TUGAS AKHIR - MO 184804

MODEL NUMERIK GAYA TALI TAMBAT SISTEM CATENARY PADA FLOATING BREAKWATER TIPE GERGAJI

SILVYA MARDHATILA

NRP. 04311640000059

DOSEN PEMBIMBING:

Sujantoko, S.T., M.T.

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

TUGAS AKHIR - MO 184804

MODEL NUMERIK GAYA TALI TAMBAT SISTEM CATENARY PADA FLOATING BREAKWATER TIPE GERGAJI

SILVYA MARDHATILA
NRP. 04311640000059

DOSEN PEMBIMBING:

Sujantoko, S.T., M.T.

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

FINAL PROJECT - MO 184804

NUMERICAL MODEL OF MOORING FORCE USING CATENARY MOORING SYSTEM ON A SAW TYPE FLOATING BREAKWATER

SILVYA MARDHATILA

NRP. 04311640000059

SUPERVISORS :

Sujantoko, S.T., M.T.

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

MODEL NUMERIK GAYA TALI TAMBAT SISTEM CATENARY 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:

Silvya Mardhatila
NRP. 04311640000059

Disetujui oleh :

1. Sujantoko, S.T., M.T. (Dosen Pembimbing 1)
   .....
2. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E. (Dosen 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. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Penguji 3)
   .....

Mei 2020

MODEL NUMERIK GAYA TALI TAMBAT SISTEM CATENARY PADA FLOATING BREAKWATER TIPE GERGAJI

Nama : **SILVYA MARDHATILA**

NRP : **04311640000059**

Departemen : **Teknik Kelautan FTK-ITS**

Dosen Pembimbing : **Sujantoko, S.T., M.T.**

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

ABSTRAK

Floating breakwater merupakan solusi alternatif dari penggunaan *fixed breakwater* karena dapat digunakan secara lebih efektif di daerah pesisir dengan kondisi tertentu, lebih estetik, desain yang fleksibel untuk dikembangkan, dan instalasi yang lebih mudah. Salah satu aspek fundamental dalam desain *floating breakwater* adalah sistem *mooring*, karena digunakan untuk menjaga *floating breakwater* agar tetap pada posisinya dan mempengaruhi sistem kerja transmisinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan *mooring* maksimum yang terjadi pada tali *mooring* dan respon gerak *floating breakwater* melalui pemodelan numerik. Penelitian dilakukan pada *floating breakwater* tipe gergaji dan tipe ponton. Hasil eksperimen tipe gergaji dan tipe ponton sebelumnya digunakan 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. Hasil dari penelitian ini yaitu berupa grafik respon gerak bangunan apung pada 6 moda gerakan, pengaruh elevasi muka air terhadap tegangan mooring dan tegangan terbesar yang didapatkan dari beberapa variasi tersebut. Tegangan mooring terbesar pada *floating breakwater* tipe gergaji terjadi pada saat elevasi muka air 45 cm yaitu sebesar 5.08 N.

Kata Kunci : pemodelan numerik, *floating breakwater*, sistem *mooring catenary*

NUMERICAL MODEL OF MOORING FORCE USING CATENARY MOORING SYSTEM ON A SAW TYPE FLOATING BREAKWATER

Name : **SILVYA MARDHATILA**

NRP : **04311640000059**

Departement : **Teknik Kelautan FTK-ITS**

Supervisors : **Sujantoko, S.T., M.T.**

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

ABSTRACT

Floating breakwater is an alternative solution to the use of fixed breakwater because it can be used more effectively in coastal areas with certain conditions, more aesthetic, flexible designs to be developed, and easier installation. One of the fundamental aspects in the design of floating breakwater is the mooring system, because it is used to keep the floating breakwater in position and affect the transmission working system. This study aims to determine the maximum mooring stress that occurs in the mooring rope and the floating breakwater response through numerical modeling. The study was conducted on a floating breakwater saw type and pontoon type. The results of previous saw type and pontoon type experiments were used as a comparison. This research was conducted using ANSYS Aqwa. Breakwater dimension data and environmental data (H, T, d, θ) used in this study are data sourced from previous experimental tests. The results of this study are in the form of a floating motion motion response graph in 6 modes of movement, the effect of water level elevation on the mooring stress and the greatest stress obtained from some of these variations. The greatest mooring stress on the saw-type floating breakwater occurs when the water level elevation is 45 cm which is equal to 5.08 N.

Keywords : numerical model, floating breakwater, catenary mooring system

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Segala puji syukur atas kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "Model Numerik Gaya Tali Tambat Sistem *Catenary* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji". Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program studi S-1 di Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Penyusunan laporan tugas akhir ini telah dibuat dengan sebaik-baiknya, terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan. Oleh karena itu, secara terbuka penulis menerima segala saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan tugas akhir dan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga hasil penelitian dalam laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kemajuan dunia pendidikan khususnya dalam bidang kemaritiman.

Jepara, 08 Mei 2020

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada Laporan Akhir ini, penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang membantu penulis baik secara moril dan materiil selama pelaksanaan penelitian tugas akhir hingga penulisan laporan ini diantaranya, adalah:

1. Allah SWT. yang Maha Kuasa atas segala sesuatu.
2. Ibu Zuliana, Bapak Malik dan Bapak Maman, sebagai orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa tiada henti kepada penulis.
3. Bapak Sujantoko S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang dengan sabar membimbing kami.
4. Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana sekalu Dosen Pembimbing 2
5. Ibu Wimala L. Dhanistha, S.T., M.T. selaku Dosen Wali yang memberikan arahan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Kelautan.
6. Bapak Dr. Dendy Satrio selaku Koordinator Tugas Akhir.
7. Bapak Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D., Bapak Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc., Bapak Drs. M. Musta'in, M.Sc., Ph.D., dan Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. selaku Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
8. Kepala dan Teknisi Laboratorium Hidrodinamika Bangunan Laut dan Laboratorium Komputasi dan Pemodelan Numerik, Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan izin dalam penggunaan laboratorium untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman tim tugas akhir pemodelan numerik floating breakwater (Brilliyan, Thomi, dan Lila Anas) yang selama ini menemani, membantu, dan menyemangati penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
10. Nur Chasanah, Herin Muji Merdiyanti, Lutfiana Nur Rohmah, Aulia Pramestya Sulaksono, Inaya Krista Pradiptya, Anit Siska Melinda, dan Imas Aulia Faujia sebagai sahabat sesurpris yang selalu memberikan semangat dan juga teman berdiskusi selama berkuliah di departemen Teknik Kelautan.

11. Teman-teman Teknik Kelautan Angkatan 2016 ADHIWAMASTYA yang selalu memberikan dukungan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
ABSTRAK iii
KATA PENGANTAR v
UCAPAN TERIMAKASIH vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Manfaat 3
1.5. Batasan Masalah 3
1.6. Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1. Tinjauan Pustaka 5
2.2. Dasar Teori 6
2.2.1. Floating breakwater 6
2.2.2. Teori Gelombang 8
2.2.3. Teori Dasar Gerak Bangunan Laut Akibat Eksitasi Gelombang 12
2.2.4. Pemodelan Fisik 13
2.2.5. Parameter-parameter Hidrostatis 16
2.2.6. Gaya Hidrodinamis 18
2.2.7. Response Amplitude Operatore (RAO) 20
2.2.8. Sistem Tambat 21
2.2.9. *Tension* pada Tali Tambat 23
2.2.10. Gambaran *Software* ANSYS 23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 26

3.1. Metode Penelitian 26
3.2. Prosedur Penelitian 29
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 36
4.1. Floating Breakwater Tipe Gergaji sebagai Peredam Gelombang 36
4.2. Analisis Dimensi pada Pemodelan Fisik 37
4.3. Pemodelan Floating Breakwater 38
4.4. Validasi Parameter Hidrostatis 41
4.5. Analisis Gerak *Floating Breakwater* Pada Kondisi Terapung Bebas (*Free Floating*) ... 42
4.5.1. Response Amplitude Operators (RAO) Pada Floating Breakwater Tipe Ponton Kondisi Free Floating 43
4.6. Sistem *Mooring Catenary* 49
4.7. Konfigurasi *Mooring Line Floating Breakwater* Pada Saat Tertambat 50
4.7.1. Penentuan Panjang *Mooring Line* Jenis *Catenary* 51
4.7.2. Layout Catenary Mooring Line 52
4.8. Analisis Tegangan Floating Breakwater 53
4.8.1. Validasi Tegangan Floating Breakwater 53
4.8.2 Perbandingan Tegangan Hasil Eksperimen dan Model Numerik 56
4.8.3 Pengaruh Elevasi Muka Air 59
4.8.4 Perbandingan Tipe Floating Breakwater 61
BAB V 65
KESIMPULAN 65
5.1 Kesimpulan 65
5.2 Saran 66
DAFTAR PUSTAKA 68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. *Floating Breakwater* 6
Gambar 2.2. Keel to Center of Bouyancy (KB) 16
Gambar 2.3. Longitudinal Center of Bouyancy (LCB) 17
Gambar 2. 4. Longitudinal Center of Gravity (LCG) 18
Gambar 2.5. Tali Tambat Sistem *Catenary* 22
Gambar 2.6. Tali Tambat Sistem Taut 22

Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir 26
Gambar 3.2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan) 28
Gambar 3.3. Model Fisik Floating Breakwater Tipe Gergaji dan Ponton 30
Gambar 3.4. *Six Degree of Freedom* pada *Floating Structure* 31

Gambar 4. 1. *Floating Breakwater* Tipe Ponton 39
Gambar 4. 2. *Floating Breakwater* Tipe Gergaji 40
Gambar 4.3. Pemodelan *Floating Breakwater* Tipe Ponton pada *Software* ANSYS 40
Gambar 4. 4. Pemodelan *Floating Breakwater* Tipe Gergaji pada *Software* ANSYS 41
Gambar 4.5. RAO Gerakan *Surge* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji 44
Gambar 4.6. RAO Gerakan *Sway* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji 45
Gambar 4.7. RAO Gerakan *Heave* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji 46
Gambar 4.8. RAO Gerakan *Roll* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji 47
Gambar 4.9. RAO Gerakan *Pitch* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji 48
Gambar 4.10. RAO Gerakan *Yaw* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji 48
Gambar 4.11. Material *Mooring Line* Berupa *Polyethylene* 50
Gambar 4.12. Bagian-bagian *Catenary Mooring Line* 52
Gambar 4.13. Perbandingan Tegangan *Mooring* Hasil Pemodelan Numerik dan Perhitungan Teoritis FB Tipe Gergaji;d=41 cm 54
Gambar 4.14. Perbandingan Tegangan *Mooring* Hasil Pemodelan Numerik dan Perhitungan Teoritis FB Tipe Gergaji;d=43 cm 54
Gambar 4.15. Perbandingan Tegangan *Mooring* Hasil Pemodelan Numerik dan Perhitungan Teoritis FB Tipe Gergaji;d=45 cm 55

Gambar 4.16. Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ; d = 41cm 57
Gambar 4.17. Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ; d = 43cm 57
Gambar 4.18. Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ; d = 45cm 58
Gambar 4.19. Hubungan Tegangan *Mooring* dan *Wave steepness* pada FB Tipe Gergaji Sistem *Catenary* diberbagai Elevasi Muka Air dari Perhitungan Teoritis 59
Gambar 4.20. Hubungan Tegangan *Mooring* dan *Wave steepness* pada FB Tipe Gergaji Sistem *Catenary* diberbagai Elevasi Muka Air dari Pemodelan Numerik 60
Gambar 4.21. Perbandingan Hasil Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* pada Elevasi Muka Air 41 cm 61
Gambar 4.22. Perbandingan Hasil Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* pada Elevasi Muka Air 43 cm 62
Gambar 4.23. Perbandingan Hasil Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* pada Elevasi Muka Air 45 cm 62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi Model dari *Floating Breakwater* ……..23

Tabel 3.2. Skenario Kondisi Lingkungan ……..……24

Tabel 4.1. Validasi Parameter Hidrostatis ……....32

Tabel 4.2. Parameter untuk Input RAO ……33

Tabel 4.3. Spesifikasi Tali *Mooring* ……35

Tabel 4.4. Parameter Perhitungan Panjang *Mooring Line* ……....38

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Panjang *Mooring Line* dengan Variasi Kedalaman ……...39

Tabel 4.6. Koordinat *Anchor* pada *Seabed* dan *Fairlead* Kedalaman 41 cm ……..40

Tabel 4.7. Koordinat *Anchor* pada *Seabed* dan *Fairlead* Kedalaman 43 cm ……..41

Tabel 4.8. Koordinat *Anchor* pada *Seabed* dan *Fairlead* Kedalaman 45 cm ……..41

Tabel 4.9. Ketentuan RMSE ……..……...44

Tabel 4.10. Nilai RMSE Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ....……...44

Tabel 4.11. Perbedaan Tegangan antara *Floating Breakwaetr* Tipe Ponton dan Gergaji ……...50

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bangunan pelindung pantai sangat dibutuhkan untuk menghindari efek negatif akibat abrasi. Abrasi merupakan salah satu masalah serius yang dihadapi wilayah pesisir karena menyebabkan semakin menjoroknya garis pantai ke daratan. Besarnya energi gelombang yang datang langsung menghantam daerah pesisir pantai tanpa ada yang meredam energi gelombang mengakibatkan terjadinya abrasi (Putra, 2013). Salah satu struktur pantai yang dapat melindungi pantai dari abrasi maupun erosi adalah bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). *Breakwater* berfungsi untuk melindungi pantai atau area yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang (Triatmodjo, 1999). Dalam perencanaan *breakwater*, desain akhir tergantung pada kondisi gelombang datang, kriteria perlindungan, biaya, dan pertimbangan lingkungan (Seelig, 1976).

Terdapat dua jenis *breakwater,* yaitu *fixed breakwater* dan *floating breakwater* yang dibangun tergantung pada kedalaman air dan pasang surut air laut di lokasi tersebut. Struktur *breakwater* dibangun sejajar atau tegak lurus dengan pantai untuk mempertahankan kondisi ketenangan air laut. Konstruksi dari *breakwater* sendiri tergantung pada pendekatan gelombang dan parameter lingkungan. *Fixed breakwater* digunakan untuk perairan dangkal. Terdapat berbagai macam hambatan pada *fixed breakwater* seperti sulitnya mendapatkan batu alam sebagai bahan struktur, keterbatasan dalam instalasi di topografi dasar laut yang dalam dan curam, kondisi tanah yang buruk, dan biaya instalasi yang mahal. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif berupa *floating breakwater* agar hambatan tersebut dapat ditanggulangi. Keuntungan dalam menggunakan *floating breakwater* diantaranya membutuhkan waktu yang lebih singkat dalam pembangunan strukturnya dan biayanya lebih terjangkau. Empat faktor penting yang sangat mempengaruhi desain *floating breakwater* adalah daya apung dan stabilitas mengambang, transmisi gelombang, kekuatan *mooring*, dan integritas struktural *breakwater*. *Floating breakwater* adalah struktur terapung yang membutuhkan sistem tambat (*mooring system*) untuk menjaga struktur tetap di tempat (Tsinker, 1995). Oleh karena itu, penentuan yang akurat terhadap gaya *mooring* adalah aspek penting dalam perancangan *floating breakwater*.

McCartney (1985) sebelumnya telah mengidentifikasi banyak jenis *floating breakwater*, diantaranya bentuk *box, pontoon, mat*, dan tipe *tethered float*, namun jenis *floating breakwater* yang paling umum digunakan adalah jenis *pontoon* yang ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau *chain.* Dari jenis konfigurasi sistem *mooring* yang ada, pada penelitian ini menggunakan sistem *catenary mooring line. Catenary mooring line* adalah sistem tali tambat yang berbentuk kurva dan menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan ujungnya ditahan oleh *anchor*. Tali tambat sistem *catenary* sesuai digunakan untuk perairan dalam. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan pemodelan numerik gaya tali tambat sistem *catenary* pada *floating breakwater* dengan tipe gergaji. Pemodelan numerik ini mengacu pada uji eksperimen yang sebelumnya telah dilakukan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana hasil kalibrasi antara simulasi model numerik tension tali tambat pada floating breakwater tipe gergaji dengan data hasil uji eksperimen yang sudah ada?
2. Bagaimana Response Amplitude Operator (RAO) dari floating breakwater tipe gergaji dalam kondisi terapung bebas dan tertambat?
3. Berapakah tension maksimum dari tali tambat yang terjadi pada floating breakwater tipe gergaji pada setiap variasi elevasi muka air, tinggi gelombang, dan periode gelombang ?

