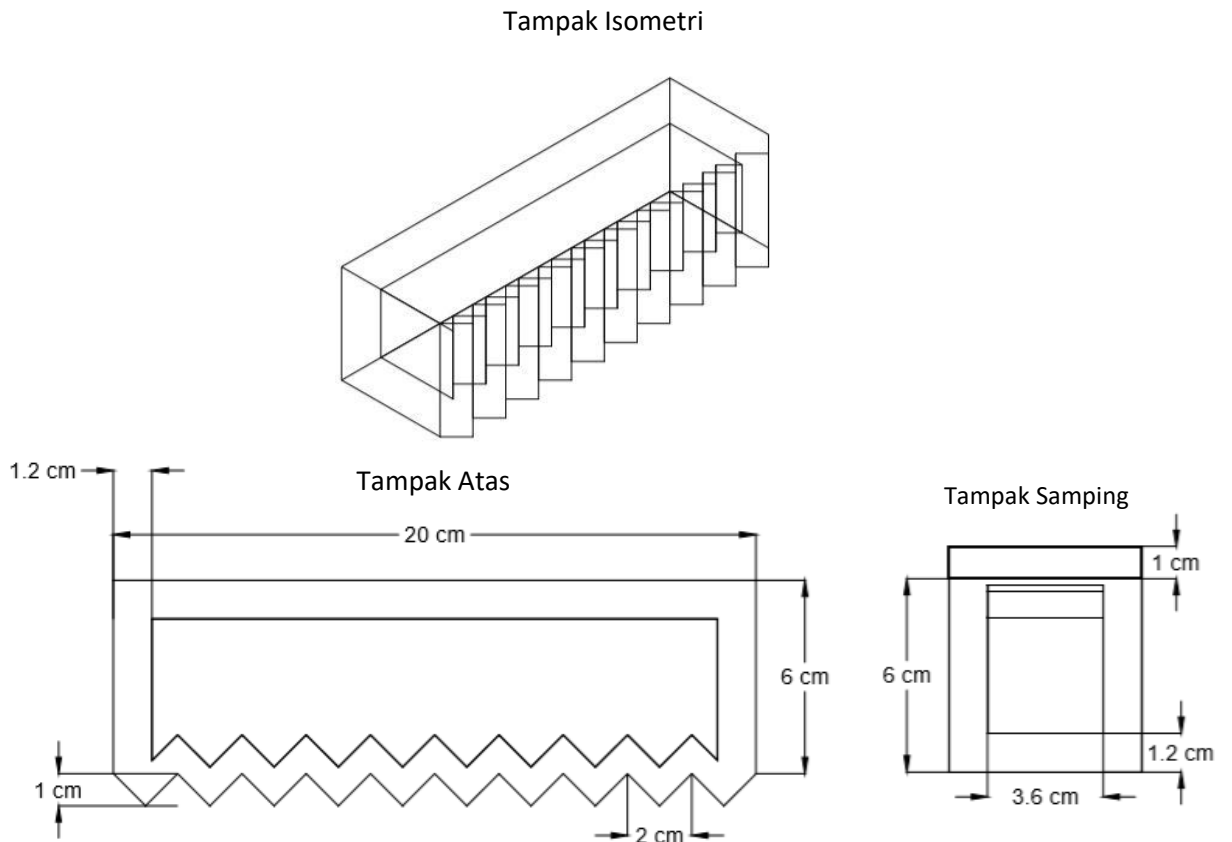


Tampak Samping



Gambar 4. 1 Model *floating breakwater* tipe ponton

- Pemodelan *Floating Breakwater* tipe gergaji pada AutoCAD



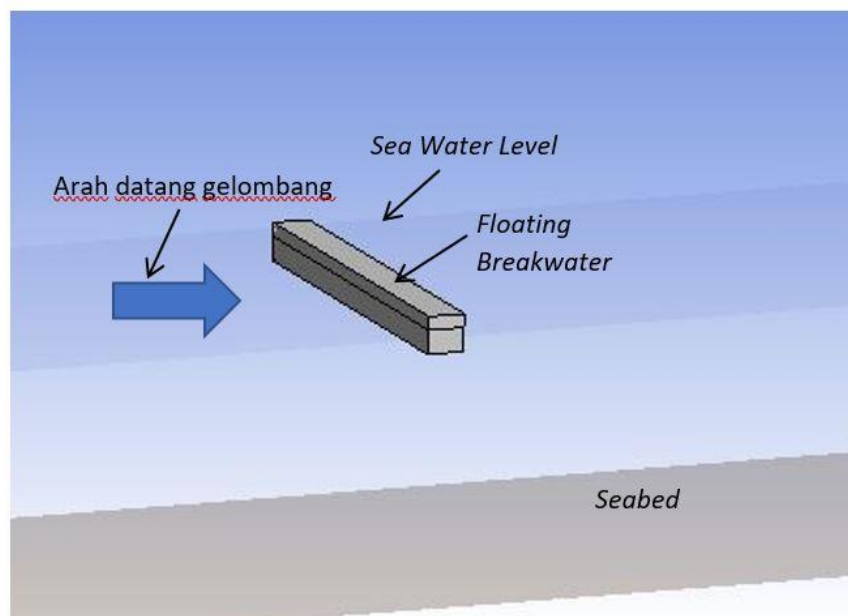
Gambar 4. 2 Model *floating breakwater* tipe gergaji

4.3. Centre of Gravity (COG) dan Radius Girasi

Nilai Centre Of Gravity atau titik pusat massa pada struktur bangunan terapung sangatlah penting agar dapat mengetahui stabilitas dari bangunan terapung tersebut. Sesuai dengan teori mengenai Centre Of Gravity (COG), COG adalah titik berat atau pusat massa, yang mana semua beban seakan-akan berada di titik tersebut. Untuk mencari nilai radius girasi dan inersia dapat digunakan rumus yang ada pada Bab 2. Setelah mendapatkan nilai radius girasi dan inersia, maka kedua nilai tersebut dimasukkan ke software ANSYS AQWA.

4.4 Pemodelan *Floating Breakwater* pada Kondisi Terapung Bebas

Setelah dilakukan pemodelan dimensi struktur pada software AutoCAD maka selanjutnya adalah pemodelan pada software ANSYS AQWA. Pada pemodelan ini penulis memasukkan beberapa data yang dibutuhkan seperti massa, volume, titik COG, titik COB, momen inersia dan jari-jari girasi. Jumlah *floating breakwater* yang digunakan dalam pemodelan sebanyak 3 buah yang disusun memanjang. Pemodelan *floating breakwater* pada kondisi terapung bebas dilakukan dengan menggunakan software ANSYS AQWA. Pemodelan ini dilakukan untuk mencari RAO dari breakwater yang selanjutnya dapat digunakan untuk mencari tegangan *mooring* yang terjadi pada *floating breakwater*. Pemodelan ini dilakukan dengan arah sudut datang gelombang 90° .



Gambar 4. 3 Model *floating breakwater* tipe ponton kondisi terapung bebas

4.5 Validasi Model

Setelah dilakukan simulasi terhadap kondisi free floating, maka selanjutnya yang dilakukan adalah validasi parameter hidrostatis.

Tabel 4. 2 Validasi Hidrostatik Model Numeris dengan Teoritis

No	Parameter Hidrostatik	Floating breakwater					Error (%)
		Ponton		Error (%)	Gergaji		
		Teoritis	Numerik		Teoritis	Numerik	
1	Volume Displacement (cm ³)	1457	1457	0	1657	1657	0
2	Water Plan Area (m ²)	360	360,001	0,002	372	371,8	0,05
3	Keel to Bouyancy (cm)	2	2	0	2	2	0

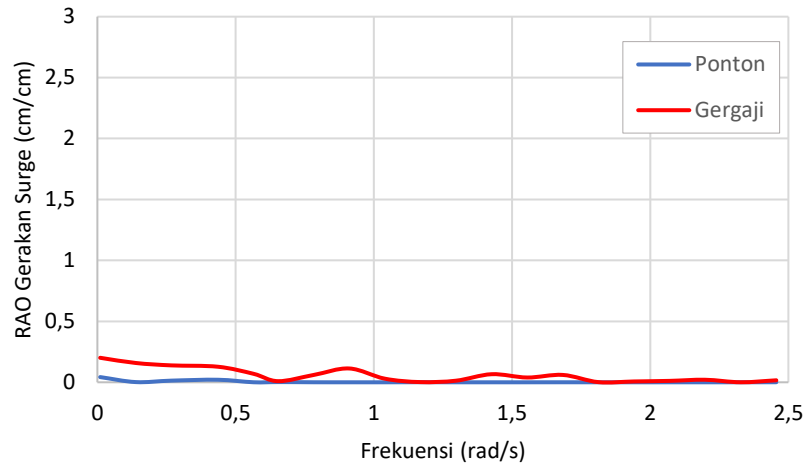
Berdasarkan hasil validasi di atas diperoleh koreksi displacement tidak melebihi 2% maka model dapat dinyatakan valid dan sudah mewakili struktur sesungguhnya. Dapat diambil kesimpulan bahwa model AutoCAD layak digunakan dalam analisis-analisis selanjutnya.

4.6 Analisis Gerak *Floating breakwater* Pada Saat Terapung Bebas (*Free Floating*)

Karakteristik gerak *floating breakwater* dalam kondisi terapung 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 frekuensi resonansinya 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. Pada analisa ini hanya ditampilkan 6 mode gerak pada kedalaman 41 cm, periode 1,1 s dan tinggi gelombang 3 cm, hal itu karena pada variasi kondisi lingkungan yang lain tidak berpengaruh signifikan terhadap RAO.

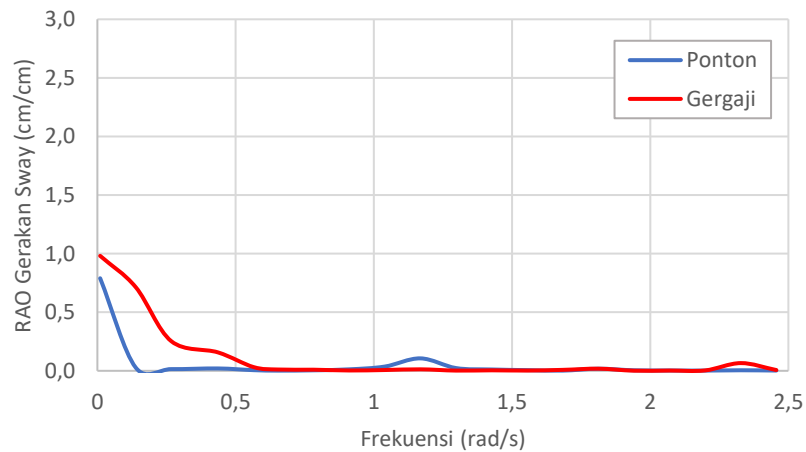
a. Analisa RAO gerakan *surge* pada *floating breakwater*



Gambar 4. 4 RAO *surge*

Karakteristik gerakan *surge* pada *floating breakwater* baik tipe ponton maupun gergaji pada arah 90° bernilai sangatlah kecil dan hampir mendekati 0. Pada ponton, RAO terbesar 0,043 cm/cm pada frekuensi rendah yaitu 0,01 rad/s. Pada frekuensi yang sama juga terjadi RAO terbesar pada gergaji dengan nilai 0,201 cm/cm. Hal itu disebabkan karena pada gerakan *surge*, gelombang pada arah sisi tidak memberikan efek untuk terjadinya gerakan *surge*.

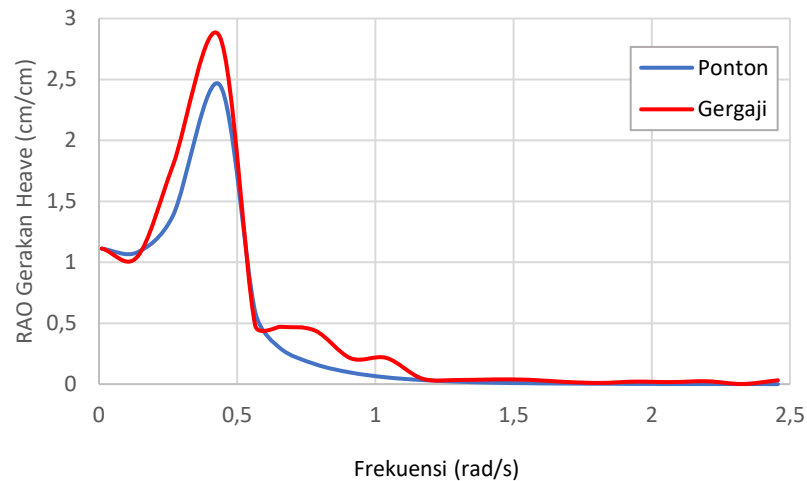
b. RAO gerakan *sway* pada *floating breakwater*



Gambar 4. 5 RAO *sway*

Berdasarkan gambar di atas, karakteristik gerakan *sway* hamper sama dengan gerakan *surge* dimana nilai RAO maksimum berada pada frekuensi rendah. Untuk sudut datang gelombang 90° , RAO tertinggi pada ponton bernilai 0,79 cm/cm. Pada frekuensi yang sama juga terjadi RAO maksimum untuk *floating breakwater* tipe gergaji yaitu sebesar 0,98 cm/cm. Setelah itu RAO kedua *floating breakwater* menurun secara gradual. Gerakan *sway* mempunyai nilai maksimum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan *surge* untuk gelombang sisi karena propagasi gelombang sisi mempunyai pengaruh yang besar untuk gerakan *sway*.