1.3. Tujuan

1. Menentukan hasil kalibrasi antara model numerik tension tali tambat pada floating breakwater tipe gergaji dengan data hasil uji eksperimen yang sudah ada.
2. Menghitung Response Amplitude Operator (RAO) floating breakwater tipe gergaji dalam kondisi terapung bebas dan tertambat.
3. Menghitung tension maksimum pada tali tambat yang terjadi pada floating breakwater tipe gergaji dengan menggunakan sistem catenary pada setiap variasi elevasi muka air, tinggi gelombang, periode gelombang, dan sudut mooring.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai floating breakwater beserta penjelasan lebih lanjut mengenai tegangan yang terjadi pada mooring.
2. Memberikan informasi mengenai tension maksimum tali mooring yang terjadi pada floating breakwater tipe gergaji dengan variasi kedalaman, periode gelombang, dan sudut mooring.
3. Memberikan informasi mengenai perbedaan tegangan tali tambat yang terjadi antara floating breakwater tipe gergaji dengan tipe pontoon.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan-batasan untuk menghindari pembahasan yang meluas serta memudahkan penelitian sehingga tujuan yang diharapkan dapat dicapai. Batasan-batasan yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. *Floating breakwater* yang digunakan dalam penelitian adalah tipe gergaji
2. Beban lingkungan yang ditinjau sesuai dengan data eksperimen
3. Arah pembebanan yang digunakan hanya pada sudut 90̊
4. Konfigurasi tali tambat menggunakan sistem *catenary*
5. Dasar laut dianggap rata dan kedap air
6. Panjang tali tetap untuk kedalaman (d) yang berbeda
7. Kekakuan tali tambat diabaikan
8. Ɵ, α, H, T sesuai dengan data eksperimen

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

Banyak permasalahan yang terdapat di pelabuhan, salah satunya yaitu bangunan pelindung pantai. Bangunan pelindung pantai yang sering digunakan yaitu *breakwater. Breakwater* terdapat dua jenis, yaitu *fixed breakwater* dan *floating breakwater*. *Floating breakwater* dapat digunakan secara efektif pada area pantai dengan kondisi gelombang yang relatif ringan. Jenis yang paling umum digunakan *floating breakwater* adalah ponton persegi yang dihubungkan satu dengan yang lain dan ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau rantai. Struktur terapung ini sesuai untuk pulau-pulau perbatasan dengan topografi laut dalam yang curam, dan keterbatasan bahan batu belah pada daerah tersebut (Rochani, 2007). *Floating breakwater* memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan *fixed breakwater*, misalnya dapat mereduksi energi gelombang, memiliki desain yang fleksible sehingga mudah dipindahkan dan dirakit kembali dengan *layout* yang berbeda (Fousert, 2006).

Floating breakwater sebagai bangunan terapung memerlukan sistem *mooring* yang sesuai untuk menjaga struktur ini tetap di tempat, dan diperlukan sistem *anchoring* yang sesuai dengan tipe dasar laut pada daerah tersebut. Dari jenis konfigurasi sistem mooring yang ada, pada analisa ini menggunakan konfigurasi *catenary mooring line*. Konfigurasi *catenary mooring line* merupakan sebuah penambat berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel atau rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan kedua ujungnya tertahan. Penambat struktur terapung yang menggunakan konfigurasi *catenary spread mooring system* biasanya digunakan pada perairan dalam. Hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan (*stress*) yang terjadi pada *mooring* dan berat anchor yang dibutuhkan agar *floating breakwater* tetap stabil. Tsunehiro et al. (1999) telah mematenkan desain pemecah gelombang terapung. Alasan dari penggunaan pemecah gelombang terapung yang ditambat dengan *pile* adalah karena *floating breakwater* yang menggunakan *mooring* telah menyebabkan bujursangkar dan sudut gerakan yang pada akhirnya mempengaruhi kerja sistem. Selain itu dengan menggunakan *pile* memungkinkan untuk mengapung bergerak bebas kearah vertikal mengikuti pasang surut.

Pada penelitian ini menggunakan sistem *catenary mooring line*. *Catenary mooring line* adalah sistem tali tambat yang berbentuk kurva dan menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan ujungnya ditahan oleh *anchor*. Tali tambat sistem *catenary* sesuai digunakan untuk perairan dalam. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan pemodelan numerik gaya tali tambat sistem *catenary* pada *floating breakwater* dengan tipe gergaji. Pemodelan numerik ini mengacu pada uji eksperimen yang sebelumnya telah dilakukan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Floating breakwater

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

Gambar 2.1. *Floating Breakwater*
(sumber: www.ce.jhu.edu)

Floating breakwater dibuat untuk melindungi area pelabuhan agar perairan tetap tenang untuk memudahkan pengoperasian kapal. Penelitian secara teoritis membuktikan bila struktur dari *floating breakwater* dapat mereduksi gelombang dengan sangat baik dan tidak merusak lingkungan pantai ketika tata letak struktur optimal (Fousert, 2006). Menurut Dong (2008) *floating breakwater* dapat digunakan secara efektif pada area pantai dalam kondisi gelombang yang relatif ringan.

Banyak jenis dari *floating breakwater* yang dikembangkan selama bertahun-tahun. Berdasarkan prinsip kerja dari *floating breakwater* untuk mereduksi gelombang, maka dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelas (PIANC, 1994) :

1. Struktur reflektif

Struktur reflektif adalah jenis struktur yang merefleksikan gelombang datang dan strukturnya rigid. Istilah rigid menyebutkan bahwa struktur tidak merusak beban gelombang bawah. Struktur reflektif pada floating breakwater memanfaatkan permukaan vertikal ataupun permukaan yang miring pada struktur untuk merefleksikan energi gelombang datang yang akan dipantulkan kembali ke laut.

2. Struktur dissipative

Struktur dissipative ini bersifat fleksibel. Jenis struktur dissipative merupakan jenis yang menghilangkan energi gelombang turbulensi, gerakan, dan deformasi non-elastis. Floating breakwater jenis ini merubah energi gelombang menjadi panas, suara turbulensi maupun gesekan dengan memecah gelombang pada permukaan miring maupun berlawanan dengan member struktural. Efisiensi diatur terutama melalui geometri dan kekangan mooring (WHCL, 1981).

Floating breakwater tentunya memiliki keuntungan, adapun keuntungan dari *floating breakwater* secara umum yaitu :

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

f. Hampir tidak ada gangguan dengan transportasi sedimen dan sirkulasi air (Biesheuvel, 2013)

2.2.2. Teori Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa jenis atau tipe gelombang, yaitu gelombang angin, gelombang pasang surut, dan gelombang tsunami. Untuk gelombang angin, adalah gelombang yang disebabkan oleh angin. Angin diatas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, bukit atau alun, dan berubah menjadi gelombang. Gelombang pasang surut merupakan gelombang yang terjadi karena gaya tarik-menarik oleh benda langit terutama matahari dan bulan pada permukaan laut. Gelombang tsunami adalah gelombang yang terjadi di laut akibat dari adanya letusan gunung berapi bawah laut atau disebebakan oleh gempa bumi yang mengakibatkan terjadinya patahan pada lempeng bumi atau disebut juga gempa tektonik.

Parameter penting yang dapat menjelaskan gelombang air dapat berupa panjang gelombang, tinggi gelombang, dan kedalaman air. Parameter-parameter lain seperti kecepatan dan percepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok di atas (Pratikto, Armono, dan Suntoyo 1996). Untuk mencari panjang gelomang laut, banyak parameter yang dapat digunakan. Rumus yang digunakan merupakan sebuah pendekatan sebagai berikut :

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

dengan :

L = panjang gelombang (m)

T = periode gelombang (s)

g = percepatan gravitasi (kg.m/s^2)

h = kedalaman air (m)

Gelombang Reguler

Gelombang regular merupakan gelombang yang mempunyai tinggi dan periode yang tetap terhadap waktu. Teori gelombang amplitudo kecil untuk menghitung parameter-parameter gelombang diperkenalkan pertama kali oleh Airy (1845). Teori gelombang amplitudo kecil biasa disebut dengan teori gelombang Airy, yang menjelaskan bahwa asumsi tinggi gelombang sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang atau kedalaman laut. Periode gelombang diasumsikan sebagai variabel konstan yang tidak berubah terhadap waktu. Rumus-rumus berdasarkan teori gelombang amplitudo kecil adalah sebegai berikut :

Persamaan Dispersi

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

Kecepatan Gelombang

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

Panjang Gelombang

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

dengan :

h = tinggi gelombang rata-rata

t = periode gelombang rata-rata

g = percepatan gravitasi

f = frekuensi

Gelombang Irregular

Gelombang ireguler adalah gelombang superposisi dari beberapa gelombang reguler dengan tinggi dan periode gelombang yang berubah terhadap waktu. Permukaan gelombang irreguler merupakan permukaan yang tidak beraturan, sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis (Bhattacharyya 1972).

Menurut Bhattacharyya (1972) gelombang di laut dapat dinyatakan menurut distribusi energi terhadap frekuensi gelombang, panjang gelombang dan periode gelombang. Distribusi energi gelombang menurut frekuensinya disebut spektrum gelombang. Gelombang ireguler tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya.

$$E_T = {}^{1}/_{2}\,\rho . g \sum \varepsilon a_i \qquad (2.5)$$

dengan :

E_T = energi total (joule/m)

ρ = densitas air laut (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^3)

εa_i = amplitudo gelombang (m)

Spektrum Gelombang

Gelombang laut yang sebenarnya bersifat acak, baik besar maupun arahnya, sehingga besar energi gelombang acak sulit untuk diukur.Ukuran intensitas komponen gelombang acak pada umumnya dinyatakan dalam bentuk spektrum kepadatan amplitudo, kepadatan energi gelombang atau biasa disingkat dengan spektrum energi gelombang. Dalam analisa spektrum energi gelombang adalah menguraikan suatu gelombang ireguler

menjadi susunan dari gelombang teratur dari berbagai frekuensi dan tinggi gelombang (Yuwono, 1992).

Pada umumnya, parameter gelombang didefinisikan dengan besaran-besaran statistik seperti *Hs* dan *Ts* yang merupakan harga rata-rata dari sepertiga jumlah keseluruhan tinggi dan periode gelombang yang tertinggi (Wahyudi et al., 2005). Besaran-besaran statistik ini digunakan untuk menganalisis energi gelombang ireguler supaya pola dan bentuk spesifiknya dapat diketahui.

Salah satu model spektral yang diajukan oleh Pierson Morkowitz (1964) dan masih secara luas digunakan. Aplikasi umum dari satu parameter spektrum gelombang Pierson Morkowitz dibatasi oleh fakta jika kondisi laut kadang dijangkau secara penuh situasi dikembangkan. Pengembangan dari laut juga dibatasi oleh fetch. Secara luas program pengukuran gelombang, diketahui sebagai *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) yang berasal dari laut utara. Dari analisa dari pengukuran data JONSWAP spektrum diturunkan. Perumusan spektrum JONSWAP mewakili angin dengan batasan *fetch*. Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Spektrum JONSWAP dikemukakan Hasselman dkk. (1973) memiliki lima parameter, hanya dua parameter yang biasanya divariasikan. dikemukakan oleh Hasselmann dkk. (1973) dimana model tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} exp\left[-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}\right] \gamma^{exp\left[\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2\tau\omega_0^2}\right]} \qquad (2.6)$$

dengan :

α = 0,0076 $(X_0)^{-0,22}$

X_0 = gX/U_w^2

X = panjang fetch

U_w = kecepatan angin

α = 0.0081 jika X tidak diketahui

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

τ = parameter bentuk atau *shape parameter*

τ = 0.07 jika $\omega \leq \omega_0$

τ = 0.09 jika $\omega \leq \omega_0$

$\omega_0 = 2\pi(g/ U_w) (X_0)^{-0.33}$

2.2.3. Teori Dasar Gerak Bangunan Laut Akibat Eksitasi Gelombang

Benda yang mengapung mempunyai enam mode gerakan bebas. Enam mode gerakan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah dua kelompok mode gerakan tersebut:

1. Mode gerak translasional

Gerak translasional adalah gerakan yang searah dengan arah sumbu. Gerak translasional terdiri dari :

- Surge, gerakan translasi pada arah sumbu x
- Sway, gerakan translasi pada arah sumbu y
- Heave, gerakan translasi pada arah sumbu z

2. Mode gerak rotasional

Gerak rotasional adalah gerakan yang membentuk sudut terhadap sumbu, gerakan rotasional ini terdiri dari :

- Roll, gerakan rotasional terhadap sumbu x
- Pitch, gerakan rotasional terhadap sumbu y
- Yaw, gerakan rotasionaal terhadap sumbu z

2.2.4. Pemodelan Fisik

Pemodelan fisik dibuat jika fenomena fisik dari permasalahan yang ada di prototip dapat dibuat dengan skala yang lebih kecil dengan kesebangunan yang memadai. Dasar dari penyekalaan model adalah membentuk kembali problem yang ada di prototip dalam skala yang lebih kecil (model), sehingga fenomena yang ada di model tersebut sebangun (mirip) dengan yang ada di prototip. Kesebangunan tersebut berupa:

1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dapat dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukuran. Ada dua macam sebangun geometrik:

a. Sebangun geometrik sempurna, yaitu jika skala panjang arah horizontal (skala panjang) dan skala vertikal (skala tinggi) adalah sama. Pada sebangun geometrik sempurna dapat ditentukan :

1. Skala Luas

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = (n_L)^2$$

2. Skala Volume

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^3$$

b. Sebangun geometrik dengan distorsi, jika skala panjang tidak sama dengan skala tinggi. Untuk sebangun geometrik dengan distorsi dapat ditentukan sebagai berikut.

1. a. Skala luas posisi horizontal

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = (n_L)^2$$

b. Skala luas posisi vertikal

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ tinggi)_p}{(panjang\ x\ tinggi)_m} = n_L n_h$$

2. Skala Volume

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^2 n_h$$

2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik terjadi jika antara prototip dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototip dan model pada arah yang sama adalah sama besar.

3. Sebangun Dinamik

Jika prototip dan model sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar, maka dikatakan bahwa keduanya sebangun dinamik. Yang dimaksid gaya-gaya terasebut adalah gaya inersia, gaya berat, gaya gesek, gaya elastisitas, serta gaya tegangan permukaan. Dipilih gaya-gaya yang berpengaruh dan penting saja dalam menentukan skala model kesebangunan dinamik. Bilangan tak berdimensi untuk mendapatkan kesebangunan dinamik. Bilangan tak berdimensi untuk mendapatkan kesebangunan yaitu :

a. Bilangan Reynold

Bilangan Reynold dapat diekspresikan sebagai ratio antara gaya inersia dengan gaya gesekan(viskositas).

$$Re = \frac{UL}{v} \Rightarrow n_{Re} = \frac{Re_p}{Re_m} = \frac{U_p L_p}{v_m} \frac{v_m}{U_m L_m} = \frac{n_U n_L}{n_v}$$

Jika gaya inersia dan gaya gesek sama-sama memegang peranan yang penting dalam suatu permasalahan, maka rasio kedua gaya pada model dan prototip harus sama.

$$n_{Re} = \frac{n_U n_L}{n_v} = 1$$

Persyaratan diatas disebut kriteria sebangun dinamika menurut kondisi Bilangan Reynold, syarat ini sering disebut *Scale Condition*.

b. Bilangan Froude

Bilangan froude dapat diekspresikan sebagai rasio antara gaya inersia dengan gaya gravitasi. Dengan demikian apabila gaya gravitasi dan gaya inersia sama-sama memegang peranan penting dalam permasalahan, maka rasio kedua gaya tersebut pada model dan prototip harus sama. Kriteria ini disebut kriteria sebangun menurut kondisi bilangan Froude.

$$n_{Fr} = {n_u}/{(n_L)^{0.5}} = 1$$

c. Bilangan Weber

Rasio antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan.

$$\frac{(\rho L^3)({U^2}/{L})}{\sigma L} = \frac{\rho U L}{\sigma} = We$$

d. Bilangan Cauchy

Rasio antara gaya inersia dan gaya elastik.

$$\frac{(\rho L^3)({U^2}/{L})}{EL} = \frac{\rho U^2}{E} = Ca$$

2.2.5. Parameter-parameter Hidrostatis

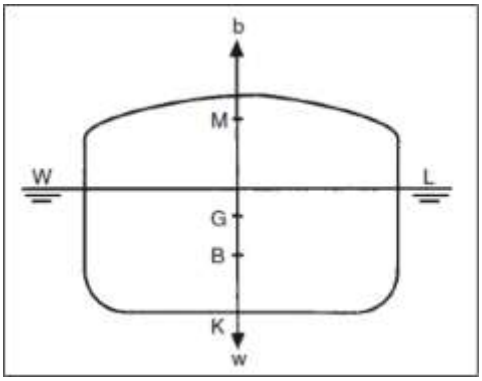
Bangunan apung memiliki sifat-sifat tertentu ketika mengapung di air. Sifat-sifat bangunan apung yang tercelup di dalam air ini disebut lengkung hidrostatik atau parameter hidrostatik. Parameter hidrostatik terbagi menjadi 20 lengkungan antara lain *Water Plane Area* (WPA), *Coefficient of Water Line* (CWL), *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 *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB). Parameter hidrostatik ini digunakan sebagai validasi dalam tugas akhir ini. Berikut penjelasan beberapa parameter hidrostatik :

1. 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.