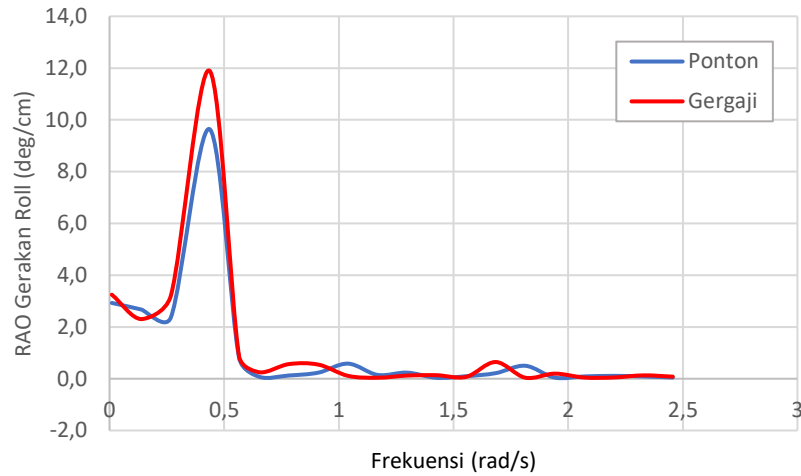
c. Analisa RAO gerakan *heave* pada *floating breakwater*



Gambar 4. 6 RAO *heave*

RAO gerakan *heave* seperti yang dapat dilihat pada gambar di atas adalah contoh yang cukup dapat menjelaskan suatu system dinamis yang mengalami eksitasi gelombang. Pada daerah frekuensi rendah, RAO kedua tipe *floating breakwater* bernilai 1,11 cm/cm dan 1,13 cm/cm dan secara bertahap naik secara gradual. menuju ke daerah resonansi pada frekuensi alami sebesar 0,436 rad/s. RAO maksimum gerakan *heave* terbesar pada ponton bernilai 2,45 cm/cm sedangkan untuk gergaji mempunyai RAO yang lebih besar sebesar 2,85 cm/cm. Setelah melalui puncaknya, RAO *heave* akan menurun drastis pada frekuensi tinggi.

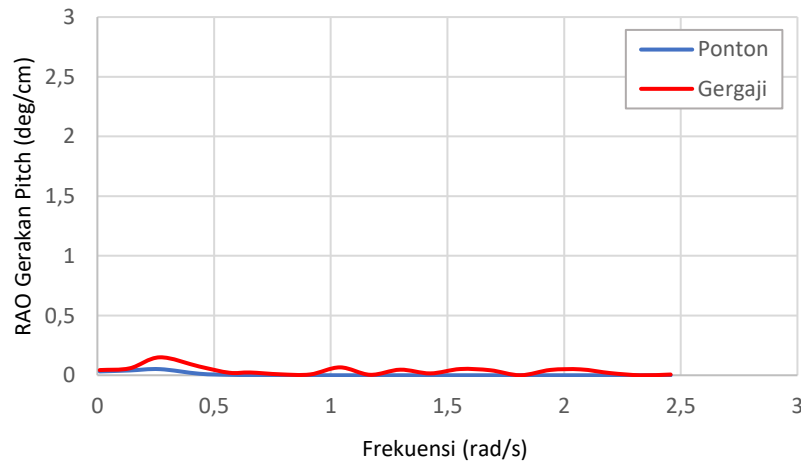
d. Analisis gerakan *roll*



Gambar 4. 7 RAO *roll*

Pada gambar di atas dapat diamati bahwa karakteristik gerakan *roll* hampir sama dengan karakteristik gerakan *heave*. Pada daerah sub kritis respons merepresentasikan kondisi platforming, kemudian naik tajam pada daerah resonansi dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis. Frekuensi alami gerakan *roll* sebesar 0,43 rad/s. Nilai dari respon tertinggi gerakan *roll* pada ponton sebesar 9,64 deg/cm dan pada gergaji sebesar 11,86 deg/cm.

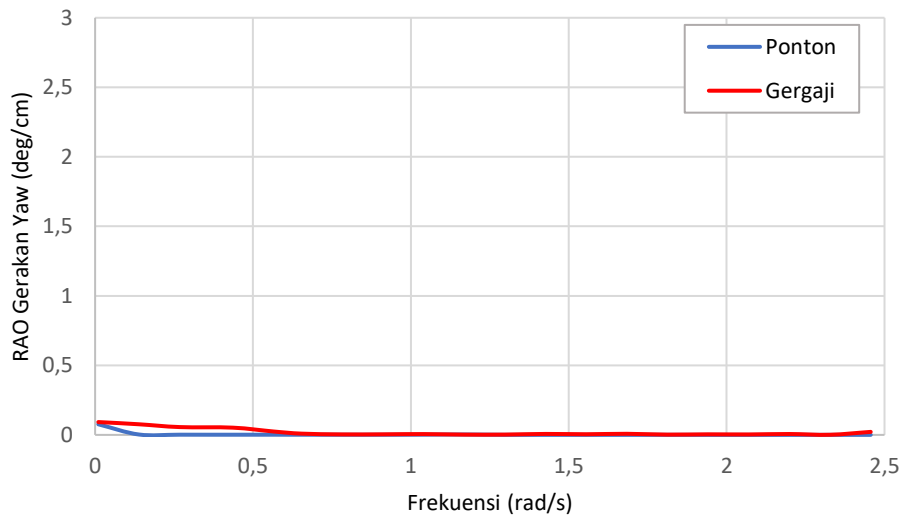
e. Analisa RAO gerakan *pitch* pada *floating breakwater*



Gambar 4. 8 RAO *pitch*

Gerakan *pitch* jika diamati pada gambar diatas adalah sama dengan gerakan *roll* yang sama-sama merupakan gerakan mode rotasi. Akan tetapi, gerakan *pitch* intensitas gerakannya tidak dipengaruhi oleh gelombang sisi, sehingga pada arah 90° bernilai 0 atau mendekati 0 karena tidak terjadi gerakan apapun. Untuk tipe ponton, respon maksimum bernilai 0,05 deg/cm sedangkan untuk gergaji nilai respon maksimumnya 0,15 deg/cm.

f. Analisa RAO gerakan *yaw* pada *floating breakwater*



Gambar 4. 9 RAO *yaw*

Gerakan *yaw* pada Gambar 4.9 menunjukkan respon *floating breakwater* pada gelombang sisi bernilai 0 dan mendekati 0. Hal itu karena pada gerakan *yaw* akan terjadi secara signifikan pada eksitasi gelombang perempat haluan sehingga pada sudut 90° hamper tidak terjadi gerakan. Pada *floating breakwater* tipe ponton, RAO maksimum sebesar 0,07 deg/cm terjadi pada frekuensi 0,01 sedangkan untuk gergaji RAO tertinggi bernilai 0,09 pada frekuensi yang sama.

4.7 Floating Breakwater pada Kondisi Tertambat

4.7.1. Spesifikasi tali *mooring*

Untuk pemodelan *mooring* digunakan jenis tali yang sama dengan prototipe yaitu polyethylene (PE). Tali jenis ini mempunyai sifat lebih ringan daripada rantai baja. Ukuran tali yang digunakan dalam pemodelan digunakan tali berdiameter 1 mm. Spesifikasi tali yang digunakan tersaji dalam Tabel 4.3 dan gambar tali seperti pada Gambar 4.7. dibawah ini.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Tali *Mooring*

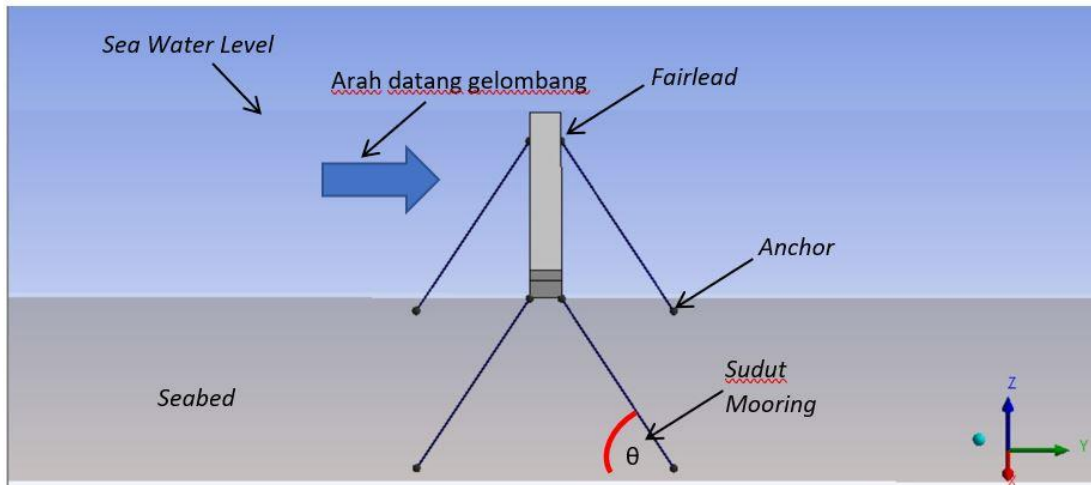
Available Size dia. (mm)	Weight (kg/100 m)	Breaking Strength	
		KN	Ton
0.8 mm	0,05	0,4	0,04
1 mm	0,07	0,7	0,075
1.2 mm	0,10	1,0	0,1
1.5 mm	0,16	1,5	0,15
6 mm	2,3	41,2	4,2
8 mm	3,9	65,7	6,7
10 mm	5,9	105,9	10,8
20 mm	25,5	407,1	41,5
36 mm	68	1020,2	104
40 mm	84	1245,9	127
48 mm	121	1756,0	179
50 mm	131	1893,3	193
72	254	3413,9	348



Gambar 4. 10 Material *mooring* yang berupa polyethylene (PT. Djaja Perkasa)

4.7.2. Model *Floating Breakwater* Kondisi Tertambat

Pemodelan *floating breakwater* pada kondisi tertambat dengan menggunakan software ANSYS AQWA. Sistem *mooring* yang digunakan berupa system taut. Berikut gambar pemodelan pada kedua *floating breakwater*.



Gambar 4. 11 Model *floating breakwater* kondisi tertambat tampak samping

4.7.3. Koordinat Anchor dan Fairlead pada Pemodelan *Mooring*

Pada pengerjaan tugas akhir ini dalam pemodelan *mooring* digunakan variasi sudut *mooring* sebesar 30° , 45° dan 60° . Variasi sudut mooring tersebut telah sesuai dengan uji eksperimen sebelumnya. Pemodelan pada kondisi tertambat tersebut menggunakan 4 buah tali yang ditambatkan pada masing-masing ujung bagian alas *breakwater* dan ditambatkan pada seabed. Selain variasi sudut, terdapat variasi elevasi muka air laut yang akan memengaruhi panjang tali. Variasi elevasi muka air sebesar 41 cm, 43 cm, dan 45 cm. Hasil dari variasi sudut mooring dan elevasi muka air laut tersebut menghasilkan 9 koordinat pemasangan anchor dan fairlead yang berbeda. *Cable 1* dan *2* merupakan tali tambat yang berhadapan langsung dengan arah datang gelombang, sedangkan *cable 3* dan *4* terletak di belakang *breakwater* dan membelakangi arah datang gelombang. Berikut koordinat anchor maupun fairlead pada *floating breakwater* tipe pontoon maupun gergaji.

Tabel 4. 4 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 30^\circ, d = 41\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	64,085	-41	30	3	-4
2	30	-64,085	-41	30	-3	-4
3	-30	64,085	-41	-30	3	-4
4	-30	-64,085	-41	-30	-3	-4

Tabel 4. 5 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 30^\circ, d = 43\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	70,549	-43	30	3	-4
2	30	-70,549	-43	30	-3	-4
3	-30	70,549	-43	-30	3	-4
4	-30	-70,549	-43	-30	-3	-4

Tabel 4. 6 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 30^\circ, d = 45\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	74,014	-45	30	3	-4
2	30	-74,014	-45	30	-3	-4
3	-30	74,014	-45	-30	3	-4
4	-30	-74,014	-45	-30	-3	-4

Tabel 4. 7 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 45^\circ, d = 41\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	40	-41	30	3	-4
2	30	-40	-41	30	-3	-4
3	-30	40	-41	-30	3	-4
4	-30	-40	-41	-30	-3	-4

Tabel 4. 8 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 45^\circ, d = 43\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	42	-43	30	3	-4
2	30	-42	-43	30	-3	-4
3	-30	42	-43	-30	3	-4
4	-30	-42	-43	-30	-3	-4

Tabel 4. 9 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 45^\circ, d = 45\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	44	-45	30	3	-4
2	30	-44	-45	30	-3	-4
3	-30	44	-45	-30	3	-4
4	-30	-44	-45	-30	-3	-4

Tabel 4. 10 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 60^\circ, d = 41\text{cm}$

Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	24,361	-41	30	3	-4
2	30	-24,361	-41	30	-3	-4
3	-30	24,361	-41	-30	3	-4
4	-30	-24,361	-41	-30	-3	-4

Tabel 4. 11 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 60^\circ, d = 43\text{cm}$

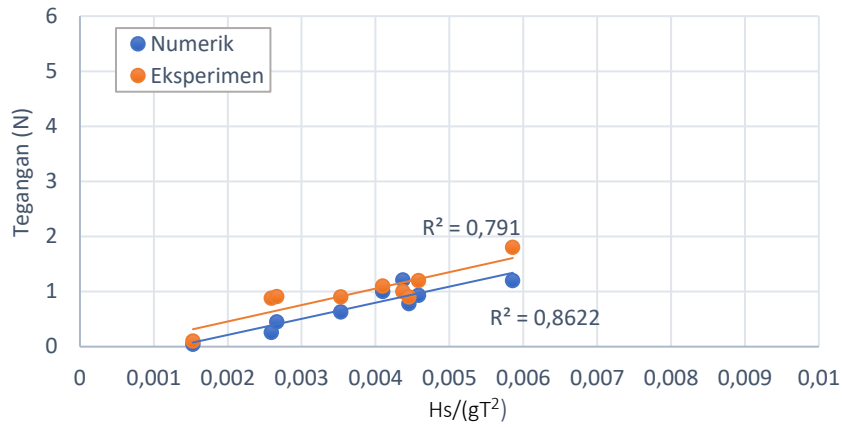
Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	25,516	-43	30	3	-4
2	30	-25,516	-43	30	-3	-4
3	-30	25,516	-43	-30	3	-4
4	-30	-25,516	-43	-30	-3	-4