2. Keel to Center of Bouyancy (KB)

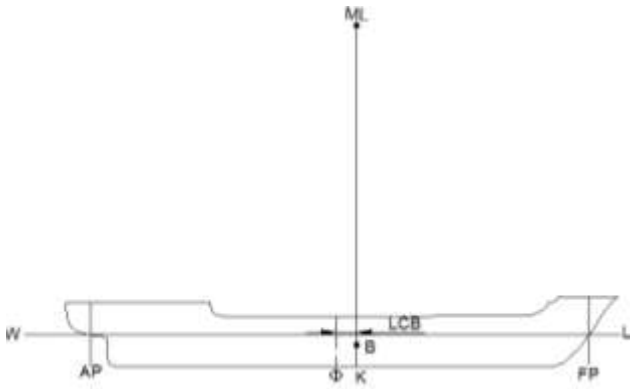
Keel to Center of Bouyancy (KB) adalah jarak titik tekan (titik *bouyancy*) ke lunas kapal dalam meter. KB menunjukkan titik *bouyancy* secara vertikal. KB dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 2.2. Keel to Center of Bouyancy (KB)
(Sumber : www.saferoceans.com)

3. Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

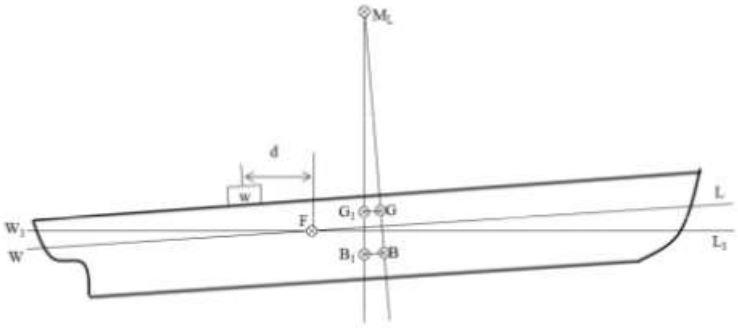
LCB adalah jarak titik tekan (titik *buoyancy*) terhadap station *midship* kapal untuk setiap sarat kapal. Tanda negatif (-) dan positif (+) menunjukkan letaknya ada di depan *midship* (+) dan di belakang *midship* (-).Titik B merupakan titik tangkap gaya tekan keatas atau juga didefinisikan sebagai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



Gambar 2.3. Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)
(Sumber : www.splashmaritime.com)

4. Longitudinal Center of Gravity (LCG)

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



Gambar 2. 4. Longitudinal Center of Gravity (LCG)
(Sumber : www.slideshare.net)

5. Transversal Center of Gravity (TCG)

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

2.2.6. Gaya Hidrodinamis

Gaya hidrodinamis yang bekerja pada *floating breakwater* adalah gaya *drag* dan gaya *inertia*. Kim (2001) merumuskan gaya per satuan panjang sebagai berikut :

a. Gaya Drag (F_D)

Nilai gaya drag yang terjadi pada suatu struktur *floating breakwater* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_D = C_D A \left(\frac{W_0}{2g}\right) V m^2 \qquad (2.7)$$

dengan :

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

C_D = koefisien drag

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

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

Vm = kecepatan maksimal gelombang

g = gravitasi

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

$$Vm = \pi(\frac{H}{T}) \quad (2.8)$$

dengan :

Vm = kecepatan maksimal gelombang

Ha = tinggi gelombang

T = periode

b. Gaya Inertia (F_M)

Nilai gaya inertia yang terjadi pada suatu struktur *floating breakwater* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_M = C_M A \left(\frac{2\pi W_0}{2gT}\right) Vm \quad (2.9)$$

dengan :

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

C_M = koefisien inertia

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

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

Vm = kecepatan maksimal gelombang

g = gravitasi

T = periode

c. Gaya Gelombang (F_W)

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

Dimana:

$F_W = F_M$: jika $F_M > 2F_D$

$F_W = F_D + (F_M^2/4F_D)$: jika $F_M \leq 2F_D$

d. Gaya Apung (buoyancy)

Hukum Archimedes menjelaskan bahwa semua benda yang berada di dalam air akan mengalami gaya apung (*buoyancy*). Berdasarkan Kim, Chang Gil (2001) merumuskan buoyancy dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_A = \rho \; x \; V \; x \; g \qquad (2.10)$$

dengan :

F_A = gaya apung (*buoyancy*)

ρ = massa jenis air laut

V = volume tercelup *floating breakwater*

g = gravitasi

2.2.7. Response Amplitude Operatore (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. RAO memberikan informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah frekuensi dan ordinatnya merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu dengan amplitudo gelombang. Secara matematis RAO dapat dituliskan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} \text{ (m/m)} \qquad (2.11)$$

dengan :

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

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

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi (surge, sway, heave) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (Djatmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan di atas. Sedangkan untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (roll, pitch, yaw) merupakan perbandingkan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang dengan amplitudo gelombang insiden (Djatmiko, 2012) :

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} = \frac{\zeta_{k0}}{(\frac{\omega^2}{g})\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \qquad (2.12)$$

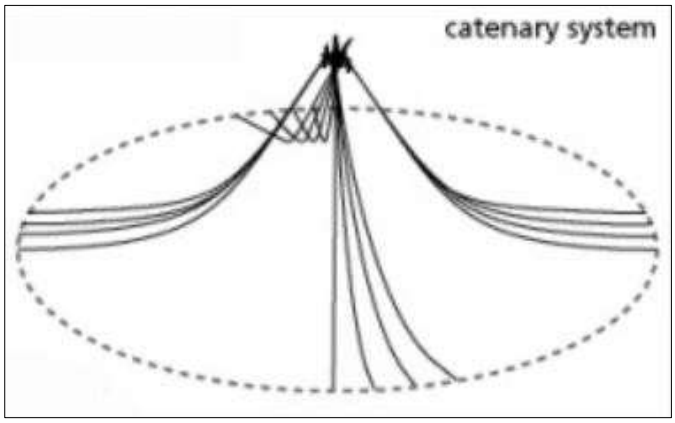
2.2.8. Sistem Tambat

Sistem *mooring* dimanfaatkan untuk menahan pergerakan bangunan terapung agar tetap pada posisinya. Beragam jenis sistem *mooring* yang ada di dunia, diantaranya adalah sistem *catenary mooring* dan taut *mooring*. Sistem tambat pada umumnya terangkai dari sejumlah lines yang terbuat dari chain, kabel (*wire*), atau tali sintetik (*syntetic rope*). Bagian atas dari *mooring* line ini dipasang pada badan struktur terapung di titik-titik yang berbeda sedangkan bagian bawah *mooring* line nya ditambatkan ke dasar laut. Kabel-kabel *mooring* terangkai dari rantai baja (*steel chain*), tali ataupun kombinasi dari keduanya. Gaya tension yang terjadi pada kabel tergantung dari berat kabel, *property* elastisitasnya sendiri dan sistem tambatnya. Tipe-tipe dari sistem tambat pada struktur bangunan apung lepas pantai adalah sebagai berikut :

a. Catenary Mooring System

Merupakan sistem tambat pertama yang paling umum. Ketika berada di dasar laut posisi *mooring* horizontal sehingga pada *catenary mooring* ini jangkar hanya dikenakan beban

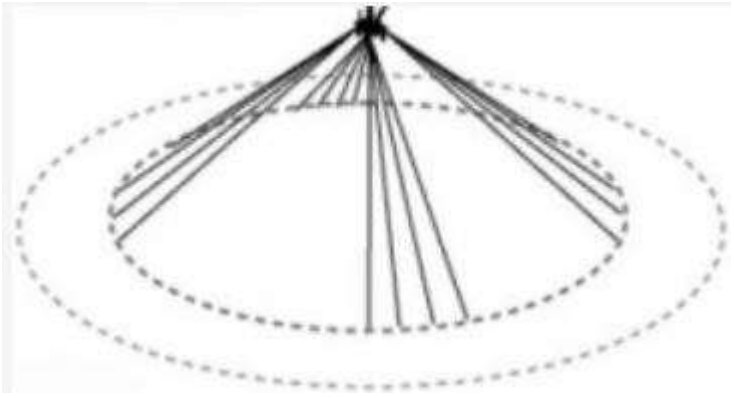
horizontal. Pada *catenary mooring*, gaya pengembali dihasilkan oleh berat *mooring* lines sendiri.



Gambar 2.5. Tali Tambat Sistem *Catenary*
(sumber: http://abc-moorings.weebly.com**)**

b. Taut Mooring System

Sistem tambat ini memiliki konfigurasi *mooring* lines dengan tali yang tegang. Perbedaan utamanya dengan catenary *mooring* adalah posisi anchorleg. Taut *mooring* ketika berada di dasar laut posisi *mooring* nya bersudut sehingga jangkar harus mampu menahan beban yang terjadi baik beban horizontal maupun vertikal. Pada taut *mooring*, gaya pengembali dihasilkan oleh berat *mooring* lines sendiri. Keuntungan dari *taut mooring* jika dibandingkan dengan *catenary mooring* adalah radius tambatannya lebih kecil.



Gambar 2.6. Tali Tambat Sistem Taut
(sumber: http://www.dredgingengineering.com)

2.2.9. *Tension* pada Tali Tambat

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

a. Mean Tension

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

b. Maximum Tension

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan low frequency tension. Menurut Faltinsen (1990) perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_{max} = T_h + wh \qquad (2.13)$$

dengan:

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

T_h = horizontal *pre-tension* (ton)

w = berat tali di air laut (ton/m)

h = kedalaman laut (m)

2.2.10. Gambaran *Software* ANSYS

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. Dalam aplikasinya, ANSYS dapat dibagi menjadi dua menurut dimensinya, yaitu :

a. ANSYS Classic

ANSYS ini menyelesaikan problema dalam 2 dimensi seperti : sistem solid dalam bidang 2 dimensi dan perpindahan panas dalam 2 dimensi.

b. ANSYS Workbench

ANSYS ini menyelesaikan problema dalam 3 dimensi seperti : sistem solid dalam 3 dimensi dan masalah aliran fluida pada pipa dalam 3 dimensi.

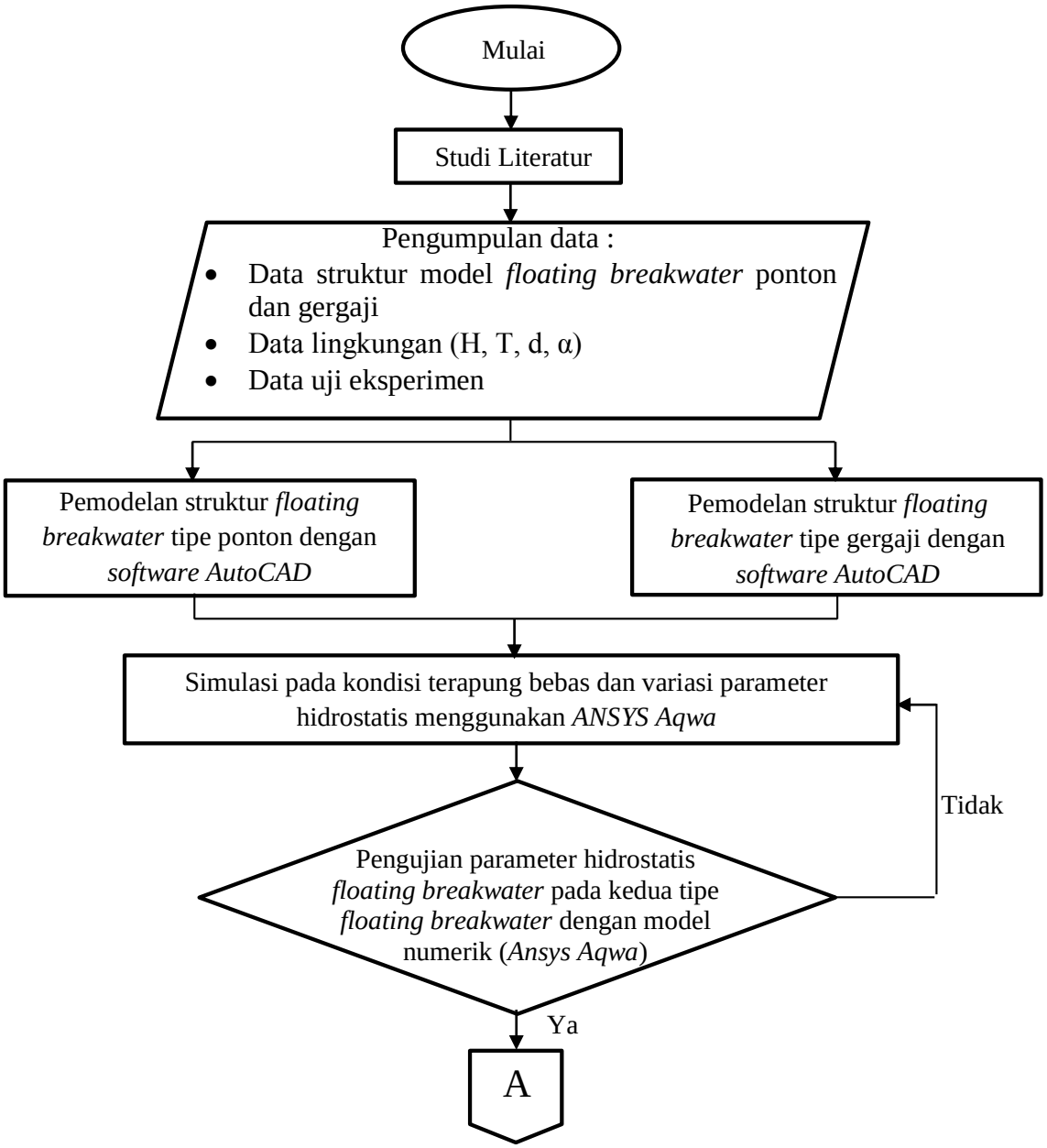
Untuk pemodelan pada tugas akhir ini digunakan ANSYS Aqwa yang berfungsi untuk menganalisa beban dan gerakan *floating breakwater*. Pada ANSYS Aqwa akan terlihat beban,tekanan, gaya geser, tegangan dan lain-lain yang terjadi pada struktur saat pergerakan struktur berlangsung. *Output* yang diharapkan adalah grafik RAO *floating breakwater* dan tegangan maksimum yang terjadi pada setiap tali tambat.

(*Halaman ini segaja dikosongkan*)

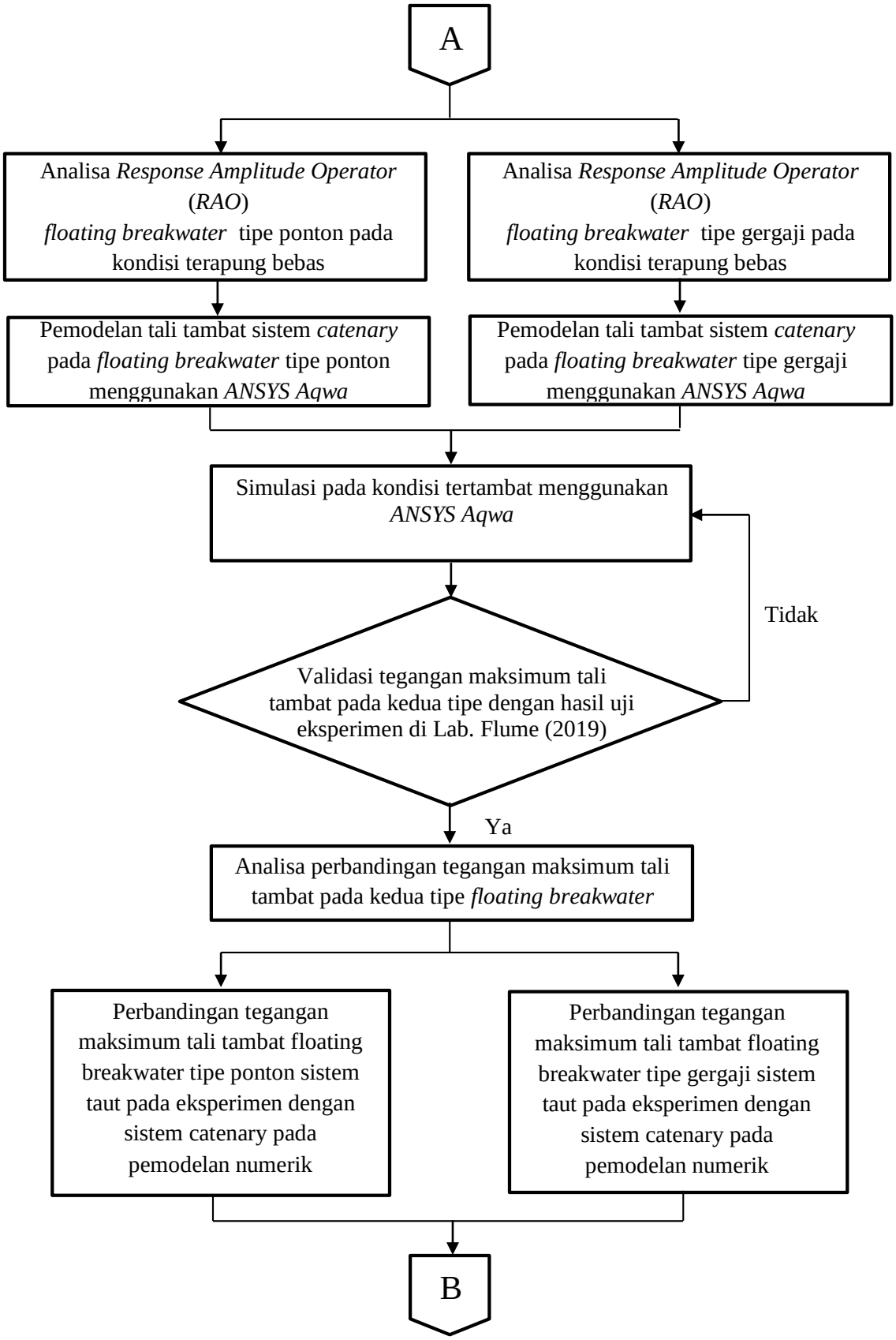
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