Tabel 4. 12 Posisi pemasangan *mooring line* ; $\theta = 60^\circ, d = 45\text{cm}$

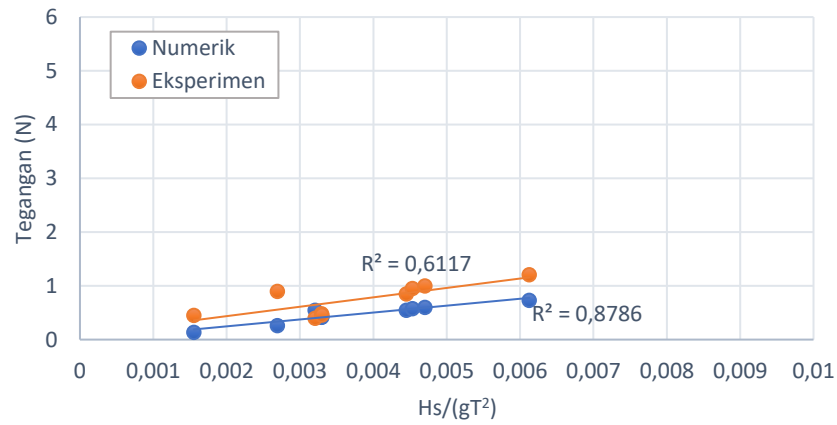
Cable	Anchor			Fairlead		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	26,671	-45	30	3	-4
2	30	-26,671	-45	30	-3	-4
3	-30	26,671	-45	-30	3	-4
4	-30	-26,671	-45	-30	-3	-4

4.8 Analisis Hasil Tegangan dari Simulasi CFD pada *Floating Breakwater*

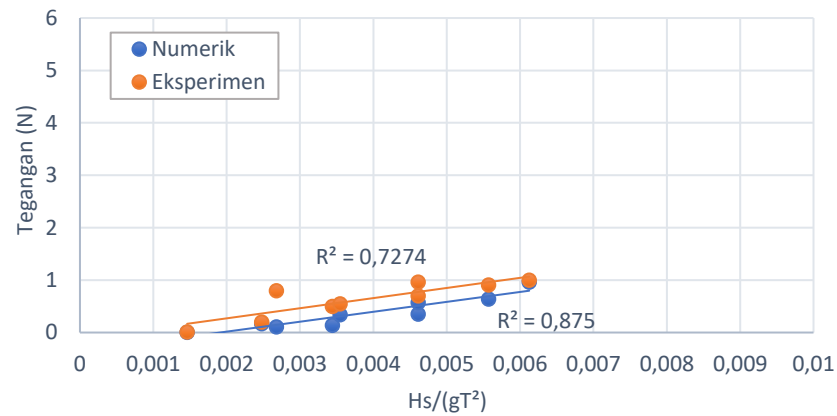
Setelah pemodelan *floating breakwater* pada kondisi tertambat dibuat, maka selanjutnya penulis melakukan simulasi pada software ANSYS AQWA. Berikut hasil tegangan dari simulasi CFD pada gergaji yang telah dilakukan validasi menggunakan hasil uji eksperimen. Untuk hasil tegangan ponton terdapat pada lampiran.



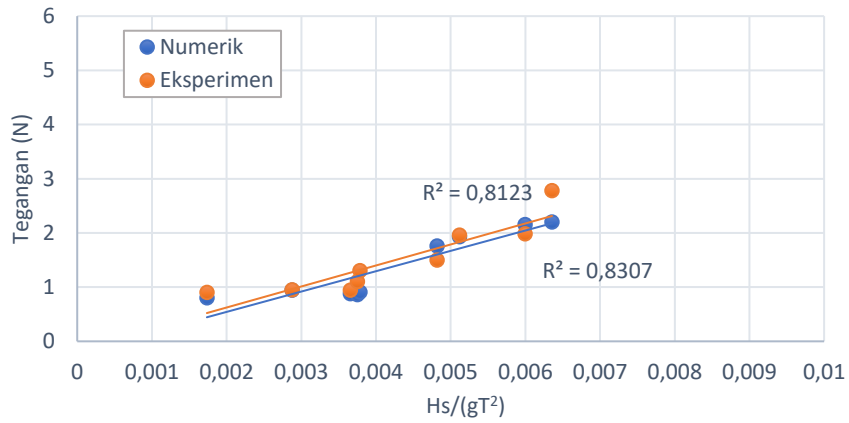
Gambar 4. 12 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 41\text{ cm}$, $\theta = 30^\circ$



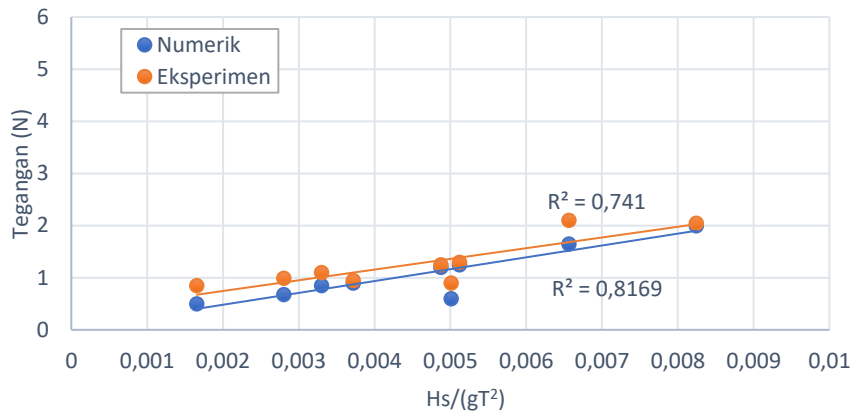
Gambar 4. 13 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 41\text{ cm}$, $\theta = 45^\circ$



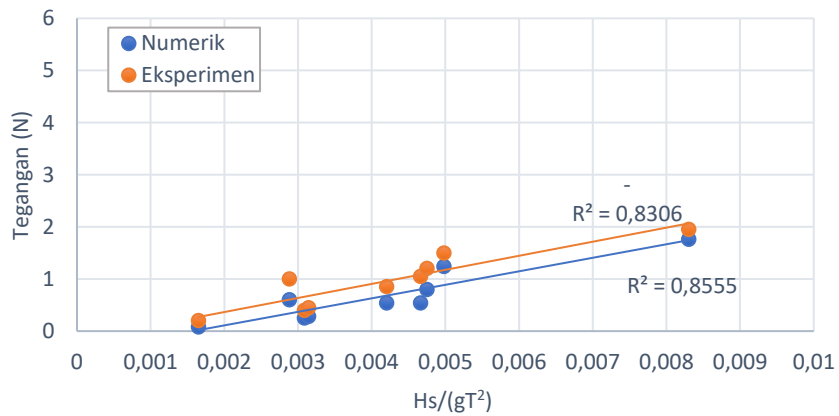
Gambar 4. 14 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 41\text{ cm}$, $\theta = 60^\circ$



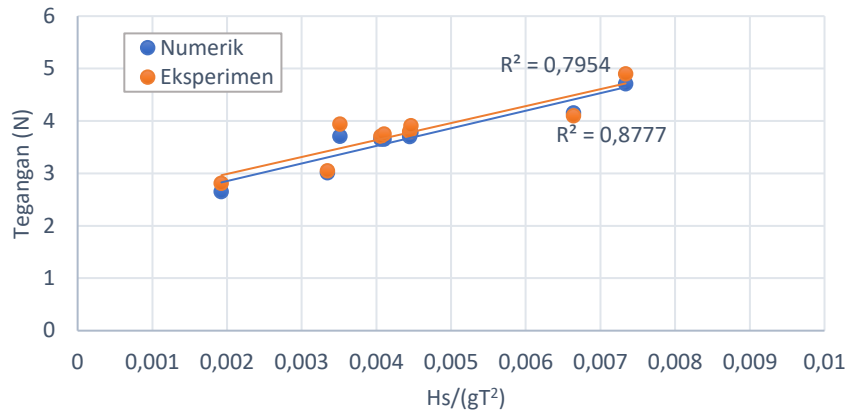
Gambar 4. 15 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 43cm, \theta = 30^\circ$



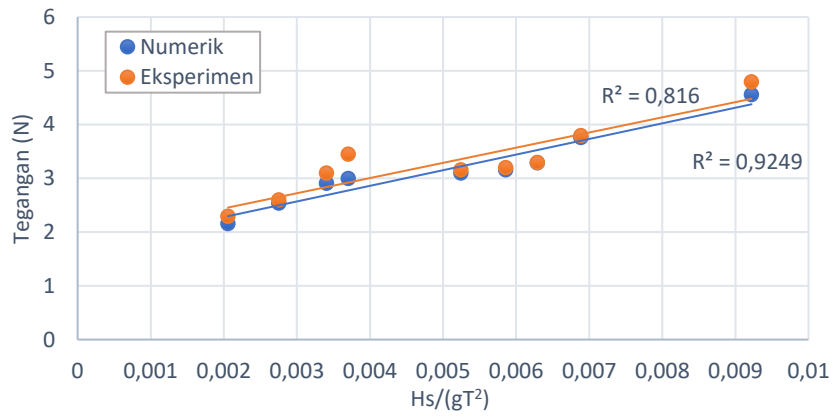
Gambar 4. 16 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 43cm, \theta = 45^\circ$



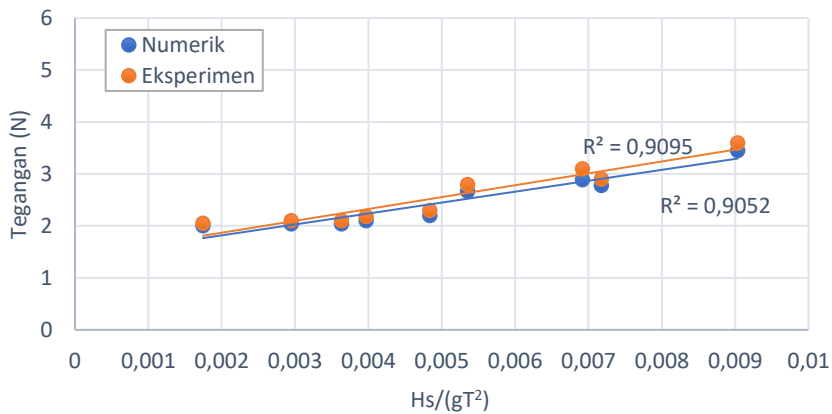
Gambar 4. 17 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 43cm, \theta = 60^\circ$



Gambar 4. 18 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 45\text{cm}$, $\theta = 30^\circ$



Gambar 4. 19 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 45\text{cm}$, $\theta = 45^\circ$



Gambar 4. 20 Tegangan *mooring* pada FB gergaji ; $d = 45\text{cm}$, $\theta = 60^\circ$

Gambar grafik 4.12 sampai 4.20 merupakan grafik perbandingan hasil tegangan *mooring* yang telah dilakukan penulis dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Penulis melakukan Analisa secara numerik menggunakan bantuan software ANSYS AQWA sedangkan pengujian secara eksperimen dilakukan di laboratorium Flume Tank, Departemen Teknik Kelautan FTK ITS Surabaya. Dalam setiap grafiknya dijelaskan bahwa pada setiap grafik terdapat dua tipe floating breakwater yang telah dianalisa yaitu tipe gergaji dan tipe ponton. Di setiap grafiknya, sumbu x merupakan perbandingan antara nilai Hs dengan gT^2 yang bisa juga disebut *wave steepness*, dan sumbu y merupakan tegangan mooring dengan satuan Newton (N). Dari grafik di atas terdapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang menandakan bahwa hasil pengakaran tersebut (R) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara wave steepness dan tegangan mooring adalah R. Nilai korelasi dapat dikatakan sangat kuat apabila mendekati 1.

Untuk mengetahui apakah data hasil dari simulasi numerik tersebut sudah baik, maka perlu dilakukan perhitungan RMSE (Root Main Square Error). Nilai RMSE yang kecil menunjukkan bahwa data yang diperoleh semakin baik. Berikut rumus RMSE yang digunakan penulis untuk melakukan perhitungan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_t - Y_{t+1})^2}{n}}$$

Tabel 4.13 Ketentuan RMSE (Awalia, 2014)

RMSE	Tingkat Kesalahan
0,00 - 0,299	Kecil
0,30 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,899	Besar
> 0,9	Sangat Besar

Dengan rumus RMSE diatas, maka hasil perhitungan RMSE untuk *floating breakwater* tipe gergaji adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14. Nilai RMSE tegangan *mooring* pada *floating breakwater* tipe gergaji

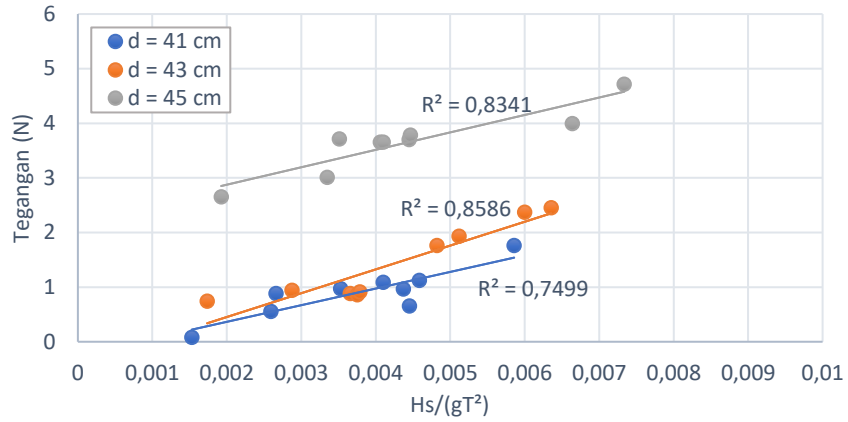
No	Elevasi Muka Air (cm)	Sudut Mooring	RMSE
1	41	30°	0,14
2		45°	0,34
3		60°	0,33
4	43	30°	0,25
5		45°	0,22
6		60°	0,10
7	45	30°	0,14
8		45°	0,19
9		60°	0,12

Berdasarkan pada ketentuan RMSE tersebut, maka pada saat elevasi muka air 41 cm dan sudut *mooring* 43° termasuk pada tingkat kesalahan kecil karena nilainya 0,14. Sedangkan pada elevasi muka air 41 cm dan sudut *mooring* 45° maupun 60° termasuk tingkat kesalahan sedang karena nilai RMSE sebesar 0,34 dan 0,33. Sedangkan pada elevasi muka air 43 cm dan 45 cm pada semua variasi sudut *mooring*, tingkat kesalahan termasuk kecil karena semuanya bernilai antara 0,00 – 0,299.

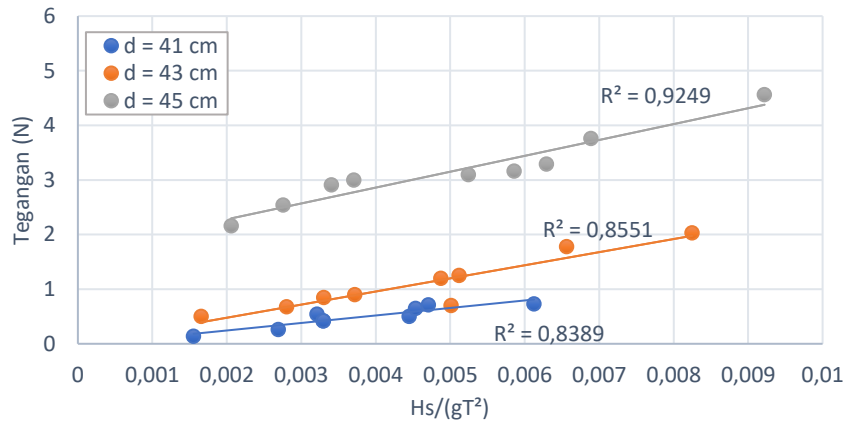
4.8.1. Variasi Elevasi Muka Air (d)

Data yang didapatkan setelah melakukan pemodelan numeris menggunakan software ANSYS AQWA pada *floating breakwater* tipe gergaji dengan skenario uji yang berupa variasi elevasi muka air (d) menghasilkan nilai tegangan *mooring* yang bervariasi. Dari data yang didapat tersebut menunjukkan bahwa elevasi muka air (d) berpengaruh terhadap tegangan *mooring*. Grafik perbandingan hubungan tegangan *mooring* dan wave steepness terhadap variasi elevasi muka air dari *floating breakwater* tipe gergaji ditunjukkan pada Gambar 4.21. Pada setiap grafik di bawah ini menunjukkan 3 macam variasi elevasi muka air (d), yakni 41 cm, 43 cm, dan 45 cm.

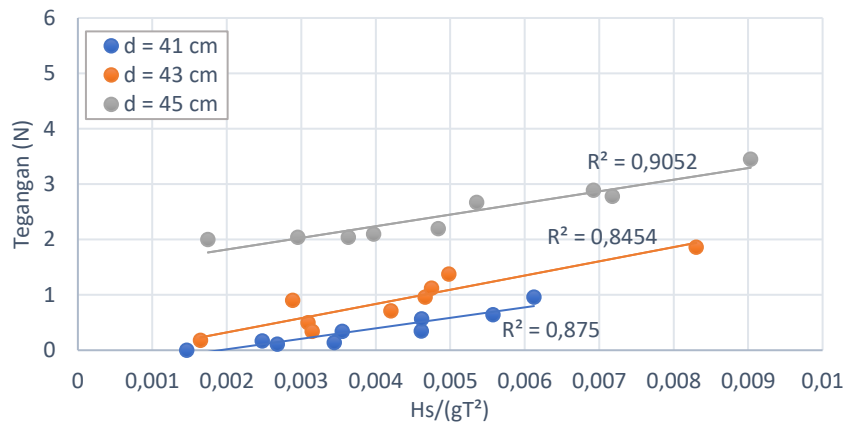
- $\theta = 30^\circ$



- $\theta = 45^\circ$



- $\theta = 60^\circ$



Gambar 4. 21 Hubungan tegangan *mooring* dan wave steepness dengan variasi *d*

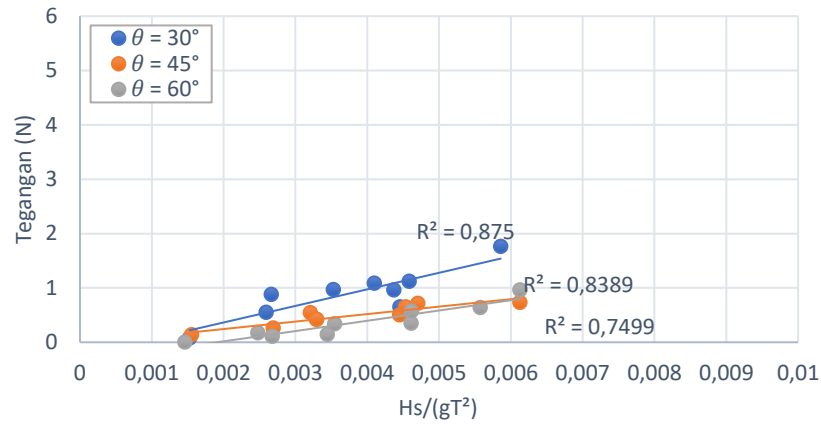
Pada gambar 4.21 terdapat 3 grafik yang menunjukkan hubungan tegangan *mooring* dan wave steepness dengan variasi elevasi muka air (d). Pada setiap grafiknya terdapat 3 variasi elevasi muka air yaitu sebesar 41 cm, 43 cm, dan 45 cm. Di setiap grafiknya, sumbu x merupakan perbandingan antara nilai H_s dengan gT^2 yang bisa juga disebut *wave steepness*, dan sumbu y merupakan tegangan *mooring* dengan satuan Newton (N). Dari grafik di atas terdapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang menandakan bahwa hasil pengakaran tersebut (R) merupakan hasil korelasinya. Artinya keeratan korelasi antara wave steepness dan tegangan *mooring* adalah R . Nilai korelasi dapat dikatakan sangat kuat apabila mendekati 1.

Dari ketiga gambar hasil simulasi numeris pada *floating breakwater* tipe gergaji diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan *mooring* terbesar terjadi pada elevasi muka air 45 cm. Besarnya tegangan tali berturut-turut pada sudut 30, 45 dan 60 adalah 4,71 N, 4,56 N, dan 3,45 N. Sedangkan pada elevasi muka air 41 cm mempunyai tegangan terbesar berturut-turut pada sudut 30, 45 dan 60 yaitu 1,76 N, 0,96 N dan 0,73 N. Dan untuk elevasi muka air 41 cm nilai tegangan terbesar berturut-turut pada sudut 30, 45 dan 60 adalah 2,45 N, 2,03 N, dan 0,86 N. Sebagai pembandingnya, simulasi juga dilakukan pada *floating breakwater* tipe ponton yang mana grafiknya terdapat pada lampiran. Dari gambar 4.21 dapat disimpulkan bahwa wave steepnes ($H_s/(gT^2)$) dan elevasi muka air berbanding lurus dengan kenaikan tengangan *mooring* yang artinya semakin tinggi elevasi muka air maka tegangan akan semakin besar dan semakin besar nilai wave steepness maka tegangan tali juga akan semakin besar.

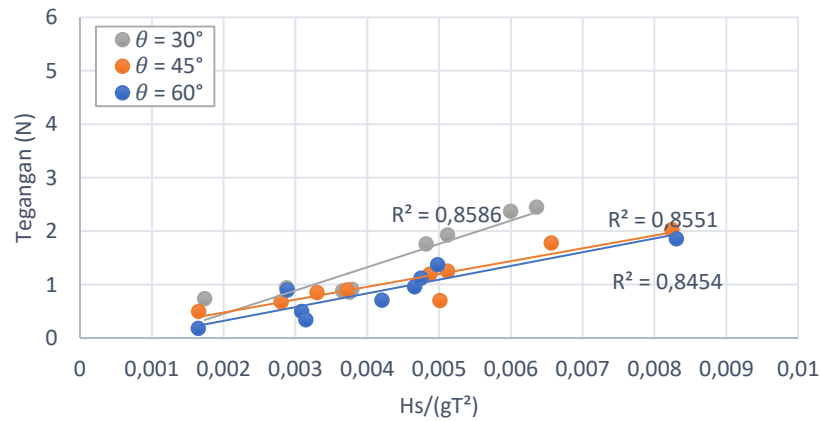
4.8.2. Variasi Sudut *Mooring* (θ)

Berdasarkan hasil simulasi numeris *floating breakwater* yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa variasi sudut *mooring* berpengaruh terhadap besar tegangan tali. Hasil dari simulasi numeris pada floating tipe gergaji ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

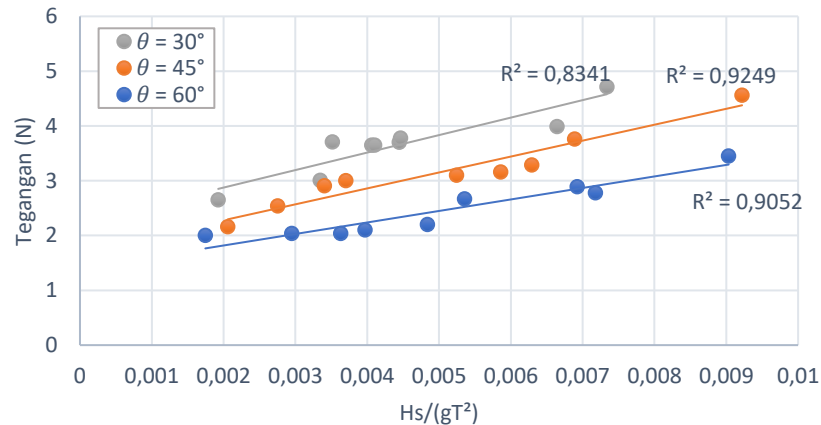
d = 41



• d = 43 cm



• d = 45 cm



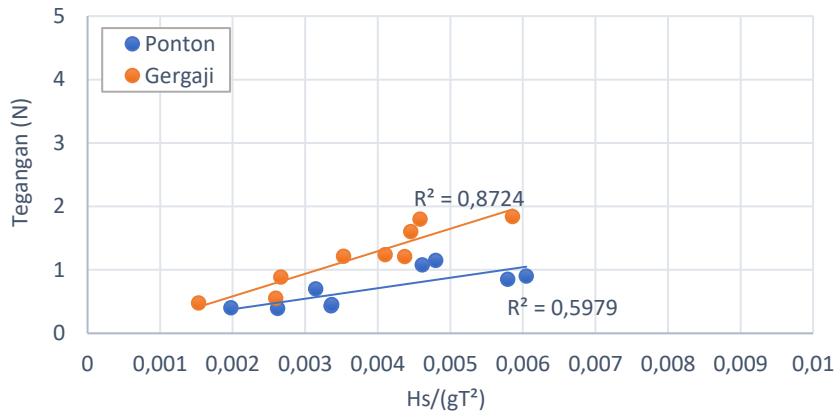
Gambar 4. 22 Hubungan tegangan *mooring* dan wave steepness dengan variasi θ

Berdasarkan grafik hasil simulasi numeris *floating breakwater* tipe gergaji pada variasi sudut *mooring* yang ditunjukkan pada gambar 4.21, dapat diketahui bahwa

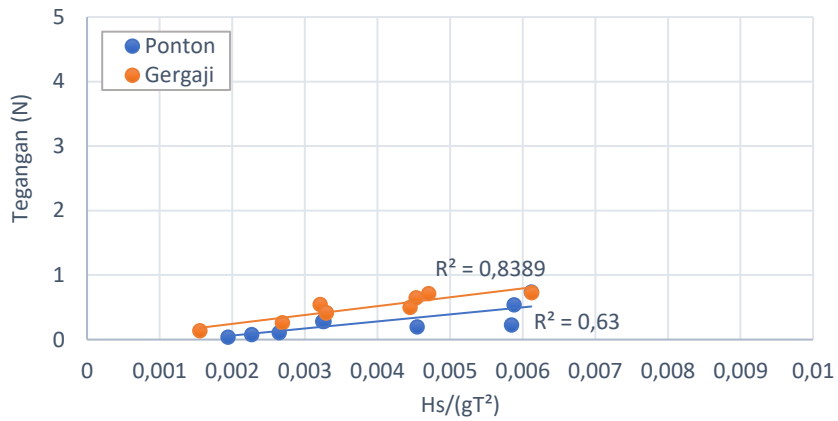
tegangan *mooring* terbesar terjadi pada saat sudut 30°. Nilai tegangan tali terbesar pada sudut 30° berturut-turut pada elevasi 41 cm, 43 cm dan 45 cm adalah 1,76 N, 2,45 N, dan 4,71 N. Untuk sudut *mooring* 45° nilai tegangan terbesar berturut-turut pada elevasi 41 cm, 43 cm dan 45 cm adalah 1,21N, 2,03 N, dan 4,56 N. Sedangkan untuk sudut *mooring* 60° tegangan terbesar berturut-turut pada elevasi 41 cm, 43 cm dan 45 cm adalah 0,96 N, 2,46 N, dan 3,45 N. Dari gambar 4.22 dapat disimpulkan bahwa besar tegangan *mooring* berbanding terbalik dengan sudut *mooring* yang artinya semakin besar sudut *mooring* maka nilai tegangan *mooring* akan semakin kecil.