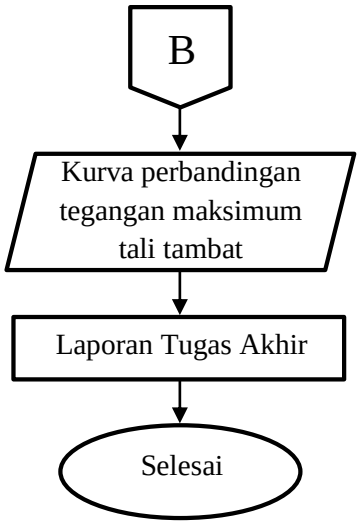
3.1. Metode Penelitian

Berikut adalah diagram alur sistematika pengerjaan tugas akhir yang digunakan oleh penulis :



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir


A
Analisa *Response Amplitude Operator* (*RAO*) *floating breakwater* tipe ponton pada kondisi terapung bebas
Analisa *Response Amplitude Operator* (*RAO*) *floating breakwater* tipe gergaji pada kondisi terapung bebas
Pemodelan tali tambat sistem *catenary* pada *floating breakwater* tipe ponton menggunakan *ANSYS Aqwa*
Pemodelan tali tambat sistem *catenary* pada *floating breakwater* tipe gergaji menggunakan *ANSYS Aqwa*
Simulasi pada kondisi tertambat menggunakan *ANSYS Aqwa*
Validasi tegangan maksimum tali tambat pada kedua tipe dengan hasil uji eksperimen di Lab. Flume (2019)
Tidak
Ya
Analisa perbandingan tegangan maksimum tali tambat pada kedua tipe *floating breakwater*
Perbandingan tegangan maksimum tali tambat floating breakwater tipe ponton sistem taut pada eksperimen dengan sistem catenary pada pemodelan numerik
Perbandingan tegangan maksimum tali tambat floating breakwater tipe gergaji sistem taut pada eksperimen dengan sistem catenary pada pemodelan numerik
B



Gambar 3.2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari dan mempelajari referensi-referensi dan dasar teori baik dari buku, jurnal, dan laporan tugas akhir serta penelitian terbaru yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini. Penulis juga mempelajari modul-modul mengenai *software AutoCAD* dan ANSYS Aqwa yang akan digunakan selama pengerjaan pemodelan dalam tugas akhir ini.

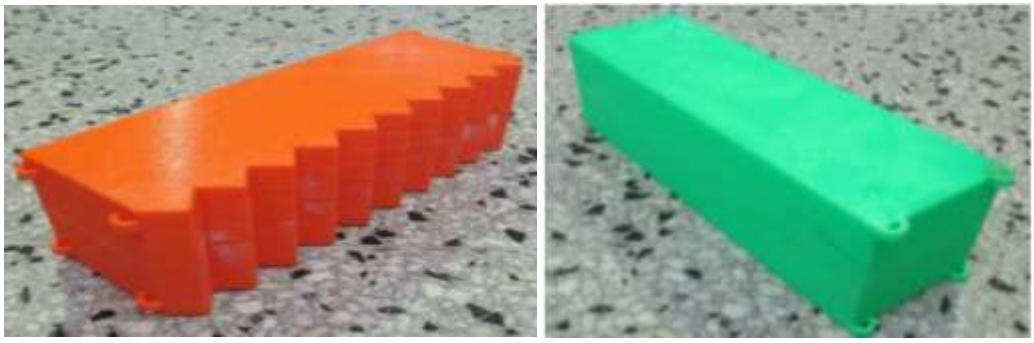
2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data yang dipergunakan dan dihasilkan dari uji ekperimen di Lab. Flume (2019) oleh peneliti sebelumnya. Data-data tersebut berupa data struktur model *floating breakwater* ponton dan gergaji, data lingkungan berupa tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), elevasi muka air (d), sudut *mooring* (α), dan data uji eksperimen.

Tabel 3.1. Dimensi Model dari *Floating Breakwater*

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

(Sujantoko et. al., 2019)



Gambar 3.3. Model Fisik Floating Breakwater Tipe Gergaji dan Ponton
(Sujantoko et al., 2019)

Data lingkungan tersebut akan digunakan peneliti sebagai acuan data kemudian akan dilihat pengaruhnya terhadap tegangan tali tambat *floating breakwater*.

Tabel 3.2. Skenario Kondisi Lingkungan

Parameter	Variasi Parameter		
Tinggi Gelombang, Hs (cm)	3	4	5
Periode Gelombang, T (s)	1.1	1.3	1.6
Elevasi muka air, d (cm)	41	43	45

(Sujantoko et al., 2019)

3. Pemodelan Struktur *Floating Breakwater* dengan *Software* AutoCAD

Struktur floating breakwater yang dimodelkan pada *software autoCAD* ada 2 tipe, yaitu ponton dan gergaji. Setiap tipe *floating breakwater* memiliki dimensi yang sama dengan penelitiannya sebelumnya. Setelah dimodelkan menggunakan *software AutoCAD*, struktur tersebut disimpan dengan *format file* yang dapat terbaca oleh ANSYS Aqwa yaitu format .igs.

4. Simulasi pada Kondisi Terapung Bebas dan Variasi Parameter Hidrostatis Menggunakan *ANSYS Aqwa*

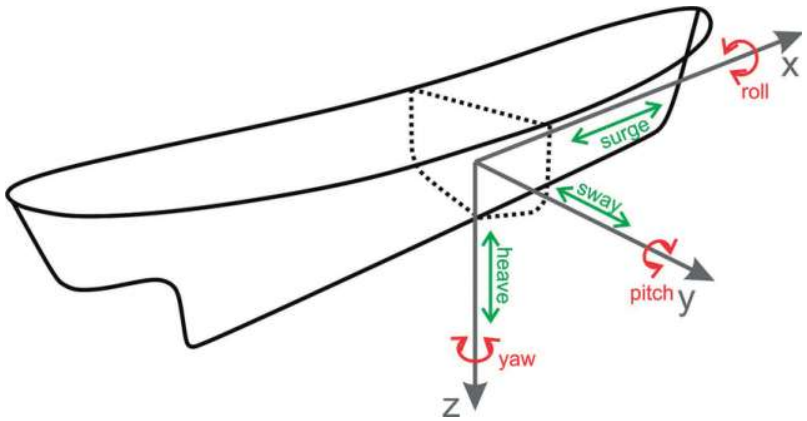
Setelah dilakukan pemodelan dengan *software AutoCAD* maka model tersebut disimulasikan dengan menggunakan *software* ANSYS Aqwa. Simulasi dilakukan dengan

arah pembebanan gelombang yang bersudut 90° (searah dengan sudut datang gelombang). Simulasi ini dilakukan untuk menganalisa gerakan *floating breakwater* pada saat terapung bebas.

5. Pengujian Parameter Hidrostatis pada Kedua Tipe *Floating Breakwater* dengan Model Numerik (ANSYS Aqwa)

Pengujian parameter hidrostatis *floating breakwater* dengan *ANSYS Aqwa* dilakukan dengan membandingkan data uji eksperimen dengan hasil dari simulasi. Parameter hidrostatis yang diuji berupa nilai-nilai hidrostatis untuk mengetahui kelayakan floating breakwater tersebut. Kriteria pengujian yang digunakan mengacu pada ABS yaitu *error displacement* bernilai maksimum 2% dan untuk ketentuan lainnya bernilai 1% (Putra, 2017).

6. Analisa Response Amplitude Operator (RAO) Floating Breakwater pada Kondisi Terapung Bebas



Gambar 3.4. *Six Degree of Freedom* pada *Floating Structure*
(Sumber : www.worldmaritimeaffairs.com)

Analisa *Response Amplitude Operator* (*RAO*) menggunakan *software CFD* meliputi enam derajat kebebasan dari gerak bangunan apung. Enam derajat kebebasan ini dibedakan menjadi gerak translasional (*surge*, *sway*, dan *heave*) dan gerak rotasional (*roll*, *pitch*, dan *yaw*). *RAO* dapat mempengaruhi tegangan pada tali tambat. Dari penentuan karakteristik

respon tersebut dapat mengetahui seberapa besar *tension* maksimum yang terjadi pada tali tambat.

7. Pemodelan Tali Tambat Sistem *Catenary* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji Menggunakan *Software Ansys Aqwa*

Pemodelan tali tambat pada *floating breakwater* dengan software ANSYS Aqwa. Pada analisa ini dapat menghitung berapa panjang tali tambat yang digunakan dan jumlah tali tambat yang diperlukan untuk menopang *floating breakwater* tersebut. Setelah itu, menentukan beban lingkungan di sekitar tempat dimana *floating breakwater* akan dirancang. Kemudian penulis menentukan jarak tali tambat dari tali tambat satu dengan tali tambat berikutnya. Dapat ditentukan juga letak pemasangan tali tambat yaitu pada *floating breakwater* dan *anchor*, lalu memodelkan tali tambat yang akan digunakan pada *floating breakwater* tersebut.

8. Simulasi Pada Kondisi Tertambat dan Variasi Parameter Hidrodinamis Menggunakan *ANSYS Aqwa*

Pada analisa ini membutuhkan *input* data yang diambil dari hasil *running RAO* pada gerak translasional (*surge*, *sway*, dan *heave*) dan gerak rotasional (*roll*, *pitch*, dan *yaw*). Setelah itu, diinputkan beban lingkungan seperti tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), dan elevasi muka air (d). Selain itu juga menginputkan berat *polyethylene* yang akan digunakan dan menginputkan panjang tali tambat pada masing-masing kedalaman (elevasi muka air) yang sudah ditentukan. Selanjutnya melakukan *running* pada *software* ANSYS Aqwa yang nantinya akan menghasilkan tegangan pada masing-masing tali tambat yang terjadi pada *floating breakwater*.

9. Validasi Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Kedua Tipe *Floating Breakwater* dengan Hasil Uji Eksperimen di Lab. Flume (2019)

Setelah mendapat nilai tegangan maksimum dari hasil *software* ANSYS Aqwa, tegangan maksimum tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil uji eksperimen di Lab. Flume (2019). Perbedaan atau *error* dari tegangan maksimum *software ANSYS Aqwa* dan hasil uji eksperimen diharapkan tidak terlalu besar.

10. Analisa Perbandingan Tegangan Maksimum Tali Tambat pada Kedua Tipe *Floating Breakwater*

Pada tahap ini penulis membandingkan tegangan tali tambat pada kedua tipe *floating breakwater* yaitu tipe gergaji dan tipe ponton. Tegangan tali tambat kedua *floating breakwater* disajikan dalam bentuk grafik atau kurva. Kurva menunjukkan perbandingan tiap variasi elevasi muka air dan sudut *mooring* yang digunakan pada uji pemodelan numerik.

11. Perbandingan Tegangan Maksimum Tali Tambat Floating Breakwater Tipe Ponton Sistem Taut pada Eksperimen dengan Sistem Catenary pada Pemodelan Numerik

Setelah didapatkan tegangan dari floating breakwater tipe ponton dengan sistem catenary, kemudian dibandingkan dengan hasil tegangan eksperimen dengan sistem taut.

12. Perbandingan Tegangan Maksimum Tali Tambat Floating Breakwater Tipe Ponton Sistem Taut pada Eksperimen dengan Sistem Catenary pada Pemodelan Numerik

Setelah didapatkan tegangan dari floating breakwater tipe gergaji dengan sistem catenary, kemudian dibandingkan dengan hasil tegangan eksperimen dengan sistem taut.

13. Menentukan Kurva Perbandingan Tegangan Maksimum Tali Tambat

Pada tahap ini, tegangan maksimum tali tambat dari kedua tipe *floating breakwater* dibandingkan. *Floating breakwater* tipe gergaji dibandingkan dengan tipe ponton. Dari perbandingan ini dapat disimpulkan lebih efektif desain *floating breakwater* tipe gergaji atau tipe ponton.

Pada tahap ini penulis membandingkan tegangan maksimum tali tambat antara hasil eksperimen dan hasil tegangan maksimum tali tambat dengan *software ANSYS Aqwa*. Perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Perbedaan atau selisih dari tegangan maksimum tali tambat hasil eksperimen dan hasil *software* ANSYS Aqwa menunjukkan penurunan tegangan yang terjadi. Sehingga dapat ditentukan pada elevasi muka air (d), tinggi gelombang (H), dan periode gelombang (T) berapa yang paling efektif untuk digunakan tali tambat sistem *catenary*.

14. Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Pembuatan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian Model Numerik Gaya Tali Tambat Sistem *Catenary* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji. Pada laporan ini akan didapatkan jawaban dari rumusan masalah penulisan tugas akhir yang telah disebutkan dalam Bab I.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Floating Breakwater Tipe Gergaji sebagai Peredam Gelombang

Ada banyak jenis peredam gelombang (*breakwater*) yang telah digunakan untuk meredam gelombang. *Breakwater* merupakan bangunan penahan gelombang yang sangat efektif untuk digunakan sebagai pelindung pantai terhadap abrasi dan erosi pantai dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Belakangan ini telah banyak penelitian untuk mengembangkan struktur pantai penahan gelombang yang efektif yang dapat mereduksi energi gelombang serta memberikan keuntungan-keuntungan positif. Stuktur pantai penahan gelombang telah mengalami perkembangan yang signifikan. Diantaranya struktur pantai *breakwater* telah dikembangan secara terapung yang disebut dengan *floating breakwater*. *Floating breakwater* hadir sebagai solusi alternatif terhadap pemecah *fixed breawater* konvensional dan dapat digunakan secara efektif di daerah pesisir dengan kondisi lingkungan gelombang yang ringan. Kondisi tanah dan lingkungan yang kurang baik, kedalaman laut yang cukup dalam, fenomena *erosi* pantai yang *intens*. Penggunaan *floating breakwater* juga meminimalisir kemungkinan terjadinya sedimentasi di daerah pantai. *Floating breakwater* memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan *fixed breakwater*, diantaranya yaitu memiliki desain yang *fleksible* sehingga mudah dipindahkan dan dirakit kembali dengan layouts yang berbeda serta dalam pembuatannya memiliki biaya lebih rendah saat kedalaman laut bertambah serta instalasi yang mudah.

Floating breakwater yang akan diteliti pada tugas akhir ini disebut *floating breakwater* tipe gergaji. Disebut tipe gergaji karena pada permukaan *floating breakwater* yang menghadap laut lepas berbentuk seperti gerigi pada gergaji. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.2. Bentuk gergaji ini tentunya memiliki keuntungan yaitu lebih baik dalam meredam gelombang jika dibandingkan dengan tipe ponton. Jadi, daya redam gelombang yang terjadi pada tipe gergaji lebih besar.

4.2. Analisis Dimensi pada Pemodelan Fisik

Dalam pemodelan dilakukan pengecilan dari variabel tersebut dengan skala (n). Skala dari berbagai variabel/parameter dapat ditentukan berdasarkan hubungan antar parameter yang diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi, yaitu Bilangan Froude. Pada penelitian sebelumnya yang melakukan eksperimen fisik digunakan kriteria sebangun menurut kondisi bilangan Froude. Digunakan bilangan Froude karena pada eksperimen gaya gravitasi dan gaya inersia sama-sama memegang peranan penting dalam permasalahan.

Untuk mempermudah proses analisis data dari hasil eksperimen diperlukan adanya analisis dimensi didalam pemodelan fisik. Hasil dari analisis dimensi adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan sebagai acuan dalam penggambaran grafik hasil percobaan. Pada analisis tegangan tali mooring dipengaruhi oleh beberapa variabel, yaitu:

$$T_M = \emptyset[H_s, T, df, d, \alpha, \rho, g]$$

Dimana,

T_M = tegangan tali mooring (N)

Hs = tinggi gelombang signifikan (m)

T = periode gelombang (s)

df = draft (m)

d = elevasi muka air (m)

α = sudut antara mooring dengan floaters

ρ = densitas air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Variabel-variabel analisis dimensi pada penelitian ini dapat disajikan dalam tabel dibawah ini.