4.8.3. Perbandingan Hasil Tegangan pada Ponton dan Gergaji

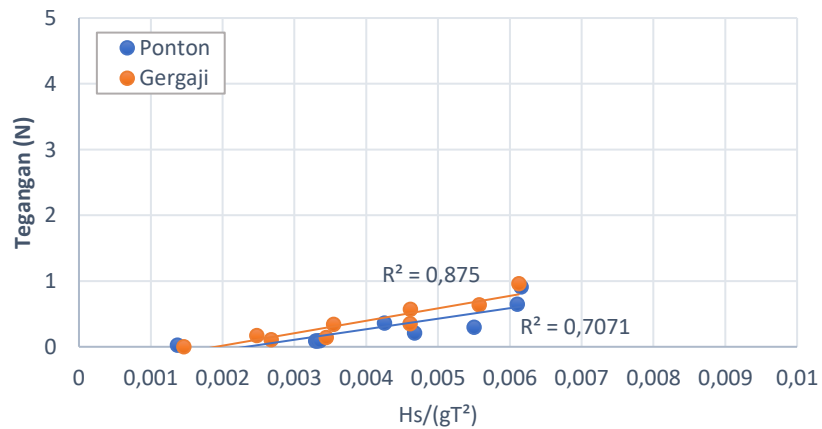
Simulasi numerik model *floating breakwater* dengan menggunakan software *ANSYS AQWA* dilakukan pada dua tipe *floating breakwater* yakni tipe gergaji dan tipe ponton sebagai pembanding. Tujuan dari simulasi kedua tipe *floating breakwater* ini adalah untuk mengetahui bagaimana perbandingan antara kedua tipe *floating breakwater* dan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan tegangan pada keduanya. Dari hasil simulasi kedua tipe *floating breakwater* tersebut didapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan tegangan pada setiap skenario simulasi. Grafik perbandingan hubungan nilai tegangan *mooring* dan H_s/gT^2 pada setiap skenario dari *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe pontoon, ditunjukkan pada Gambar 4.23 hingga Gambar 4.31. Pada grafik di bawah ini sumbu x berupa nilai perbandingan antara H_s dan gT^2 dan nilai y adalah nilai tegangan *mooring* dengan satuan newton (N). Pada setiap grafik menunjukkan membandingkan kedua tipe *floating breakwater* pada setiap skenario simulasi.



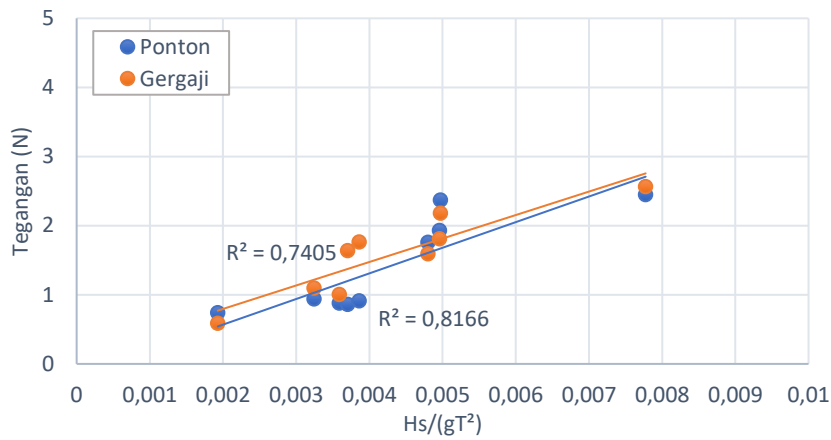
Gambar 4. 23 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 41 \text{ cm}$ dan $\theta = 30^\circ$



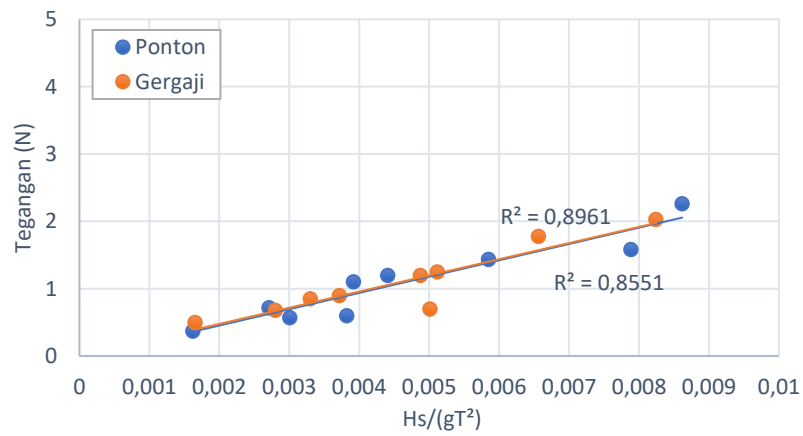
Gambar 4. 24 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 41 \text{ cm}$ dan $\theta = 45^\circ$



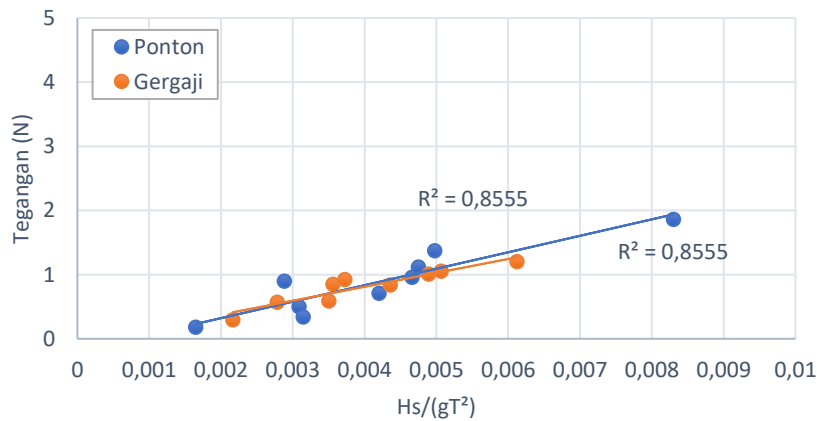
Gambar 4. 25 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 41 \text{ cm}$ dan $\theta = 60^\circ$



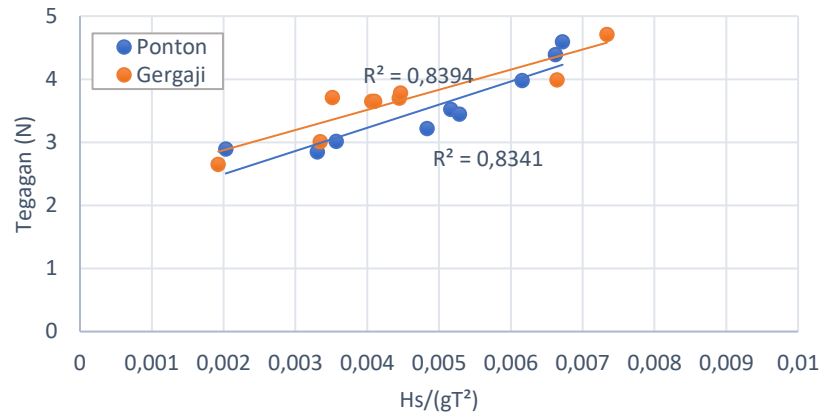
Gambar 4. 26 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 43 \text{ cm}$ dan $\theta = 30^\circ$



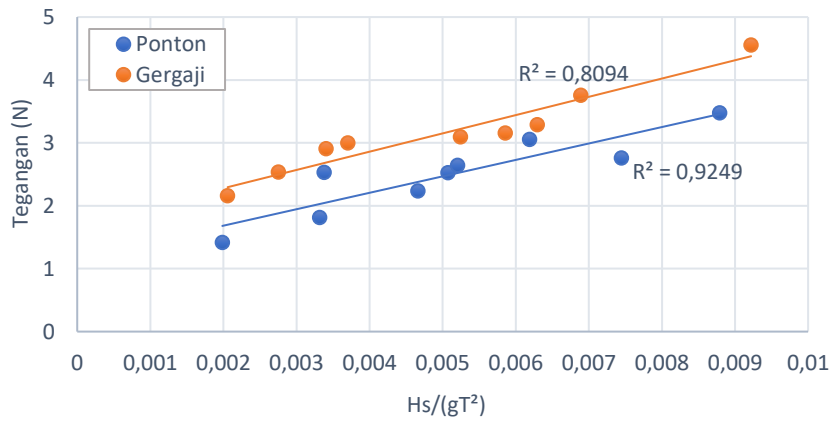
Gambar 4. 27 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 43 \text{ cm}$ dan $\theta = 45^\circ$



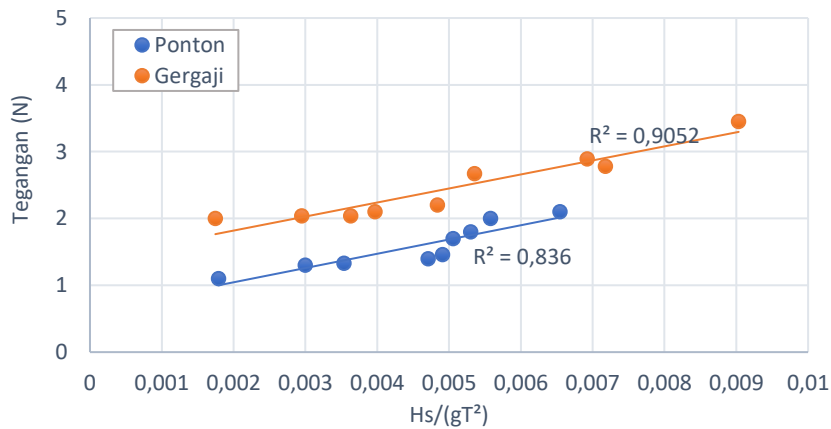
Gambar 4. 28 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 43 \text{ cm}$ dan $\theta = 60^\circ$



Gambar 4. 29 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 45 \text{ cm}$ dan $\theta = 30^\circ$



Gambar 4. 30 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 45 \text{ cm}$ dan $\theta = 45^\circ$



Gambar 4. 31 Perbandingan tegangan *mooring* pada $d = 45 \text{ cm}$ dan $\theta = 60^\circ$

Berdasarkan gambar 4.22 hingga 4.31, didapatkan bahwa tegangan *mooring* pada *floating breakwater* tipe gergaji selalu lebih besar jika dibandingkan dengan *floating breakwater* tipe ponton. Dengan membandingkan garis regresi linear *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe ponton pada setiap grafik tersebut, didapatkan persentase perbedaan tegangannya seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Perbedaan tegangan antara *floating breakwater* gergaji dan ponton

No	Elevasi Muka Air (cm)	Sudut Mooring	Rata-Rata Tegangan		Perbedaan Tegangan (%)
			Ponton	Gergaji	
1	41	30°	0,83	0,90	6,89
2		45°	0,44	0,49	8,85
3		60°	0,35	0,36	5,10
4	43	30°	1,43	1,58	9,49
5		45°	1,09	1,10	0,39
6		60°	0,82	0,88	7,65
7	45	30°	3,54	3,65	2,92
8		45°	2,69	2,94	8,54
9		60°	1,63	1,79	8,98

Pada elevasi muka air 41 cm, perbedaan tegangan terkecil terjadi pada sudut 60° sebesar 5,10% dan perbedaan terbesar terjadi pada sudut 45° yaitu sebesar 8,85%. Sementara pada sudut 30° perbedaan tegangan yang terjadi sebesar 6,89%. Pada elevasi muka air 43 cm, perbedaan tegangan terkecil terjadi pada sudut 45° sebesar 0,39 % dan perbedaan terbesar terjadi pada sudut 30° yaitu sebesar 9,49%. Sementara pada sudut 60° perbedaan tegangan yang terjadi sebesar 7,65%. Pada elevasi muka air 45 cm, perbedaan tegangan terkecil terjadi pada sudut 30° sebesar 2,92% dan perbedaan terbesar terjadi pada sudut 60° yaitu sebesar 33,86%. Sementara pada sudut 45° perbedaan tegangan yang terjadi sebesar 15,03%.

4.9 Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis maka didapatkan hasil sebagai berikut:

4.9.1. Response Amplitude Operator (RAO) pada floating breakwater

Nilai RAO *floating breakwater* baik tipe gergaji maupun tipe ponton pada gerak translasi yang terbesar terjadi pada gerakan *sway* dan *heave*, sedangkan untuk gerak rotasi nilai RAO terbesar terjadi pada gerajan roll. Untuk moda gerak *surge*, *pitch*, dan *yaw*, nilai RAO mendekati nol sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap struktur. Selain itu, pada nilai RAO *floating breakwater* tipe gergaji lebih besar daripada tipe ponton. Hal itu karena *floating breakwater* tipe gergaji mempunyai luas permukaan yang lebih besar sehingga respon gerakan lebih besar dibandingkan dengan tipe ponton.

4.9.2. Kalibrasi hasil simulasi tegangan mooring

Kalibrasi nilai tegangan mooring hasil simulasi numerik dilakukan dengan data hasil uji eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk mengetahui apakah data hasil dari simulasi numerik tersebut sudah baik, maka perlu dilakukan perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) antara kedua data tegangan. RMSE yang kecil menunjukkan bahwa data semakin baik. Pada perhitungan RMSE yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai RMSE bervariasi, namun masih tetap dalam rentang tingkat kesalahan kecil dan sedang (RMSE : 0,1 – 0,34)

4.9.3. Tegangan mooring maksimum yang terjadi pada floating breakwater

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis, tegangan *mooring* pada *floating breakwater* tipe gergaji selalu lebih besar jika dibandingkan dengan *floating breakwater* tipe ponton. Hal tersebut bisa disebabkan karena permukaan *floating breakwater* tipe gergaji yang terkena gelombang tidak rata dan juga karena luas permukaan tipe gergaji lebih besar daripada ponton sehingga menyebabkan gaya drag lebih besar. Sedangkan dalam efektifitasnya untuk meredam gelombang, *floating breakwater* tipe gergaji lebih efektif daripada tipe ponton. Hal tersebut karena pada *floating breakwater* tipe gergaji memiliki nilai koefisien transmisi yang lebih kecil. Nilai koefisien transmisi *floating breakwater* tipe gergaji yang cenderung lebih kecil daripada tipe ponton menunjukkan bahwa tipe gergaji lebih besar dalam meredam energi gelombang daripada tipe ponton.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil dari simulasi RAO pada kedua tipe *floating breakwater* pada sudut datang gelombang 90° (gelombang sisi) adalah :
 - a. Moda gerak *surge*, *pitch* dan *yaw* tidak terpengaruh terhadap gelombang sisi (sudut 90°) sehingga nilai RAO sangat kecil dan hampir mendekati 0.
 - RAO gerakan *surge* pada ponton, memiliki nilai terbesar 0,043 cm/cm pada frekuensi rendah yaitu 0,01 rad/s. Pada frekuensi yang sama juga terjadi RAO terbesar pada gergaji dengan nilai 0,201 cm/cm.
 - Respon maksimum untuk gerak *pitch* pada ponton bernilai 0,05 deg/cm sedangkan untuk gergaji nilai respon maksimumnya 0,15 deg/cm.
 - Pada moda gerak *yaw*, untuk *floating breakwater* tipe ponton, RAO maksimum sebesar 0,07 deg/cm terjadi pada frekuensi 0,01 sedangkan untuk gergaji RAO tertinggi bernilai 0,09 pada frekuensi yang sama.
 - b. Pada moda gerak *sway*, RAO maksimum berada pada frekuensi rendah. Untuk sudut datang gelombang 90° , RAO tertinggi pada ponton bernilai 0,79 cm/cm. Pada frekuensi yang sama juga terjadi RAO maksimum untuk *floating breakwater* tipe gergaji yaitu sebesar 0,98 cm/cm.
 - c. Untuk gerakan *heave*, RAO kedua tipe *floating breakwater* bernilai 1,11 cm/cm dan 1,13 cm/cm dan secara bertahap naik secara gradual. menuju ke daerah resonansi pada frekuensi alami sebesar 0,436 rad/s. RAO maksimum gerakan *heave* terbesar pada ponton bernilai 2,45 cm/cm sedangkan untuk gergaji mempunyai RAO yang lebih besar sebesar 2,85 cm/cm.

- d. Pada gerakan *roll*, Frekuensi alami gerakan *roll* sebesar 0,43 rad/s. Nilai dari respon tertinggi gerakan *roll* pada ponton sebesar 9,64 deg/cm dan pada gergaji sebesar 11,86 deg/cm.
2. Hasil kalibrasi tegangan *mooring* antara simulasi numerik dengan hasil uji eksperimen yang telah ada pada *floating breakwater* tipe gergaji adalah :
- Nilai RMSE bervariasi, namun masih tetap dalam rentang tingkat kesalahan kecil dan sedang (RMSE : 0,1 – 0,34).
 - RMSE terkecil terjadi pada saat elevasi muka air 43 cm dengan sudut *mooring* 60° yaitu bernilai 0,1 dan termasuk dalam tingkat kesalahan kecil.
 - RMSE terbesar terjadi pada saat elevasi muka air 41 cm dan sudut *mooring* 45° yaitu bernilai 0,34 dan termasuk dalam tingkat kesalahan sedang.
3. Nilai tegangan maksimum yang didapat pada variasi elevasi muka air dan sudut *mooring* adalah sebagai berikut :
- Semakin tinggi elevasi muka air maka tegangan akan semakin besar dan semakin besar nilai wave steepness maka tegangan tali juga akan semakin besar.
 - Pada *floating breakwater* tipe gergaji tegangan *mooring* terbesar terjadi pada elevasi muka air 45 cm. Besarnya tegangan tali berturut-turut pada elevasi 45 cm dan sudut 30°, 45° dan 60° adalah 4,71 N, 4,56 N, dan 3,45 N.
 - Besar tegangan *mooring* berbanding terbalik dengan sudut *mooring* yang artinya semakin kecil sudut *mooring* maka nilai tegangan *mooring* akan semakin besar.
 - Tegangan *mooring* terbesar terjadi pada saat sudut 30°. Nilai tegangan tali terbesar pada sudut 30 berturut-turut pada elevasi 41 cm, 43 cm dan 45 cm adalah 1,76 N, 2,45 N, dan 4,71 N.
 - Antara *floating breakwater* tipe gergaji dan ponton memiliki perbedaan tegangan *mooring* antara 0,39% sampai 33,86%. Perbedaan tegangan terkecil pada saat elevasi muka air 43 cm dan sudut 45. Sedangkan perbedaan tegangan

mooring terbesar terjadi pada saat elevasi muka air 45 cm dan sudut *mooring* 60°.

5.2 Saran

Setelah dilakukan simulasi numerik pada *floating breakwater* tipe gergaji dan ponton menggunakan software ANSYS AQWA, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

- Memvariasikan konfigurasi bentuk sistem tambat dari model *floating breakwater*.
- Memvariasikan konfigurasi system tambat
- Simulasi dilakukan dengan menggunakan software yang lain seperti MOSES dan ORCAFLEX
- Memvariasikan nilai stiffness pada tali

DAFTAR PUSTAKA

- Atmajayani, R. D. 2018. Implementasi Penggunaan Aplikasi AutoCAD dalam Meningkatkan Kompetensi Dasar Menggambar teknik bagi Masyarakat. *Jurnal Riset dan Konseptual* Vol. 3 No. 2.
- Ali, M.F. 2019. *Uji Model Fisik Tegangan Mooring pada Floating breakwater Tipe Gergaji Berpori*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.
- Bhattacharyya. 1972. *Dynamic of Marine Vehicles*. a Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons. New York.
- Biesheuvel, A. C. 2013. *Effectiveness of Floating breakwaters*. Delft University of Technology.
- Djatkiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press
- Dong, G. H. 2008. Experiments on wave transmission coefficient of *floating breakwater* . *Ocean Engineering* 35. 931–938.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads On Ships And Offshore Structures*. United Kingdom : Cambridge University Press.
- Fousert, M. W. 2006. *Floating breakwater : a Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System*, Section of Hydraulic Engineering. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology. Netherland.
- Hales, L. Z., 1981. *Floating breakwater s State of The Art Literature Review*. Mississippi : Waterway Experiment Station, Corps of Engineer.
- Hasselmann, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Mller, D. J. Olbers, K. Richter, W. Sell, dan H. Walden. 1973. *Measurements of Wind Waves Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg: Deutsches Hydrograph Institut.

- Manan, M.H. 2017. Desain *Mooring* Pada Struktur *Floating breakwater* Dengan Konfigurasi Taut *Mooring System*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS
- Kim, C. G., H. S. Kim, T. H. Kim, dan C. I. Baik. 2001. “Monitoring of Fish Reef Installed in Kojé Coastal Waters”. *Ocean and Polar Research*, Vol 23 (3): 305-310
- McCartney, B. FL. 1985. *Floating breakwater* Design, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. Vol. 111. No. 2.
- Pamungkas, Y. P. 2018. Analisis Refleksi Gelombang pada Model Fisik Hexagonal *Floating breakwater*. Surabaya: Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan ITS Surabaya
- PIANC. 1994. *Floatings Breakwater A Practical Guide for Design and Construction*. Report of Working Group No.13 of The Permanent. Technical Comitte II. Brussel. Belgium.
- Putra, Risnandi. D. 2011, Analisa Concrete Block Anchor Pada *Floating breakwater*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.
- Sannasiraj, S. A., V. Sundar, dan R. Sundaravadivelu. 1996. “*Mooring Forces and Motion Responses of Ponton-Type Floating breakwaters*”. *Journal of Ocean Engineering*, Vol. 25, No. 1, 27–48.
- Sujantoko et al. 2019. Rancang Bangun Pemecah Gelombang Berpori untuk Perlindungan Pantai yang Efisien dan Efektif. Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Falkutas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Tsinker, G. P. 1995. *Marine Structures Engineering: Specialized Application*. New York: An International Thomson Publishing Company.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN MASSA, VOLUME, DAN GAYA APUNG

LAMPIRAN B TABEL RAO

**LAMPIRAN C TABEL HASIL TEGANGAN *MOORING* PADA GERGAJI DAN
PONTON**

LAMPIRAN D GRAFIK TEGANGAN *MOORING* PADA PONTON

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN MASSA, VOLUME, DAN GAYA APUNG

1. Floating breakwater Tipe Gergaji

Dimensi Breakwater (Gergaji)			
Panjang	20 cm	T Gerigi	1 cm
Lebar	6 cm	L Gerigi	2 cm
Tinggi	6 cm	ρ Air laut	1 g/cm ³
Ketebalan dinding	1,2 cm		
ρ Beton K300	0,96 g/cm ³		

Dimensi Udara	
Panjang	17,6 cm
Lebar	3,6 cm
Tinggi	3,6 cm
ρ udara	0,0012 g/cm ³
Volume Udara	227,6136 cm ³

Volume Total Breakwater			
Volume Total	=	Volume alas dan tutup + Volume A2	
	=	552,372 m ³	
Massa Breakwater			
Massa Breakwater	=	(Vol breakwater x Massa Jenis HDPE) + (Vol udara x massa jenis udara)	
	=	530,5502563 g	

Gaya Apung			
FW	=	FB	
530,55	=	ρ air x Luas Alas x Draft	
530,55	=	1 x 130 x Draft	
Draft	=	4,08	cm
Freeboard	=	Tinggi - Draft	
	=	1,92	cm

2. Floating breakwater Tipe Ponton

Dimensi Brekwater (Ponton)	
Panjang	20 cm
Lebar	6 cm
Tinggi	6 cm
Ketebalan dinding	1,25 cm
ρ Beton K300	0,96 g/cm ³

Dimensi Udara	
Panjang	17,5 cm
Lebar	3,5 cm
Tinggi	3,5 cm
ρ udara	0,0012 g/cm ³
Volume Udara	214,375 cm ³

Massa Breakwater			
Massa Breakwater	=	(Vol x Massa Jenis Beton) + (Vol udara x Massa jenis udara)	
	=		485,65725 g

Gaya Apung			
FW	=	FB	
$\rho_{beton} \times V_{total}$	=	$\rho_{air\ laut} \times Luas\ Alas \times Draft$	
485,66	=	1 x (3x10) x Draft	
Draft	=	4,047	cm
Freeboard	=	Tinggi - Draft	
	=	1,953	cm

LAMPIRAN B

TABEL RESPON AMPLITUDE OPERATOR

Frekuensi	Surge		Sway		Heave	
	Ponton	Gergaji	Ponton	Gergaji	Ponton	Gergaji
0,010	0,043	0,201	0,790	0,981	1,111	1,113
0,139	0,002	0,158	0,027	0,714	1,081	1,045
0,268	0,014	0,139	0,015	0,253	1,382	1,795
0,436	0,021	0,128	0,020	0,157	2,457	2,855
0,565	0,000	0,070	0,006	0,032	0,593	0,483
0,654	0,002	0,009	0,001	0,011	0,298	0,470
0,783	0,000	0,060	0,004	0,009	0,164	0,439
0,911	0,000	0,113	0,013	0,003	0,095	0,212
1,040	0,000	0,030	0,036	0,007	0,056	0,215
1,169	0,001	0,002	0,106	0,013	0,033	0,046
1,298	0,000	0,013	0,023	0,002	0,021	0,034
1,426	0,000	0,066	0,011	0,004	0,012	0,039
1,555	0,000	0,039	0,006	0,002	0,008	0,036
1,684	0,000	0,060	0,002	0,008	0,005	0,019
1,813	0,000	0,001	0,018	0,018	0,004	0,010
1,941	0,000	0,007	0,005	0,001	0,002	0,021
2,070	0,000	0,012	0,003	0,002	0,001	0,017
2,199	0,000	0,021	0,002	0,003	0,001	0,024
2,328	0,000	0,000	0,005	0,066	0,000	0,001
2,456	0,000	0,017	0,002	0,007	0,000	0,032

Frekuensi	Roll		Pitch		Yaw	
	Ponton	Gergaji	Ponton	Gergaji	Ponton	Gergaji
0,010	2,928	3,247	0,032	0,044	0,076	0,092
0,139	2,672	2,304	0,040	0,058	0,003	0,076
0,268	2,371	3,214	0,051	0,150	0,001	0,056
0,436	9,641	11,896	0,013	0,074	0,001	0,052
0,565	0,804	0,863	0,004	0,021	0,001	0,024
0,654	0,073	0,249	0,002	0,023	0,001	0,009
0,783	0,125	0,565	0,000	0,008	0,001	0,003
0,911	0,236	0,544	0,000	0,007	0,001	0,004
1,040	0,583	0,111	0,000	0,066	0,001	0,006
1,169	0,147	0,038	0,000	0,004	0,003	0,002
1,298	0,236	0,121	0,000	0,047	0,000	0,002
1,426	0,035	0,136	0,000	0,016	0,000	0,007
1,555	0,097	0,071	0,000	0,052	0,000	0,005
1,684	0,215	0,646	0,000	0,042	0,000	0,008
1,813	0,500	0,040	0,000	0,000	0,000	0,002
1,941	0,043	0,197	0,000	0,045	0,000	0,004
2,070	0,088	0,046	0,000	0,049	0,000	0,003
2,199	0,111	0,048	0,000	0,018	0,000	0,006
2,328	0,088	0,130	0,000	0,000	0,000	0,001
2,456	0,045	0,081	0,000	0,006	0,000	0,022