Simbol	Dimensi
T_M	MLT^{-2}
Hs	L
T	T
d	L

Simbol	Dimensi
df	L
α	
ρ	ML^{-3}
g	LT^{-2}

Analisis dimensi dengan menggunakan metode matriks, pemilihan variabel yang mewakili tiap dimensi (sebagai variabel independen), yakni [L] diwakili oleh Hs, [T] diwakili oleh g, dan [M] diwakili oleh ρ. Sehingga T_M, T, df, d sebagai variabel dependen pada n_1, n_2, n_3, dan n_4. Didapatkan beberapa penyelesaiian persamaan tak berdimensi sebagai berikut.

$$\frac{T_m T^2}{H_s^4 \rho} = \emptyset[\frac{df}{Hs}, \frac{gT^2}{Hs}, \frac{d}{Hs}]$$

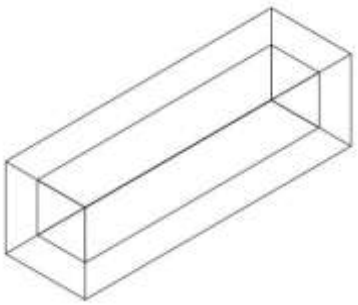
Setelah itu, dilakukan compounding pada bilangan tak berdimensi, sehingga menghasilkan persamaan tak berdimensi baru seperti berikut yang menjadi parameter yang diuji dalam penelitian ini, seperti wave steepness dan α.

$$\frac{T_m T^2}{H_s^4 \rho} = \emptyset[\frac{Hs}{gT^2}, \alpha]$$

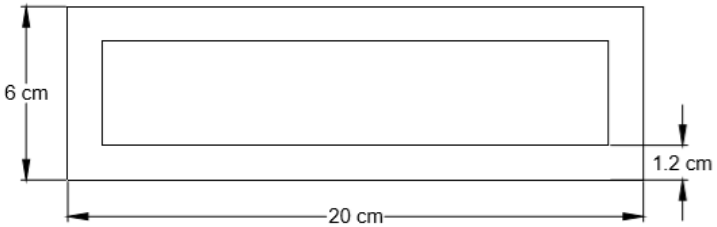
4.3. Pemodelan Floating Breakwater

Pada penelitian ini, struktur *floating breakwater* dimodelkan dengan menggunakan *software* AutoCAD. Dimensi *floating breakwater* bentuk ponton yang digunakan menyesuaikan dari dimensi eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya yaitu panjang 20 cm, lebar 6 cm, dan tinggi 6 cm. Untuk *floating breakwater* bentuk gergaji, segitiganya memiliki ukuran tinggi 1 cm dan alas 2 cm. Kemudian, ketebalan *floating breakwater* didapatkan dari perhitungan *draft*. *Draft* yang diinginkan setinggi 4 cm sehingga ketebalan yang diharuskan adalah 1,2 cm. Berikut adalah gambar *floating breakwater* bentuk ponton dan gergaji yang telah dimodelkan di AutoCAD.

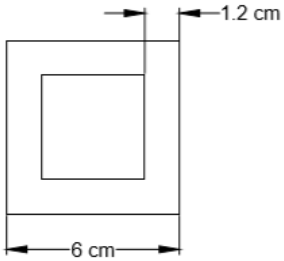
TAMPAK ISOMETRI



TAMPAK ATAS

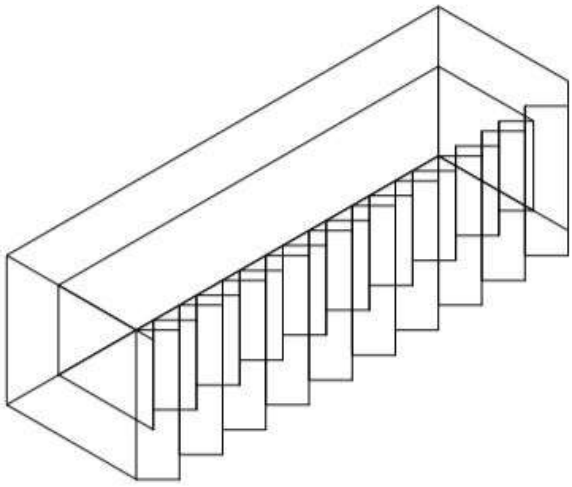


TAMPAK SAMPING

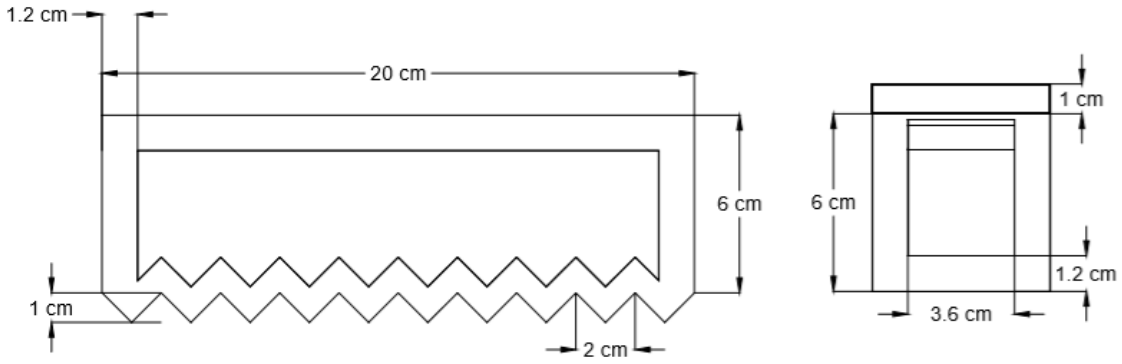


Gambar 4. 1. *Floating Breakwater* Tipe Ponton

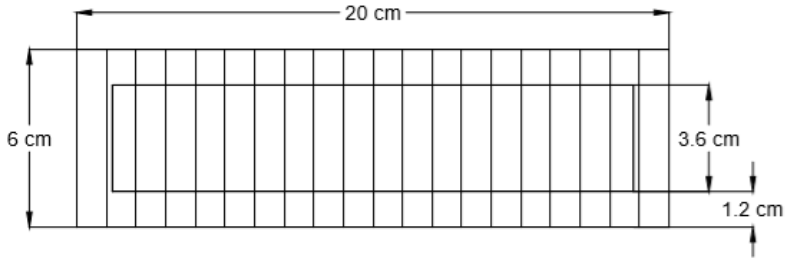
TAMPAK ISOMETRI



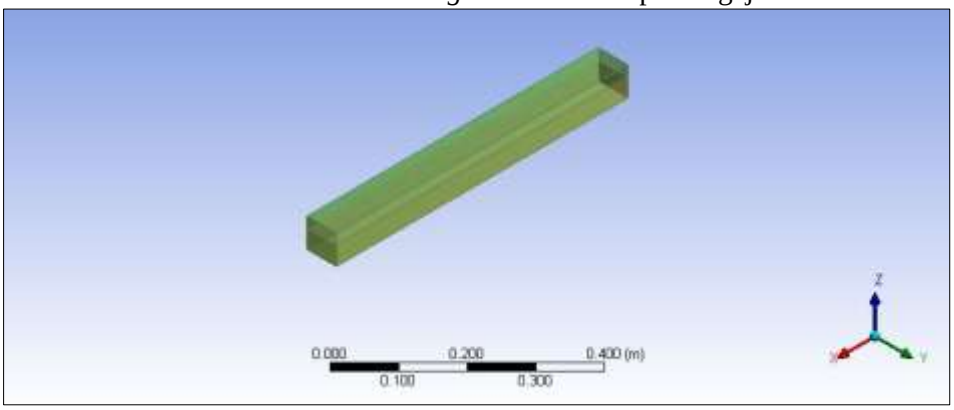
TAMPAK ATAS TAMPAK SAMPING



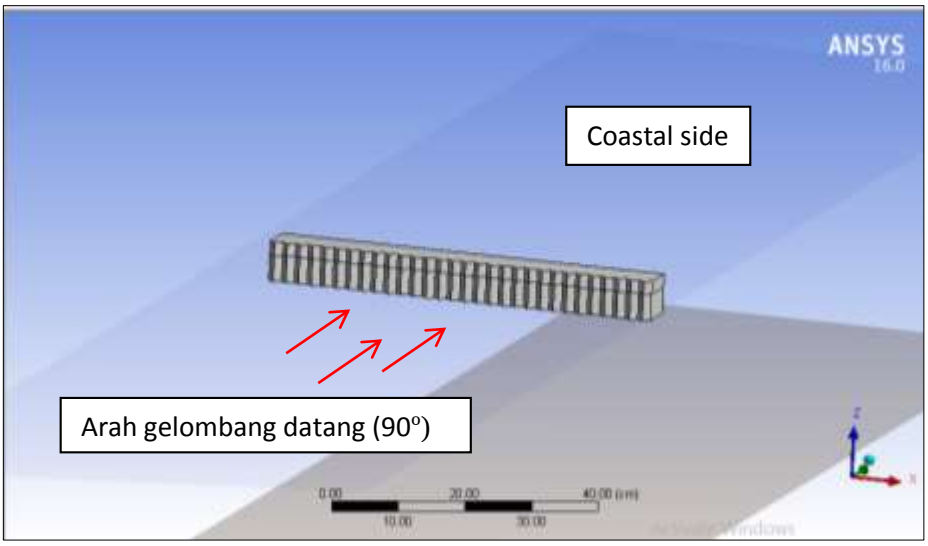
TAMPAK DEPAN



Gambar 4. 2. *Floating Breakwater* Tipe Gergaji



Gambar 4.3. Pemodelan *Floating Breakwater* Tipe Ponton pada *Software* ANSYS



Gambar 4. 4. Pemodelan *Floating Breakwater* Tipe Gergaji pada *Software* ANSYS

Gambar diatas merupakan tampak isometri dari *floating breakwater* tipe ponton dan tipe gergaji yang dimodelkan menggunakan ANSYS Aqwa. Setelah model diexport dari AutoCad, kemudian model didefinisikan bagian tercelup dan bagian yang diatas air. Tools yang digunakan bernama *Slice*. Analisa yang dilakukan pada Aqwa ini hanya pada permukaan saja, jadi permukaan-permukaan dibawah maupun diatas *draft* didefinisikan dengan *tools Surface from faces*.

4.4. Validasi Parameter Hidrostatis

Hasil pemodelan yang telah dibuat di AutoCAD kemudian divalidasi dengan hasil perhitungan manual. Nilai parameter-parameter yang didapatkan dari pemodelan di AutoCAD yaitu masa, volume, momen inersia, dan radius girasi. Berikut ini adalah hasil validasi parameter hidrostastis untuk *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berukuran 60 x 6 x 6 (cm).

Tabel 4.1 Validasi Parameter Hidrostatis

No.	Parameter Hidrostatis	Floating Breakwater					
		Ponton		Error(%)	Gergaji		Error(%)
		Analitis	ANSYS		Analitis	ANSYS	
1.	Volume Displacement (cm^3)	1475	1475	0	1657	1657	0
2.	WPA (cm^2)	360	360.001	0.002	372	371.8	0.05
3.	KB (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.

4.5. Analisis Gerak *Floating Breakwater* Pada Kondisi Terapung Bebas (*Free Floating*)

Dalam kondisi mengapung bebas, karakteristik gerakan *floating breakwater* akan menghasilkan moda gerak vertikal yang lebih dominan daripada moda gerak horizontal. Moda gerak vertikal yang dimaksud adalah gerakan *heave, roll,* dan *pitch,* sedangkan moda gerak horizontal adalah gerakan *surge*, *sway*, dan *pitch*. Pada moda gerak vertikal lebih dominan karena 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 lebih tinggi (melonjak tajam). Untuk moda gerak horizontal tidak memiliki faktor kekakuan sehingga akan menyebabkan hasil faktor redaman relatif besar. Oleh karena itu, pada 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.

Skenario pembebanan yang dilakukan untuk menganalisa gerakan *floating breakwater* pada penelitian ini hanya menggunakan arah datang gelombang 90 derajat. Jadi, pada *input* di *software* ANSYS Aqwa hanya dimasukkan arah beban gelombang 90 derajat.

4.5.1. Response Amplitude Operators (RAO) Pada Floating Breakwater Tipe Ponton Kondisi Free Floating

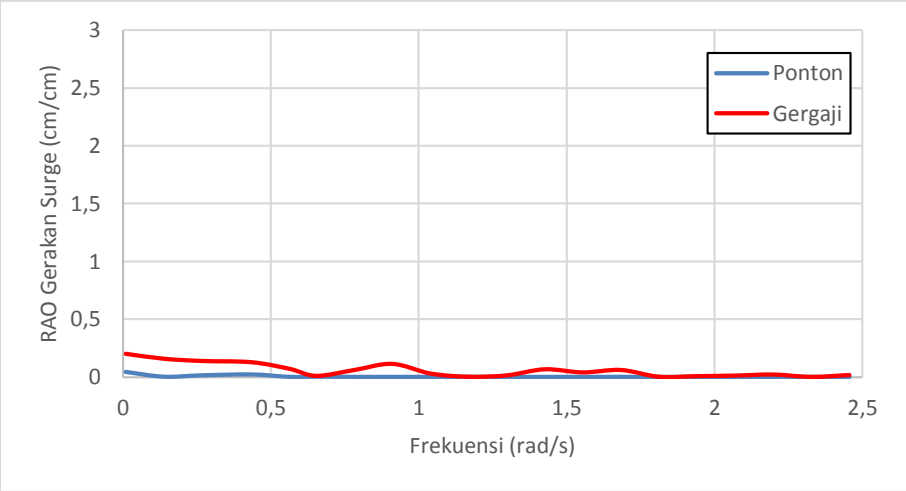
Untuk mengetahui RAO *floating breakwater* pada kondisi *free floating* dibantu dengan menggunakan software ANSYS Aqwa. Untuk variasi tinggi gelombang tidak di masukan pada simulasi ini, karena secara otomatis ANSYS Aqwa akan menghitung pada amplitudo 1 m. Nilai yang dihasilkan bersifat linear terhadap tinggi gelombang akan tetapi pada frekuensi yang sama. Setelah itu akan menghasilkan respon gerak *floating breakwater* pada kondisi *free floating* dengan arah pembebanan 90 derajat.

Tabel 4.2 Parameter untuk Input RAO

No.	Parameter	Nilai
1.	Variasi kedalaman air (cm)	41, 43, dan 45
2.	Massa jenis air (g/cm^3)	1.025
3.	Ukuran tempat air pada sumbu X (cm)	70
4.	Ukuran tempat air pada sumbu Y (cm)	360
5.	Massa struktur (g)	1512.6
6.	COG di sumbu X (cm)	0
7.	COG di sumbu Y (cm)	0
8.	COG di sumbu Z (cm)	-1
9.	Jari-jari Girasi :	
	Kxx (cm)	2.91
	Kyy (cm)	17.55
	Kzz (cm)	17.53
10.	Momen Inersia :	
	Ixx ($g.cm^2$)	12808.84806
	Iyy ($g.cm^2$)	465884.5815
	Izz ($g.cm^2$)	464823.34134

4.5.1.1. RAO pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Tipe Gergaji

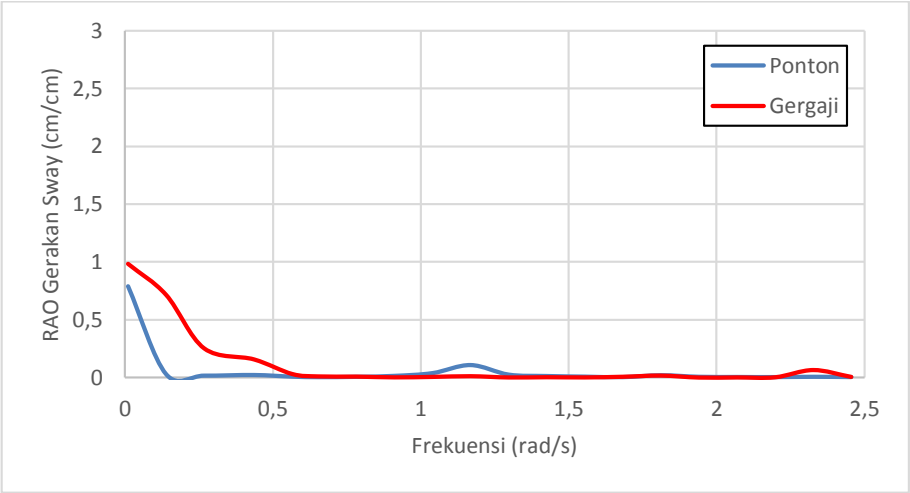
a. Analisa RAO pada Gerakan *Surge*



Gambar 4.5. RAO Gerakan *Surge* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

Karakteristik gerakan *surge* pada *floating breakwater* baik tipe ponton maupun gergaji pada arah 90° bernilai sangat kecil dan hampir mendekati nol. 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 terjadi gerakan surge.

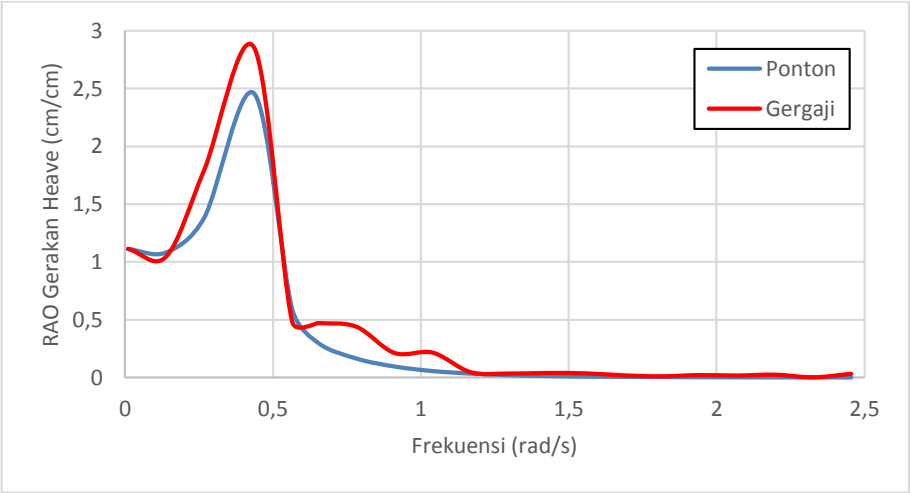
b. Analisa RAO pada Gerakan *Sway*



Gambar 4.6. RAO Gerakan *Sway* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

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.