LAMPIRAN C

TABEL HASIL TEGANGAN *MOORING* PADA GERGAJI DAN PONTON

1. Hasil Tegangan *Mooring* pada Gergaji

- Elevasi muka air laut 41 cm

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	60	3,768	1,622	0,01	0,00135
41	60	3,570	1,212	0,2	0,171
41	60	6,912	1,622	0,8	0,11
41	60	3,809	1,062	0,5	0,14
41	60	3,524	1,006	0,55	0,34
41	60	5,074	1,059	0,7	0,35
41	60	5,104	1,062	0,96	0,57
41	60	5,119	0,968	0,91	0,64
41	60	6,775	1,062	1	0,96
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	45	4,00599	1,6216	0,45	0,137
41	45	6,94317	1,6216	0,9	0,262
41	45	3,54999	1,0619	0,4	0,545
41	45	3,64321	1,0619	0,48	0,419
41	45	3,64701	1,0619	0,46	0,419
41	45	4,92144	1,0619	0,85	0,5
41	45	5,01659	1,0619	0,95	0,649
41	45	5,20432	1,0619	1	0,713
41	45	6,77638	1,0619	1,21	0,73
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	30	3,9443	1,6216	0,1	0,08
41	30	3,97345	1,25	0,88	0,55
41	30	6,8688	1,6216	0,91	0,878
41	30	3,90436	1,0619	0,9	0,97
41	30	5,05848	1,1215	1,1	1,087
41	30	4,83529	1,0619	1	0,96
41	30	3,78074	0,9302	0,9	0,65
41	30	5,07099	1,0619	1,2	1,12
41	30	6,48055	1,0619	1,8	1,76

- Elevasi muka air laut 43 cm

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	60	4,2277	1,6173	0,2	0,18
43	60	7,44151	1,6216	1	0,9
43	60	3,88376	1,1321	0,4	0,5
43	60	4,10753	1,1538	0,45	0,34
43	60	3,86227	0,9677	0,85	0,71
43	60	5,15666	1,0619	1,05	0,96
43	60	5,25407	1,0619	1,2	1,12
43	60	5,5085	1,0619	1,5	1,375
43	60	6,73192	0,9091	1,95	1,86
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	45	4,06365	0,9091	0,9	0,7
43	45	4,11472	1,0619	0,95	0,9
43	45	4,26793	1,6216	0,85	0,5
43	45	7,23297	1,6216	0,99	0,68
43	45	4,15036	1,1321	1,1	0,85
43	45	5,39341	1,0619	1,25	1,2
43	45	5,66339	1,0619	1,3	1,25
43	45	5,3216	0,9091	2,1	1,78
43	45	6,68448	0,9091	2,05	2,03
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	30	4,4781	1,6216	0,9	0,74
43	30	7,41796	1,6216	0,95	0,94
43	30	4,04812	1,0619	0,94	0,88
43	30	4,15253	1,0619	1,1	0,86
43	30	4,18694	1,0619	1,3	0,91
43	30	5,33232	1,0619	1,5	1,76
43	30	5,66403	1,0619	1,96	1,93
43	30	5,3079	0,9498	1,98	2,37
43	30	7,03199	1,0619	2,78	2,45

- Ekevasi muka air laut 45 cm

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	60	4,26868	1,5789	2,05	2
45	60	7,2172	1,5789	2,1	2,04
45	60	4,01881	1,0619	2,1	2,04
45	60	3,89396	1	2,18	2,1
45	60	3,92218	0,9091	2,3	2,2
45	60	5,82133	1,0526	2,8	2,67
45	60	5,61207	0,9091	3,1	2,89
45	60	5,8192	0,9091	2,9	2,78
45	60	7,32409	0,9091	3,6	3,45
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	45	4,32216	1,4634	2,16	2,16
45	45	4,0512	1,2245	2,54	2,54
45	45	7,15135	1,4634	2,91	2,91
45	45	4,02527	1,0526	3	3
45	45	4,25078	0,9091	3,1	3,1
45	45	5,7466	1	3,16	3,16
45	45	5,51209	0,9449	3,29	3,29
45	45	5,58513	0,9091	3,76	3,76
45	45	7,14671	0,8889	4,56	4,56
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	30	4,04318	1,4634	2,81	2,65
45	30	4,05448	1,1111	3,05	3,01
45	30	7,03364	1,4286	3,94	3,71
45	30	3,98618	1	3,71	3,65
45	30	4,02446	1	3,75	3,65
45	30	5,3864	1,1111	3,8	3,7
45	30	5,40776	1,1111	3,91	3,78
45	30	5,38427	0,9091	4,1	3,99
45	30	7,19786	1	4,9	4,71

2. Hasil Tegangan Mooring pada Ponton

- Elevasi muka air laut 41 cm

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	60	3,53364	1,6216	0,15	0,023
41	60	3,64837	1,0619	0,2	0,09
41	60	3,67103	1,0619	0,2	0,09
41	60	3,71269	1,0619	0,3	0,095
41	60	4,70869	1,0619	0,5	0,36
41	60	5,17133	1,0619	0,4	0,209
41	60	5,22034	0,9836	0,45	0,3
41	60	6,19002	1,0169	0,8	0,65
41	60	6,80963	1,0619	1,2	0,91
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	45	3,71106	1,3953	0,1	0,109
41	45	3,54909	1,2632	0,2	0,160
41	45	6,82683	1,6216	0,25	0,240
41	45	3,59194	1,0619	0,4	0,384
41	45	3,61038	1,0619	0,4	0,384
41	45	5,02882	1,0619	0,5	0,45
41	45	6,46949	1,0619	0,52	0,68
41	45	4,99357	0,9302	0,8	0,64
41	45	5,19369	0,9302	1,2	0,94
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	30	4,15008	1,4634	0,5	0,40
41	30	6,7535	1,6216	0,4	0,39
41	30	3,48013	1,0619	1	0,91
41	30	3,7119	1,0619	0,45	0,53
41	30	3,70457	1,0591	0,5	0,65
41	30	5,10417	1,0619	1,25	1,08
41	30	5,30852	1,0619	1,5	1,15
41	30	5,32158	0,9677	1,3	1,15
41	30	6,65419	1,0591	1,5	1,24

- Elevasi muka air laut 43 cm

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	60	4,33468	1,4286	0,35	0,30
43	60	7,18479	1,6216	0,91	0,57
43	60	3,87636	1,0619	0,62	0,59
43	60	3,94086	1,0619	0,63	0,85
43	60	4,12291	1,0619	0,95	0,92
43	60	5,34796	1,1185	0,55	0,84
43	60	5,4113	1,0619	1,32	1,01
43	60	5,60414	1,0619	1,53	1,05
43	60	6,7756	1,0619	1,85	1,21
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	45	4,18172	1,6216	0,41	0,372
43	45	3,9906	1,2245	0,82	0,7175
43	45	7,35616	1,5789	0,6	0,573167
43	45	3,75219	1	0,7	0,6009
43	45	3,72023	0,9836	1,4	1,1015
43	45	5,41023	1,1185	1,3	1,2006
43	45	5,55173	0,9836	1,8	1,438
43	45	5,1547	0,8163	1,6	1,585
43	45	6,98682	0,9091	2,35	2,263
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	30	4,04999	1,4634	0,75	0,43
43	30	4,00298	1,1215	1,1	0,975
43	30	3,97181	1,0619	1,2	0,78
43	30	4,09792	1,0619	1,3	0,81
43	30	7,37513	1,3953	1,75	0,86
43	30	5,31044	1,0619	1,6	0,81
43	30	5,48747	1,0619	2,1	1,4
43	30	5,50224	1,0619	2,3	1,73
43	30	6,59971	0,9302	2,8	2,31

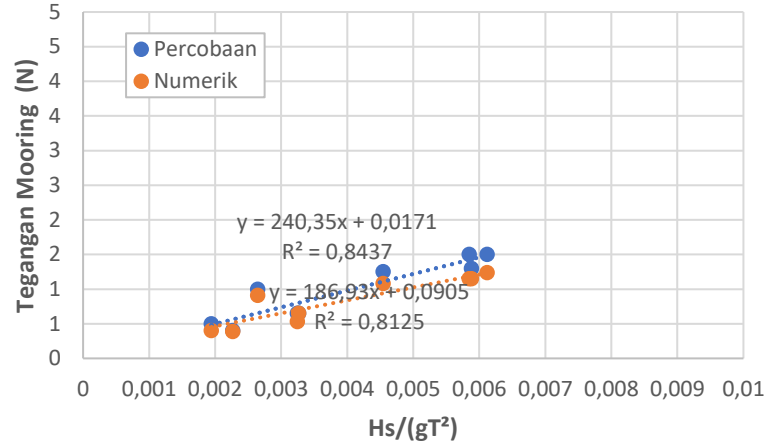
- Elevasi muka air laut 45 cm

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	60	4,37377	1,5789	1,52	2,89
45	60	4,15143	1,1881	1,71	2,84
45	60	7,43503	1,4634	1,41	3,01
45	60	5,20705	1,0619	1,38	3,21
45	60	3,97969	0,9091	1,42	3,52
45	60	4,09839	0,9091	1,87	3,44
45	60	5,76121	1,0526	2,11	3,98
45	60	5,47079	1	3,24	4,39
45	60	7,20192	1,0591	3,75	4,59
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	45	4,17002	1,4634	1,71	1,42
45	45	4,01623	1,1111	1,92	1,82
45	45	7,09713	1,4634	2,13	2,53
45	45	5,64642	1,1111	2,43	2,24
45	45	4,11345	0,9091	2,86	2,53
45	45	4,03322	0,8889	2,87	2,98
45	45	5,42228	0,9449	3,41	3,06
45	45	5,77113	0,8889	2,84	3,45
45	45	7,12849	0,9091	3,92	4,18
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	30	4,06556	1,4286	3,12	2,89
45	30	4,0029	1,1111	2,98	2,84
45	30	7,14034	1,4286	3,22	3,01
45	30	3,92047	0,9091	3,41	3,21
45	30	5,61098	1,0526	3,73	3,52
45	30	3,91979	0,8696	3,54	3,44
45	30	6,81106	1,0619	4,22	3,98
45	30	5,79986	0,9449	4,63	4,39
45	30	5,44881	0,9091	4,89	4,59

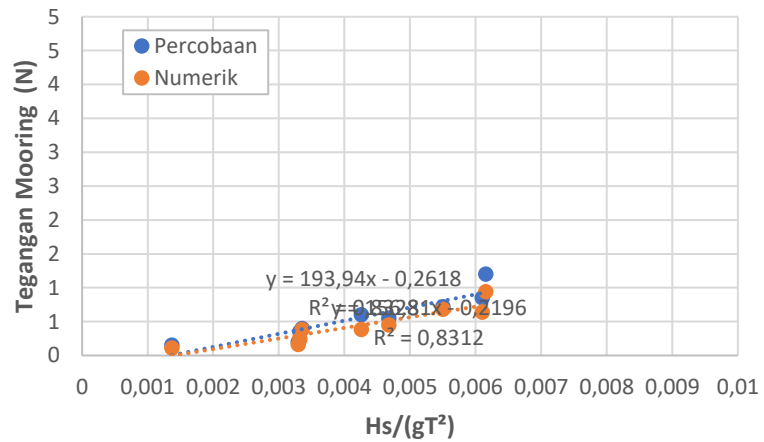
LAMPIRAN D

GRAFIK TEGANGAN MOORING PADA PONTON

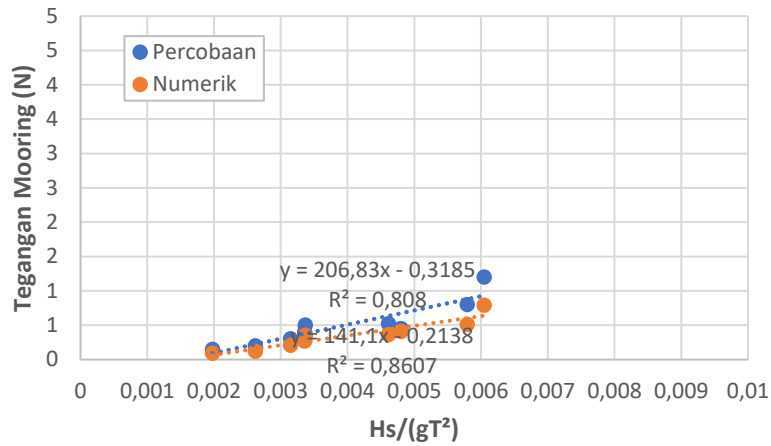
1. Grafik perbandingan hasil tegangan mooring ponton percobaan dan numerik



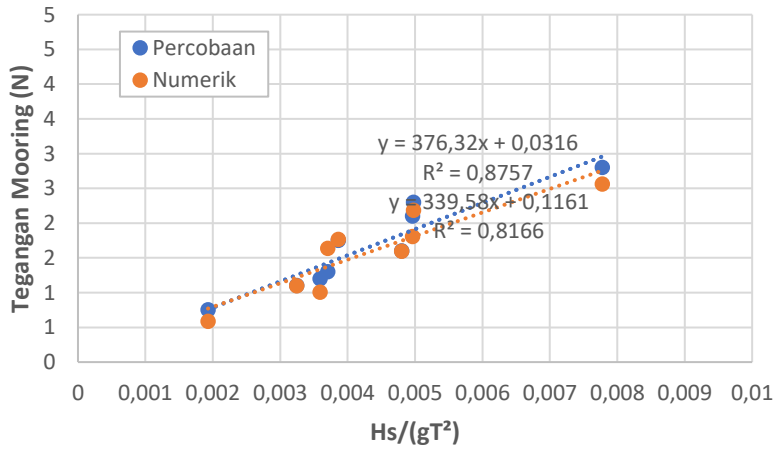
Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton : d = 41 cm, $\theta = 30^\circ$



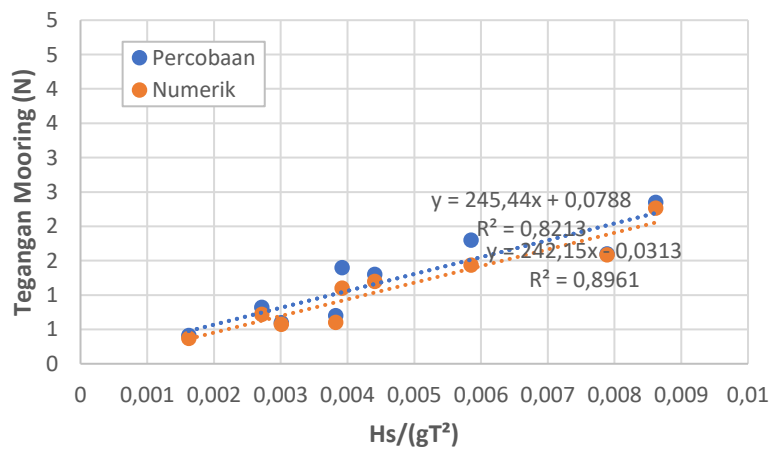
Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton : d = 41 cm, $\theta = 45^\circ$