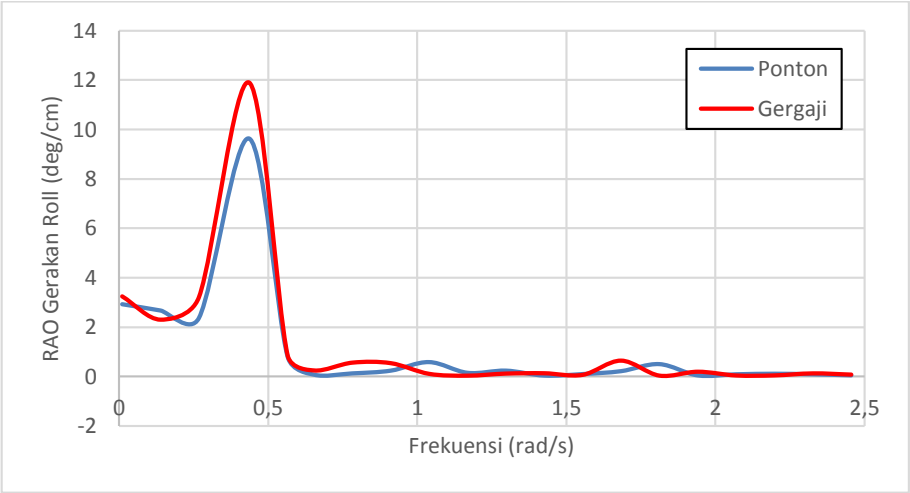
c. Analisa RAO pada Gerakan *Heave*



Gambar 4.7. RAO Gerakan *Heave* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

RAO gerakan *heave* seperti yang dapat dilihat pada gambar di atas adalah contoh ysng 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 gadual. 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.

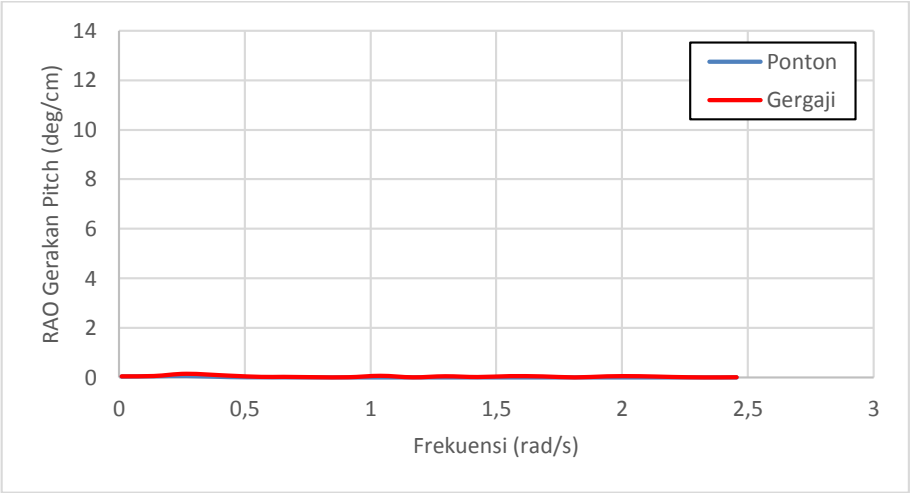
d. Analisa RAO pada Gerakan Roll



Gambar 4.8. RAO Gerakan *Roll* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

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.

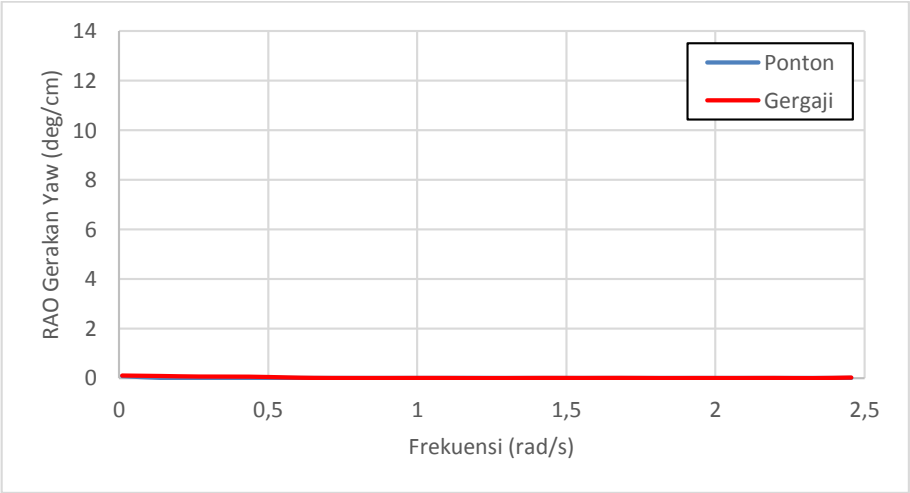
e. Analisa RAO pada Gerakan *Pitch*



Gambar 4.9. RAO Gerakan *Pitch* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

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 pada Gerakan *Yaw*



Gambar 4.10. RAO Gerakan *Yaw* pada *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

Gerakan *yaw* pada Gambar 4.10 menunjukkan respon floating breakwater pada gelombang sisi bernilai nol dan mendekati nol. 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. Dari hasil RAO pada enam derajat kebebasan kondisi *free floating* dapat disimpulkan bahwa nilai respon gelombang didominasi oleh gerakan *heave*, *roll*, dan *sway*. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem tambat supaya gerakan *heave*, *roll*, dan *sway* dapat terakomodasi dan *floating breakwater* tetap pada posisi.

4.6. Sistem *Mooring Catenary*

Sistem *mooring* memiliki peran untuk menjaga posisi struktur *floating breakwater*. Faktor penentuan mooring sistem yaitu tidak membatasi pergerakan yang menguntungkan performa struktur, ketersediaan ruang dalam penggunaan sistem mooring, dan gaya maksimum yang diizinkan pada sistem struktur dan mooring. Pemilihan jenis *mooring* yang digunakan pada *floating breakwater* ini adalah *catenary mooring system*. Berdasarkan faktor penentuan *mooring* sistem yang telah disebutkan diatas, sistem *mooring catenary* tidak membatasi perilaku dinamik *floating breakwater* yang menguntungkan bagi performa pemecah gelombang terapung (terutama *heave*). Urgensi digunakan sistem *catenary* berkaitan dengan kemampuan sistem *catenary* yang mampu mengakomodasi gerakan struktur secara vertikal dengan baik.

. *Catenary mooring line* ini adalah penambat struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary* yang bertujuan untuk memanfaatkan berat *mooring* sehingga struktur terapung tertahan di posisinya. Biasanya *catenary mooring system* ini digunakan pada kondisi perairan dangkal hingga menengah. Desain *mooring* struktur *floating breakwater* ini memerlukan 4 buah *mooring* yang akan di tambatkan. Analisa mooring struktur ini di berikan variasi ketinggian gelombang, kedalamann laut, dan periode gelombang yang nantinya akan berpengaruh pada *tension mooring* dan *offset* pada *floating breakwater*. Namun pada penelitian ini hanya akan dianalisa *tension mooring* pada *floating breakwater*.

4.7. Konfigurasi *Mooring Line Floating Breakwater* Pada Saat Tertambat

Jenis *mooring line* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *catenary*. Pada jenis *mooring line catenary* prinsip kerjanya memanfaatkan berat dari tali itu sendiri. Bahan yang digunakan untuk model numerik sama dengan saat eksperimen yaitu *polyethylen.* Tali jenis ini mempunyai sifat lebih ringan daripada rantai baja. Ukuran tali yang digunakan dalam pemodelan uji fisik digunakan tali berdiameter 1 mm. Spesifikasi tali yang digunakan terdapat dalam Tabel 4.3 dan gambar tali seperti pada Gambar 4.3. dibawah ini.

Tabel 4.3 Spesifikasi Tali *Mooring*

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

Gambar 4.11. Material *Mooring Line* Berupa *Polyethylene*

4.7.1. Penentuan Panjang *Mooring Line* Jenis *Catenary*

Perhitungan panjang *mooring line* yang dibutuhkan dan jarak horizontal (X) menggunakan rumus Faltinsen sebagai berikut.

Tabel 4.4 Parameter Perhitungan Panjang *Mooring Line*

No.	Properties *polyethylene*	Unit	Nilai
1.	Diameter tali (d_i)	mm	1
2	*Breaking strength* tali (T_{maxi})	kN	0.7
3.	*Weight* (w)	kg/m	0.07
4.	Tegangan horizontal (T_H)	kN	0.07
5.	Perbandingan T_H dan w (a)	kN.m/kg	1

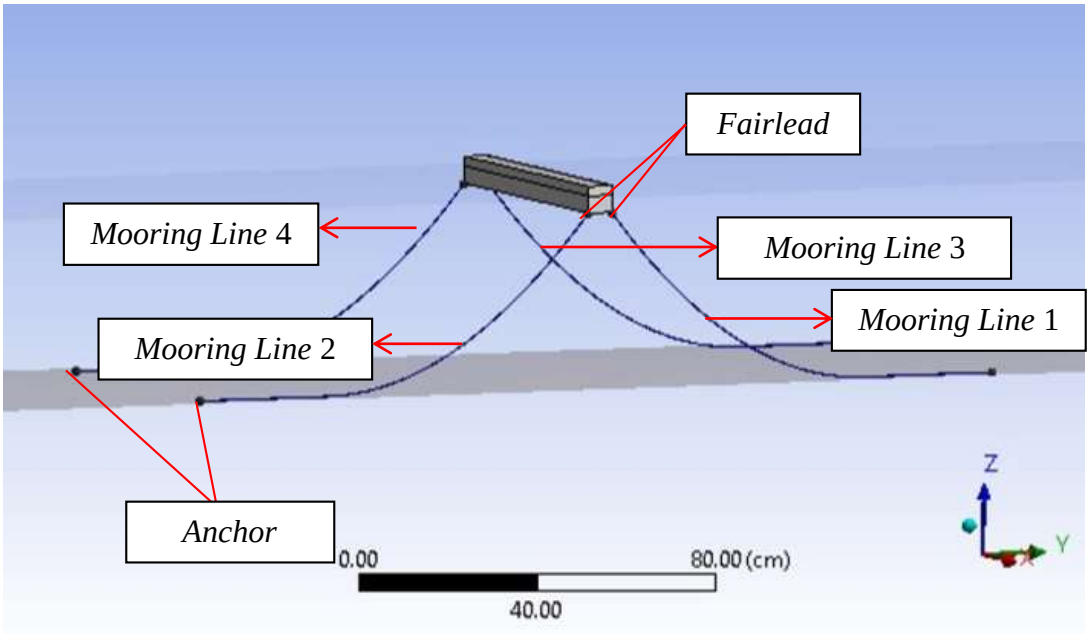
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Panjang *Mooring Line* dengan Variasi Kedalaman

No.	Variasi Kedalaman	Unit	Nilai
1.	Kedalaman 41 cm		
	Panjang minimum (L_{min})	cm	99
	Jarak horizontal *anchore* (X)	cm	87
2.	Kedalaman 43 cm		
	Panjang minimum (Lmin)	cm	102
	Jarak horizontal *anchore* (X)	cm	89
3.	Kedalaman 45 cm		
	Panjang minimum (Lmin)	cm	105
	Jarak horizontal *anchore* (X)	cm	92

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan panjang *mooring line* minimum untuk variasi kedalaman 41 cm sebesar 99 cm dengan jarak horizontal *anchor* 87 cm. Pada kedalaman 43 cm, panjang minimum *mooring line* sebesar 102 cm dan jarak horizontal *anchor* 89 cm dan pada variasi kedalaman 45 cm didapatkan panjang *mooring line* minimum sebesar 105 cm dan jarak horizontal *anchor* sebesar 92 cm.

4.7.2. Layout Catenary Mooring Line

Letak pemasangan *mooring line* ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *catenary mooring* yang nantinya akan menjadi acuan untuk mengetahui ordinat peletakan *mooring line*. Jumlah *mooring line* yang diperlukan ada 4 buah. *Mooring line* pada *floating breakwater* ini dipasang pada ujung struktur *floating breakwater* (*fairlead)* dan pada *anchor*.



Gambar 4.12. Bagian-bagian *Catenary Mooring Line*

Setiap *mooring line* dihubungkan dengan *fairlead* dan *anchor* sesuai dengan koordinat variasi. Berikut adalah keterangan dari bagian-bagian *layout catenary mooring line* :

- Layout Mooring Line Kedalaman 41 cm

Tabel 4.6. Koordinat *Anchor* pada Seabed dan *Fairlead* Kedalaman 41 cm

No. Mooring Line	*Anchor*			*Fairlead*		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	90	-41	30	3	-4
2	30	-90	-41	30	-3	-4
3	-30	90	-41	-30	3	-4
4	-30	-90	-41	-30	-3	-4

- Layout Mooring Line Kedalaman 43 cm

Tabel 4.7. Koordinat *Anchor* pada Seabed dan *Fairlead* Kedalaman 43 cm

No. Mooring Line	*Anchor*			*Mooring Line*		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	92	-43	30	3	-4
2	30	-92	-43	30	-3	-4
3	-30	92	-43	-30	3	-4
4	-30	-92	-43	-30	-3	-4

- Layout Mooring Line Kedalaman 45 cm

Tabel 4.8. Koordinat *Anchor* pada Seabed dan *Fairlead* Kedalaman 45 cm

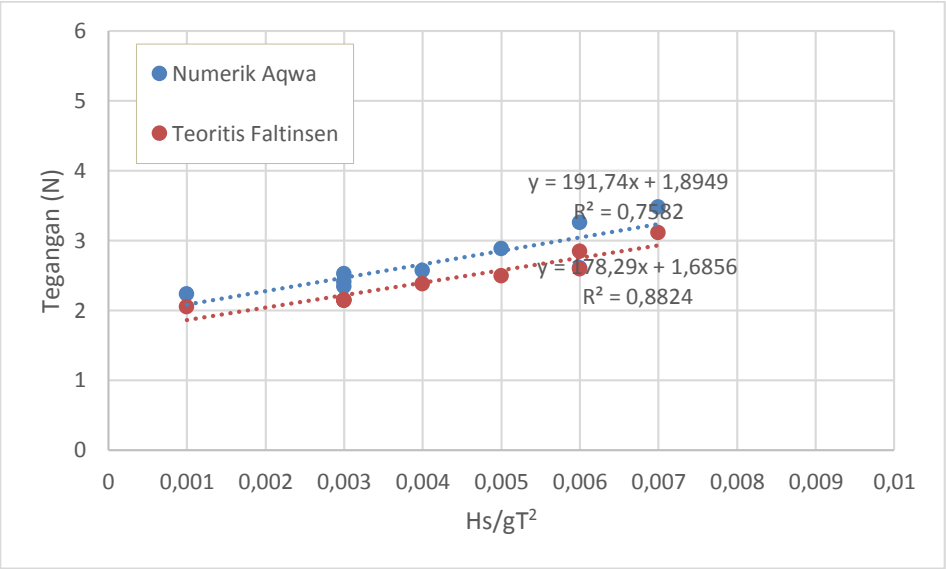
No. Mooring Line	*Anchor*			*Mooring Line*		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	95	-45	30	3	-4
2	30	-95	-45	30	-3	-4
3	-30	95	-45	-30	3	-4
4	-30	-95	-45	-30	-3	-4

Tabel-tabel diatas merupakan koordinat yang digunakan untuk meletakkan *anchor* dan *fairlead*.

4.8. Analisis Tegangan Floating Breakwater

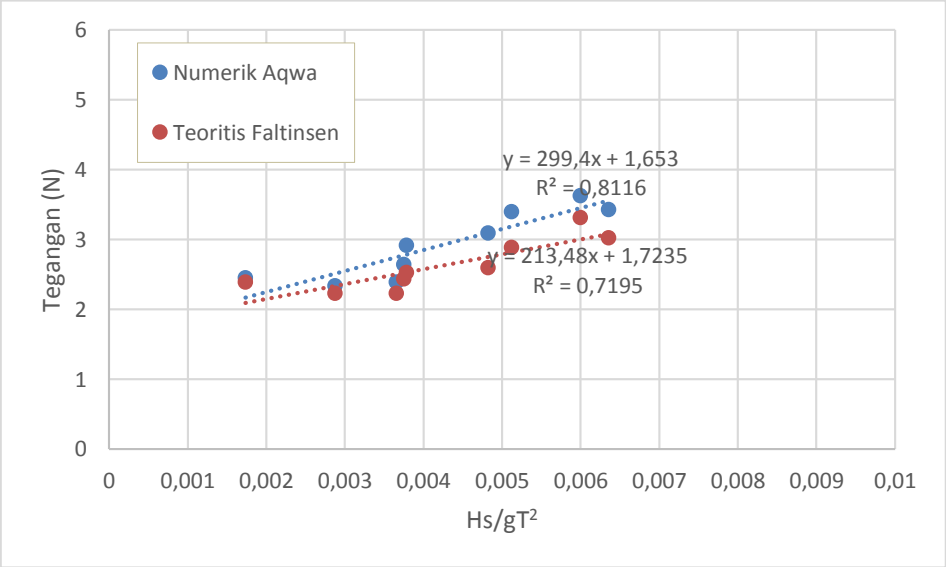
4.8.1. Validasi Tegangan Floating Breakwater

Simulasi *floating breakwater* dengan *software ANSYS Aqwa* dilakukan pada dua tipe *floating breakwater* yaitu ponton dan gergaji. Dari simulasi numerik yang dilakukan maka didapatkan hasil tegangan maksimum pada tiap tipe *floating breakwater*. Kemudian dilakukan validasi tegangan hasil simulasi numerik dengan perhitungan teoritis disetiap variasi kedalaman. Besar koefisien drag dan koefisien inersia yang digunakan dalam perhitungan didasarkan pada OCDI Port Design Standard (2002) dengan nilai berturut turut adalah 2 dan 2,19. Berikut merupakan grafik perbandingan antara perhitungan teoritis dengan menggunakan rumus Faltinsen (1990) dan simulasi dengan *ANSYS Aqwa* pada *floating breakwater* tipe gergaji.

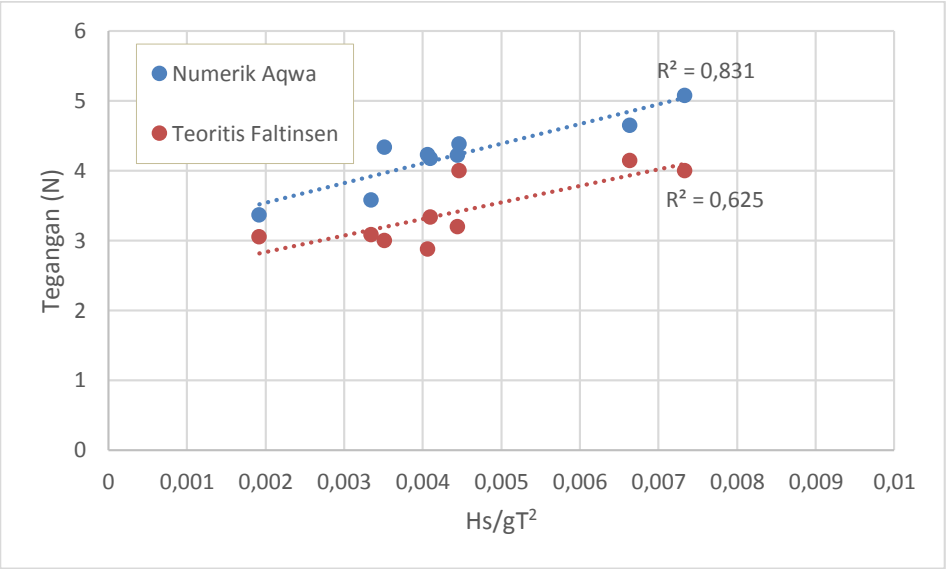


Gambar 4.13. Perbandingan Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* Hasil Pemodelan Numerik dan Perhitungan Teoritis FB Tipe Gergaji;d=41 cm

.



Gambar 4.14. Perbandingan Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* Hasil Pemodelan Numerik dan Perhitungan Teoritis FB Tipe Gergaji;d=43 cm



Gambar 4.15. Perbandingan Tegangan *Mooring* Hasil Pemodelan Numerik dan Perhitungan Teoritis FB Tipe Gergaji;d=45 cm

Dari Gambar 4.13. hingga Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa tegangan mooring hasil pemodelan numerik memiliki nilai yang lebih besar dari tegangan hasil perhitungan teoritis. Terjadinya perbedaan hasil tegangan antara pemodelan numerik dan perhitungan teoritis dikarenakan pendefinisian tegangan horizontal (T_H) pada ANSYS Aqwa dan perhitungan teoritis berbeda. Untuk mengetahui apakah data hasil dari pemodelan numerik tersebut sudah baik, maka perlu dilakukan perhitungan RMSE (*Root Main Square Error*). Nilai RMSE yang kecil menunjukkan bahwa data semakin baik. Berikut rumus RMSE yang digunakan :

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

Tabel 4.9 Ketentuan RMSE

RMSE	Tingkat Kesalahan
0 – 0.299	Kecil
0.3 – 0.599	Sedang
0.6 – 0.899	Besar
> 0.9	Sangat besar

Hasil perhitungan RMSE untuk *floating breakwater* tipe gergaji pada setiap variasi kedalaman adalah sebagai berikut:

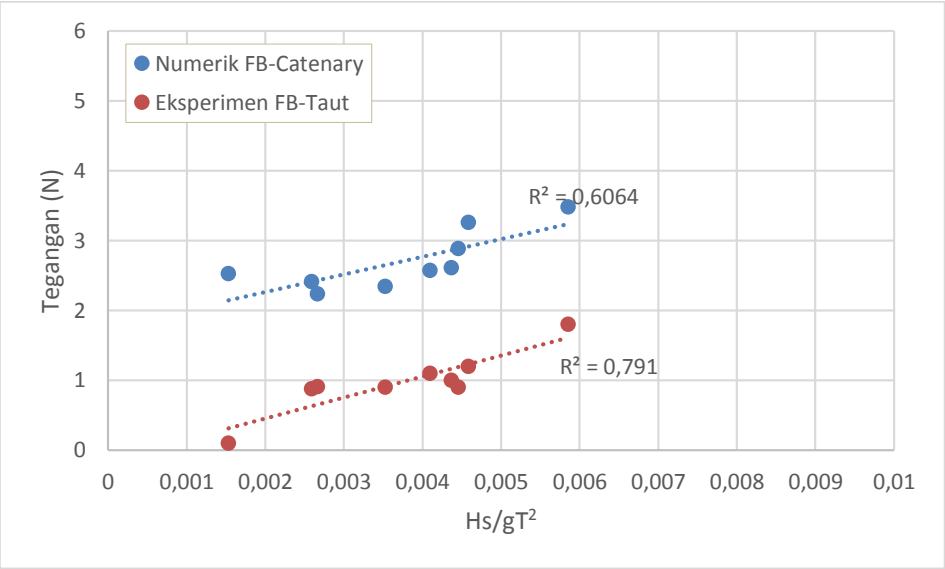
Tabel 4.10 Nilai RMSE Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakw*ater Tipe Gergaji

No	Elevasi Muka Air (cm)	RMSE
1	41	0.294
2	43	0.334
3	45	0.434

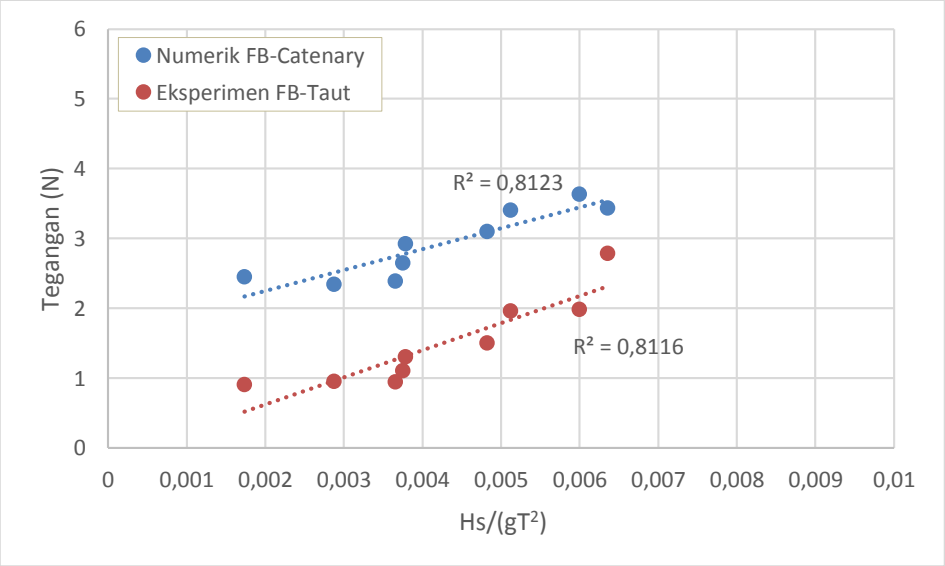
Pada saat elevasi muka air 41 cm nilai error termasuk dalam tingkat kesalahan kecil karena bernilai 0.294. Sedangkan pada elevasi muka air 43 cm dan 45 cm termasuk tingkat kesalahan sedang dengan nilai error sebesar 0,334 dan 0,434. Dapat dilihat pada tabel bahwa semakin bertambahnya elevasi muka air juga semakin naik nilai errornya. Dari keseluruhan nilai error memiliki tingkat kesalahan dari kecil hingga sedang.

4.8.2 Perbandingan Tegangan Hasil Eksperimen dan Model Numerik

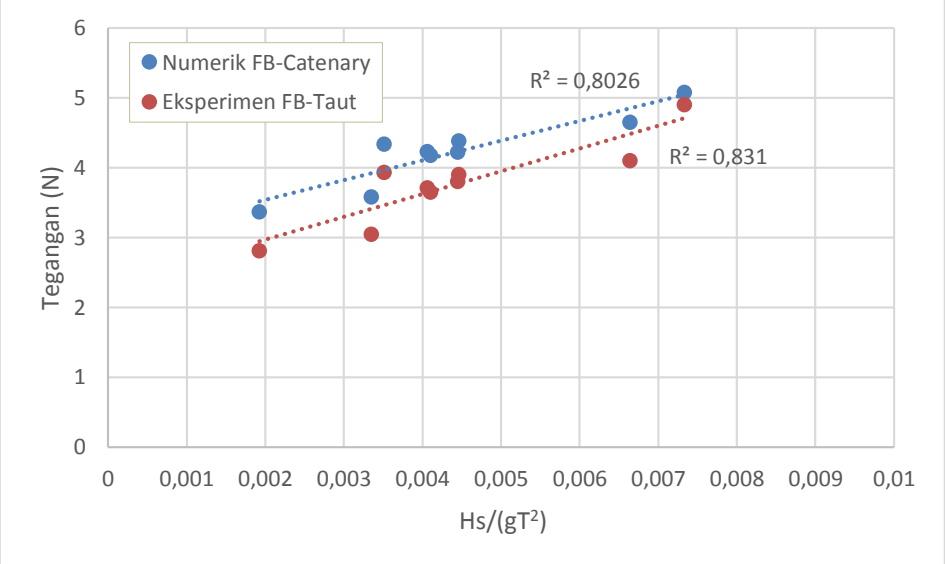
Pemodelan numerik *floating breakwater* dengan ANSYS Aqwa dilakukan pada dua tipe *floating breakwater* yaitu ponton dan gergaji. Telah dilakukan uji eksperimen kedua tipe *floating breakwater* pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan *mooring* sistem taut. Perlu dilakukan perbandingan antara hasil tegangan uji eksperimen dan pemodelan numerik sehingga dapat dilihat hasil tegangan dari jenis *mooring* sistem yang digunakan. Berikut merupakan grafik perbandingan antara hasil uji eksperimen dan pemodelan numerik. Untuk *floating breakwater* tipe ponton terdapat pada lampiran.



Gambar 4.16. Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ; d = 41cm



Gambar 4.17. Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ; d = 43cm

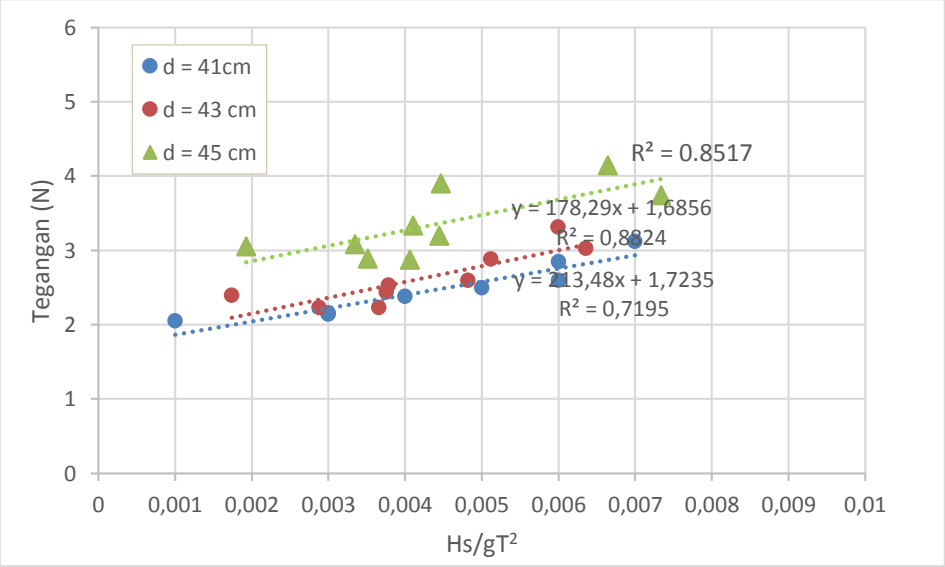


Gambar 4.18. Tegangan *Mooring* pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji ; d = 45cm

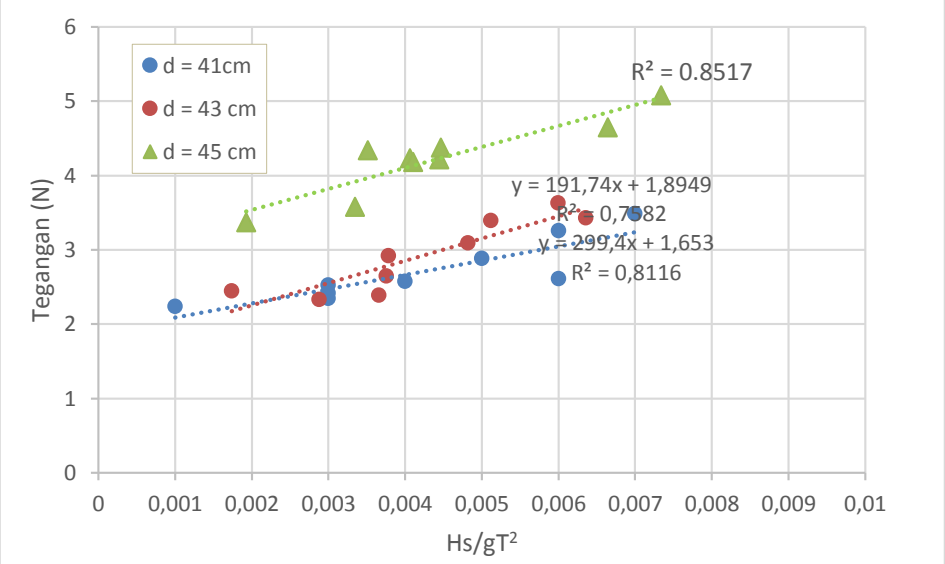
Berdasarkan Gambar 4.16 - 4.18 secara keseluruhan, pemodelan numerik *floating breakwater* sistem *catenary* yang dihasilkan memiliki nilai tegangan yang lebih besar dari tegangan yang dihasilkan dari uji eksperimen dengan sistem *taut*. Namun perbedaan nilai tegangan yang terjadi bervariasi menurut elevasi muka air yang diujikan. Hasil ini menunjukkan bertambahnya elevasi muka air akan berdampak pada berkurangnya selisih tegangan antara sistem *taut* dan sistem *catenary* pada *floating breakwater* tipe gergaji. Secara berturut-turut, perbedaan nilai tegangan hasil pemodelan numerik sistem catenary dan eksperimen sistem taut pada kedalaman 41 cm, 43 cm, dan 45 cm adalah 63.89%, 48.98%, dan 10.98%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Shanying,et al.(2013) mengenai perbedaan sistem *catenary* dan sistem *taut* didapatkan bahwa tegangan *mooring* sistem *catenary* lebih besar 34.79% daripada tegangan *mooring* sistem *taut*. Penelitian tersebut mengenai uji respon dinamik pada kapal FPSO dengan menggunakan *software* CFD untuk mengetahui hasil tegangan yang terjadi pada *mooring* sistem *catenary* dan sistem *taut*.

4.8.3 Pengaruh Elevasi Muka Air

Pemodelan numerik yang dilakukan dengan beberapa variasi elevasi muka air (d) menghasilkan nilai tegangan yang cukup bervariasi, begitu juga dengan perhitungan teoritis. Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh perbedaan elevasi muka air terhadap tegangan *mooring* dari *floating breakwater* tipe gergaji. Grafik perbandingan hubungan tegangan *mooring* dan *wave steepness* terhadap variasi elevasi muka air dari *floating breakwater* tipe gergaji ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20. Pada setiap grafik menunjukkan 3 macam variasi elevasi muka air, yakni 41 cm, 43 cm, dan 45 cm. Tegangan mooring yang dihasilkan dari perhitungan teoritis ditunjukkan pada Gambar 4.19. Sedangkan tegangan mooring yang dihasilkan dari pemodelan numerik ditunjukkan pada Gambar 4.20 dibawah ini.