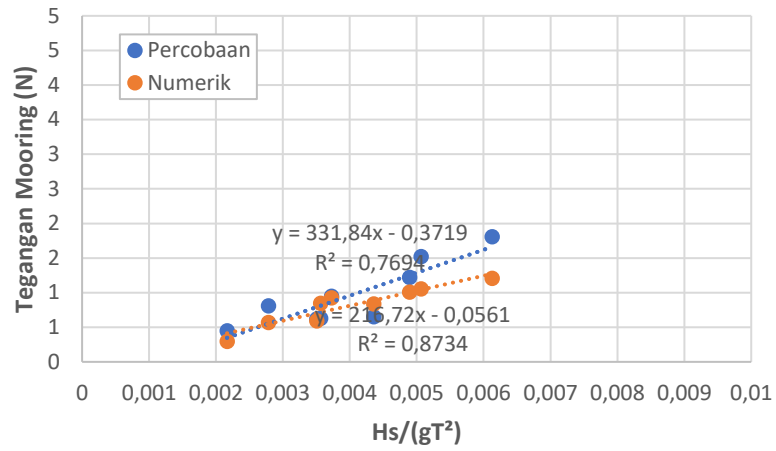
Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton : d = 41 cm, $\theta = 60^\circ$



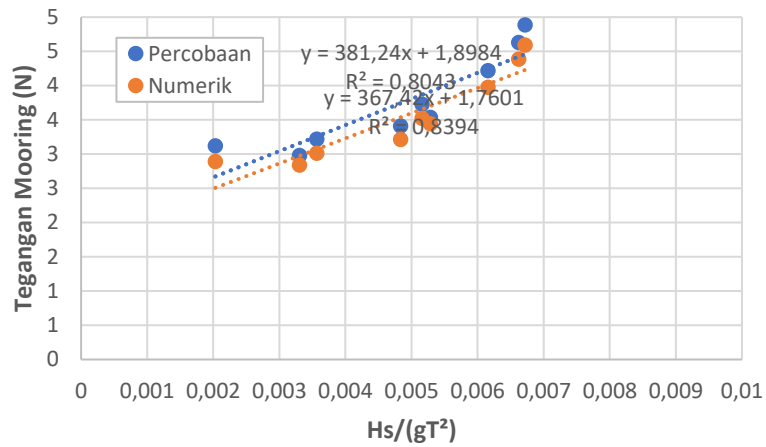
Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton : d = 43 cm, $\theta = 30^\circ$



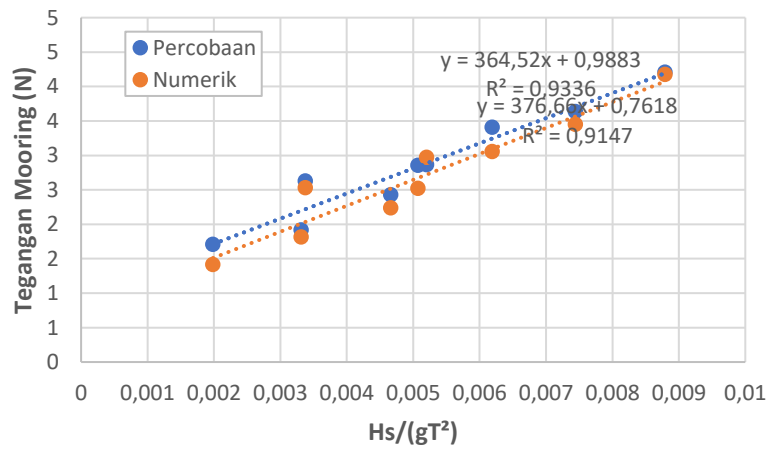
Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton : d = 43 cm, $\theta = 45^\circ$



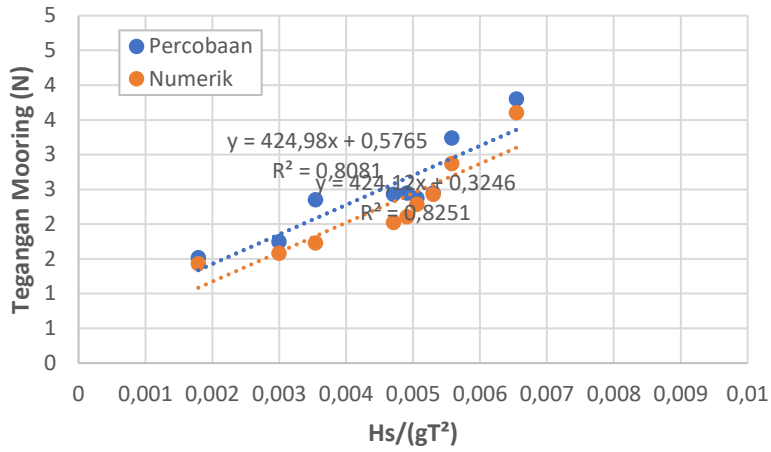
Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton : $d = 43 \text{ cm}$, $\theta = 60^\circ$



Grafik tegangan *mooring* FB tipe ponton: $d = 45 \text{ cm}$, $\theta = 30^\circ$

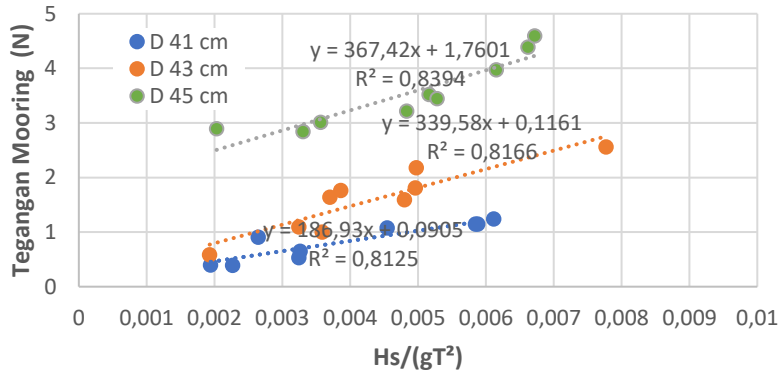


Grafik tegangan mooring FB tipe ponton : $d = 45 \text{ cm}$, $\theta = 45^\circ$

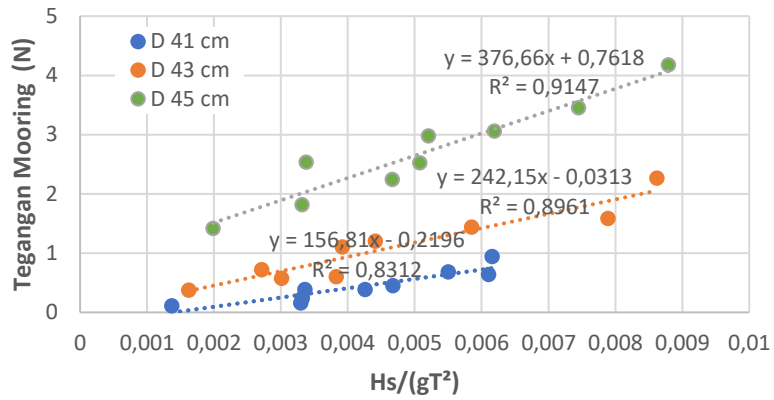


Grafik tegangan mooring FB tipe ponton : $d = 45 \text{ cm}$, $\theta = 60^\circ$

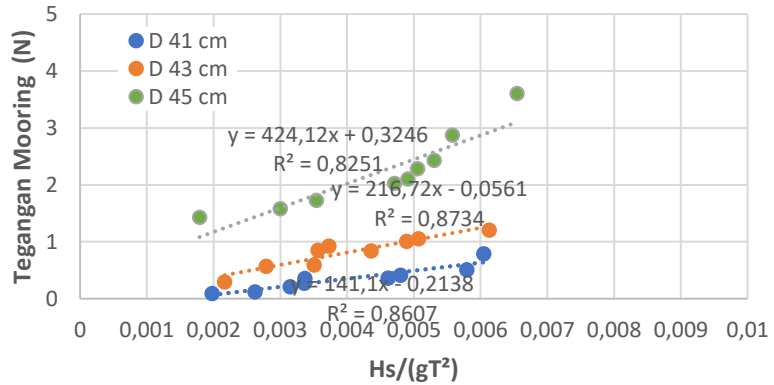
2. Grafik pengaruh elevasi muka air terhadap tegangan mooring ponton



Grafik tegangan tali tambat FB tipe ponton dengan variasi kedalaman dan $\theta = 30^\circ$

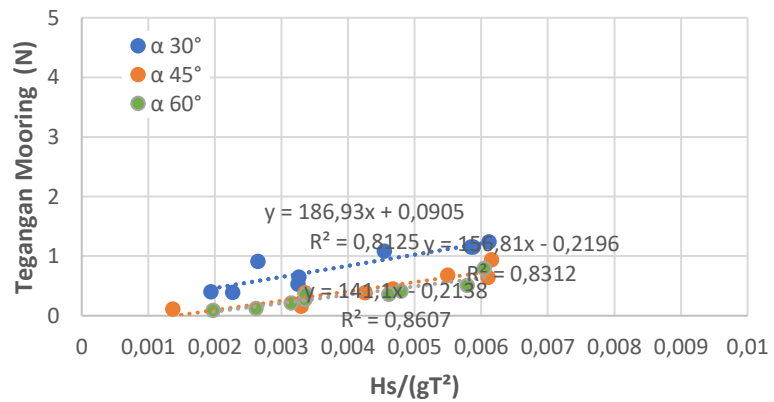


Grafik tegangan tali tambat FB tipe ponton dengan variasi kedalaman dan $\theta = 45^\circ$

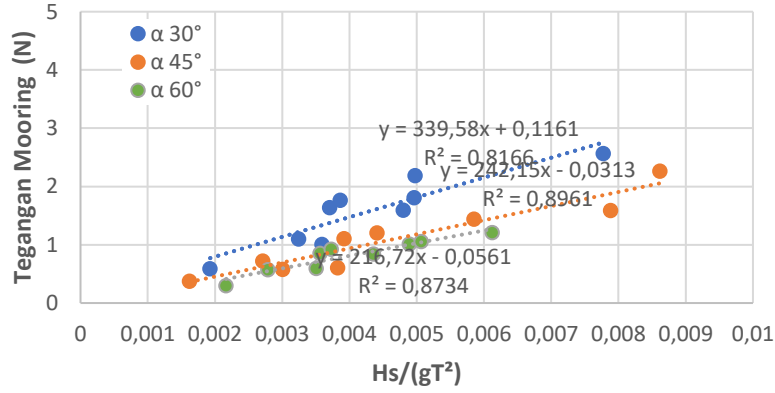


Grafik tegangan tali tambat FB tipe ponton dengan variasi kedalaman dan $\theta = 60^\circ$

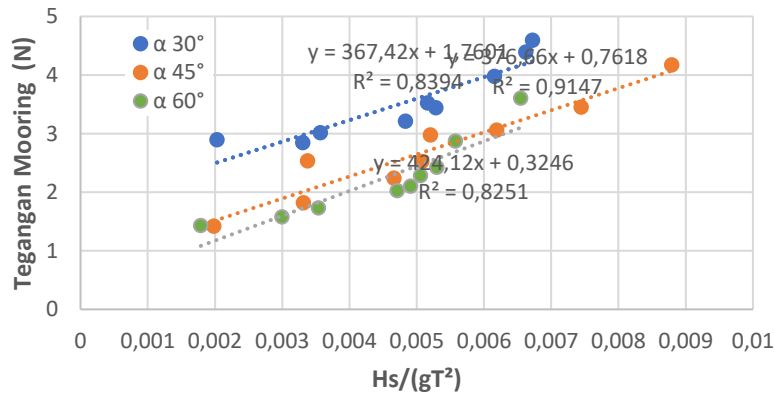
3. Grafik pengaruh sudut mooring terhadap tegangan mooring ponton



Grafik tegangan tali tambat FB tipe ponton dengan variasi θ dan $d = 41$ cm



Grafik tegangan tali tambat FB tipe ponton dengan variasi θ dan $d = 43$ cm



Grafik tegangan tali tambat FB tipe ponton dengan variasi θ dan $d = 45$ cm

Biodata Penulis



Lila Anas Anggraeni dilahirkan di Bojonegoro pada tanggal 10 Desember 1997. Penulis menyelesaikan Pendidikan di SDN Kepatihan Bojonegoro, SMPN 2 Bojonegoro, dan SMAN 1 Bojonegoro. Setelah lulus, pada tahun 2016 penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif di berbagai organisasi dan kepanitiaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai bendahara umum periode 2019/2020, Jama'ah Masjid Manarul Ilmi (JMMI ITS) periode 2018 sebagai Staff Ahli, menjadi Panitia Pemilihan Umum (PPU) presiden BEM ITS periode 2018 dan menjadi Panitia Pengawas Pemilu (Panwaslu) presiden BEM ITS periode 2019. Selain organisasi, penulis juga aktif berpartisipasi pada kegiatan-kegiatan ITS International Office seperti FIRE (Facing Industry Revolution 4.0 Engineer), Study Excursion 2019 di Singapore, Summer School Program di Turki dan Taiwan pada tahun 2020. Penulis juga tercatat sebagai pengurus Laboratorium Hidrodinamika dan pernah menjadi finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah Tingkat Nasional (LKTIN) bertemakan energi. Pada tahun 2019, penulis pernah melakukan Kerja Praktik di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) Bandung. Apabila pembaca berminat untuk menanyakan terkait tugas akhir maupun untuk sekadar sharing-sharing dapat menghubungi kontak di bawah ini.

Kontak :

Email : lilaanasa@gmail.com

No Telepon : [081247432628](tel:081247432628)