Gambar 4.19. Hubungan Tegangan *Mooring* dan *Wave steepness* pada FB Tipe Gergaji Sistem *Catenary* diberbagai Elevasi Muka Air dari Perhitungan Teoritis

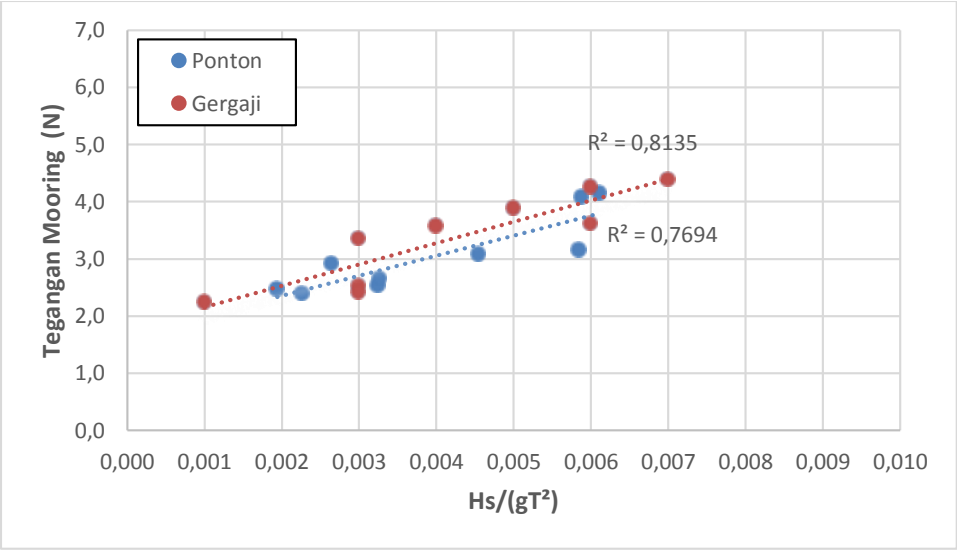


Gambar 4.20. Hubungan Tegangan *Mooring* dan *Wave steepness* pada FB Tipe Gergaji Sistem *Catenary* diberbagai Elevasi Muka Air dari Pemodelan Numerik

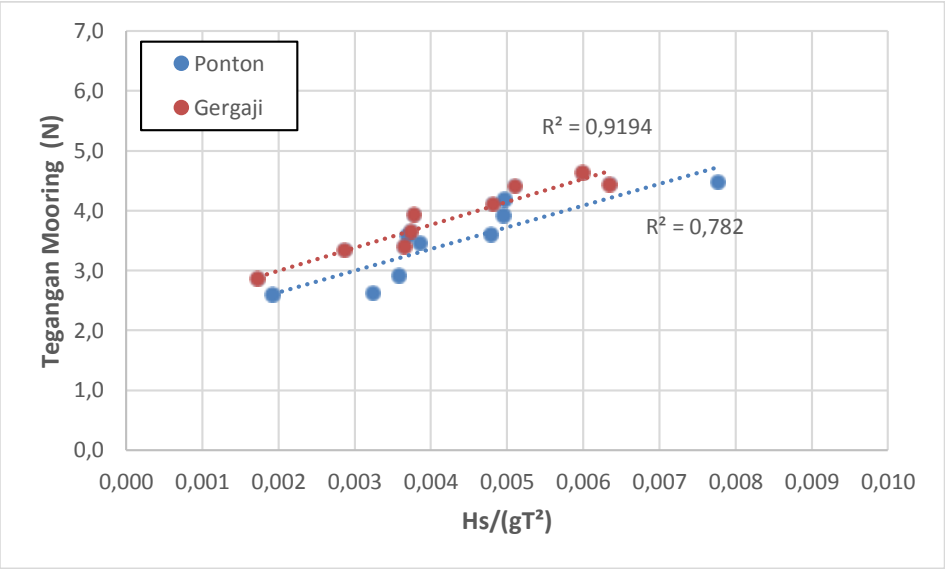
Pada pemodelan numerik maupun perhitungan teoritis *floating breakwater* tipe gergaji didapatkan tegangan *mooring* terbesar terjadi pada elevasi muka air 45 cm. Namun tegangan terbesar terjadi pada pemodelan numerik, pada elevasi muka air 41 cm terjadi tegangan maksimum 3.48 N. Kemudian pada elevasi muka air 43 cm dan 45 cm secara berturut-turut 4.78 N dan 5.08 N. Dengan membandingkan ketiga grafik tersebut, didapatkan bahwa pada elevasi muka air 43 cm memiliki nilai tegangan lebih kecil daripada nilai tegangan pada elevasi muka air 45 cm. Sedangkan, pada elevasi muka air 41 cm juga memiliki nilai tegangan lebih kecil daripada nilai tegangan pada elevasi muka air 43 cm dan 45 cm. Perbedaan tegangan pada kedalaman 45 cm dengan kedalaman 41 cm dan 43 cm secara berturut-turut yaitu 35.99% dan 30.88%. Sehingga, berdasarkan kedua grafik pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan *mooring* dan *wave steepness* (Hs/gT^2) saling berbanding lurus, artinya kenaikan *wave steepness* berpengaruh pada terjadinya kenaikan tegangan *mooring*. Selain itu, elevasi muka air juga saling berbanding lurus terhadap nilai tegangan *mooring*, semakin besar elevasi muka air, semakin besar juga nilai tegangan *mooring* yang terjadi.

4.8.4 Perbandingan Tipe Floating Breakwater

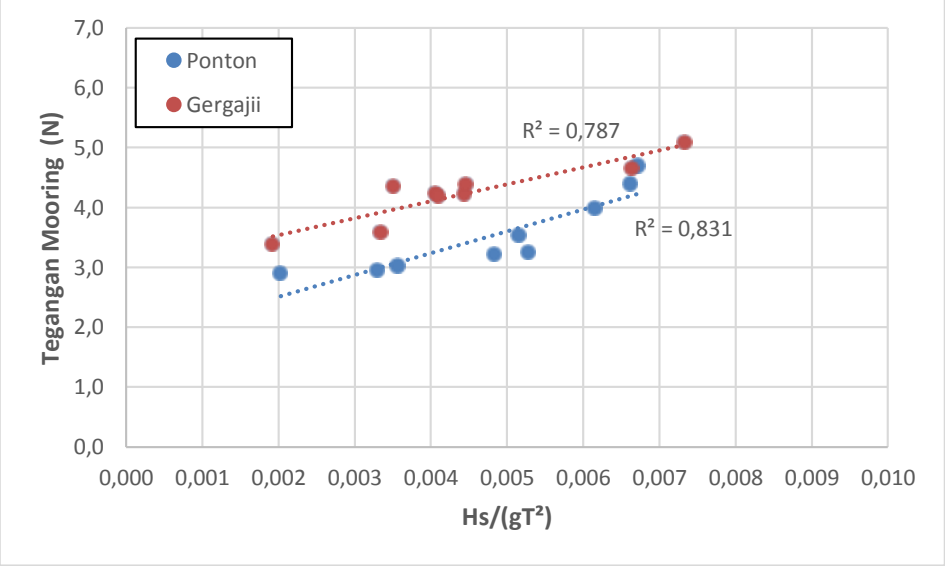
Pemodelan numerik *floating breakwater* dengan *software* ANSYS Aqwa dilakukan pada tipe ponton dan gergaji dengan sisteam *catenary*. Terdapat perbedaan nilai tegangan tali tambat diantara kedua jenis struktur tersebut. Grafik-grafik perbandingan tegangan *floating breakwater* dibawah ini menunjukkan bahwa nilai tegangan mooring tipe gergaji lebih besar dibandingkan dengan tegangan *mooring* tipe ponton. Perbandingan tegangan tali tambat kedua *floating breakwater* ini disajikan pada Gambar 4.21- 4.23 berikut ini pada setiap elevasi muka air.



Gambar 4.21. Perbandingan Hasil Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* pada Elevasi Muka Air 41 cm



Gambar 4.22. Perbandingan Hasil Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* pada Elevasi Muka Air 43 cm



Gambar 4.23. Perbandingan Hasil Tegangan *Mooring* Sistem *Catenary* pada Elevasi Muka Air 45 cm

Floating breakwater tipe gergaji pada setiap skenario pemodelan selalu memiliki nilai tegangan *mooring* yang lebih besar daripada tipe ponton, hal ini sangatlah wajar karena luas permukaan bidang *floating breakwater* tipe gergaji lebih luas daripada tipe ponton. Luas permukaan bidang *floating breakwater* sangatlah berpengaruh terhadap gaya drag yang terjadi dengan keterkaitan berbanding lurus terhadap besarnya tegangan *mooring*. Selain itu,

berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bhat (1998) juga didapatkan bahwa 72,37% dari total skenario pengujian, model bentuk *rectangular* dengan luas permukaan tercelup 0,3748 m^2 memiliki tegangan lebih besar daripada bentuk *circular* dengan luas permukaan tercelup 0,2574 m^2.

Berdasarkan tabel dibawah ini dapat diketahui *floating breakwater* tipe gergaji mempunyai tagangan *mooring* yang lebih besar dibandingkan dengan tipe ponton. Perbedaan tegangan dari kedua *floating breakwater* juga bervariasi.

Tabel 4.11 Perbedaan Tegangan antara *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Gergaji

No	Elevasi Muka Air (cm)	Rata-Rata Tegangan (N)		Perbedaan Tegangan (%)
		Ponton	Gergaji	
1	41	3.044	3.360	9.40
2	43	3.474	3.854	9.85
3	45	3.566	4.225	16.14

Meskipun keseluruhan hasil pemodelan numerik *floating breakwater* memiliki tegangan *mooring* yang lebih besar pada *floating breakwater* tipe gergaji, namun hal itu juga dibarengi dengan lebih besar juga daya redam gelombang yang terjadi.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

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 nol.
   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 gadual. 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 pemodelan numerik dengan hasil perhitungan teoritis dan uji eksperimen yang telah ada pada floating breakwater tipe gergaji adalah :

   a. Tegangan yang dihasilkan dari pemodelan numerik menggunakan sistem catenary lebih besar dibanding tegangan sistem taut yang dihasilkan dari uji eksperimen oleh peneliti sebelumnya. Dengan elevasi muka air 41 cm, 43 cm, 45 cm secara berturut-turut selisih mencapai 63.89%, 48.98% dan 10.98%. Hal ini dapat dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Shanying, et al.(2013) bahwa, pada kondisi yang sama

tegangan yang terjadi pada sistem *catenary* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan sistem *taut*.

b. Nilai RMSE bervariasi, namun masih tetap dalam rentang tingkat kesalahan kecil dan sedang (RMSE : 0,294 – 0,434). RMSE terkecil terjadi pada saat elevasi muka air 41 cm yaitu bernilai 0,294 dan termasuk dalam tingkat kesalahan kecil. Kemudian RMSE terbesar terjadi pada saat elevasi muka air 45 cm yaitu bernilai 0,434 dan termasuk dalam tingkat kesalahan sedang.

3. Floating breakwater tipe gergaji memiliki nilai tegangan mooring yang lebih besar daripada floating breakwater tipe ponton pada setiap skenario pemodelan numerik.

   a. Pada variasi elevasi muka air 41 cm, 43 cm, dan 45 cm floating breakwater tipe gergaji dapat menaikkan tegangan mooring secara berturut-turut daripada floating breakwater tipe ponton yaitu sebesar 9.40%, 9.85%, dan 16.14%.
   b. Tegangan mooring terbesar floating breakwater tipe gergaji terjadi pada elevasi muka air 45 cm didapatkan sebesar 5.08 N. Hal tersebut menunjukkan semakin tinggi elevasi muka air maka tegangan tali tambat akan semakin besar.
   c. Tegangan mooring terkecil floating breakwater tipe gergaji terjadi pada elevasi muka air 41 cm didapatkan sebesar 2.238 N. Hal tersebut menunjukkan semakin rendah elevasi muka air maka tegangan tali tambat akan semakin kecil.

5.2 Saran

Setelah dilakukan pemodelan numerik dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis memiliki beberapat saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

a. Memvariasikan konfigurasi bentuk sistem tambat dari model floating breakwater, parameter tinggi gelombang, periode gelombang rencana, kedalaman air serta jenis mooring yang digunakan, misalnya chain dan wire rope.
b. Software CFD lainnya dapat digunakan seperti, MOSES dan Orcaflex.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR PUSTAKA

Bhattacharyya, R. 1972. *Dynamic of Marine Vehicles*. New York : a Wiley Interscience Publication.

Bhat, S. S. 1998. Performance of Twin-Pontoon Floating Breakwaters. Canada: Thesis Department of Civil Engineering, The University of British Columbia.

Dean, R. G. dan R. A. Dalrymple. 1984. *Water Wave Mechanics For Engineers And Scientists*. Singapore : World Scientific Publishing. CO. Pte. Ltd

Dong, G. H. 2008. *Experiments on wave transmission coefficient of floating breakwater* . Ocean Engineering 35. 931–938.

Djatmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITSpress.

Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambdrige : Press Syndicate of The University of Cambridge.

Fousert, M. W. 2006. "*Floating Breakwater Theoretical Study of Dynamic Wave Attenuating System*". Final Report Of The Master Thesis: Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geoscience, Delft.

Hasselman, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselman, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Muller, D. J. Oblers, K. Ritcher, W. Sell, dan H. Walden. 1973. *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg : Deutches Hydrographiches Institut.

Kim, C. G., H. S. Kim, T. H. Kim, dan C. I. Baik. 2001. "*Monitoring of Fish Reef Installed in Koje Coastal Waters*". Ocean and Polar Research, Vol. 23 (3): 305-310.

Manan, M. H. 2017. *Desain Tali Tambat pada Struktur Floating Breakwater dengan Konfigurasi Taut Mooring System*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

McCartney, B. L. 1985. "*Floating Breakwater Design*". Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering: Vol. 111, No. 2.

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.

Pierson, W.J. dan Moskowitz, L. 1964. "A Proposed Spectral From for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S.A. Kataigorodskii", Journal of Geophysical Research, Vol. 69, No. 24, Dec., pp.5181-5203

Prasetia, G. E., H. D. Armono, Dan K. Sambodho. 2012. "*Stabilitas Anchor Floating Breakwater Tipe Belah Ketupat Dengan Variasi Sudut dan Konfigurasi Mooring Line*". Jurnal Teknik Kelautan ITS, (2012).

Putra, I. A. I. D. R. 2017. *Desain Mooring Line pada Struktur Pantai Floating Breakwater Menggunakan Catenary Mooring Line*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

Rochani, Imam. 2007. *Kajian Numerik Perancangan Struktur Bangunan Peredam Gelombang Terapung*. Jurusan Teknik Kelautan. FTK-ITS.

Sannasiraj, S. A., V. Sundar, dan R. Sundaravadivelu. 1996. "*Mooring Forces and Motion Responses of Pontoon-type Floating Breakwaters*". Journal of Ocean Engineering, Elsevier Science, Vol. 25, No. 1.

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

Shanying, L., S. Liping, Z. Shiguang, J. Heming, G. Yunlong. 2013. "*The Comparison and Analysis between Catenary Mooring System and Taut Mooring System of FPSO*". Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS). Vol 5:4.

Sujantoko, Wisnu W., Haryo D.A., 2019. "Rancang Bangun Pemecah Gelombang Terapung Berpori Untuk Pelindung Pantai Yang Efisien dan Efektif". Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT). DRPM Ristek Dikti.

Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset.

Tsinker, G. P. 1995. *Marine Structures Engineering: Specialized Application*. New York : An International Thomson Publishing Company

Wahyudi, Sholihin, dan Setiawan F. 2005. "*Pengaruh Spektrum Gelombang terhadap Stabilitas Batu Pecah pada Permukaan Cellular Cofferdam Akibat Gelombang Overtopping*". Jurnal Teknologi Kelautan ITS, Surabaya, Vol. IX.

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

Yuwono, N. 1992. *Perencanaan Bangunan Pantai Volume II*. Yogyakarta: Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, UGM.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN MASSSA, VOLUME, DAN GAYA APUNG

LAMPIRAN B TABEL RAO

LAMPIRAN C TABEL HASIL TEGANGAN MOORING PADA GERGAJI DAN PONTON

LAMPIRAN D PERHITUNGAN PANJANG MOORING

LAMPIRAN E PERHITUNGAN GAYA GELOMBANG

LAMPIRAN F PERHITUNGAN TEGANGAN MOORING

LAMPIRAN G GRAFIK PERBANDINGAN TEGANGAN MOORING TIPE PONTON

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MASSSA, VOLUME, DAN GAYA APUNG

1. Floating Breakwater Tipe Gergaji

Dimensi Breakwater (Gergaji)					
Panjang	60	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	cm3

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	=	ρair 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	60	cm
Lebar	6	cm
Tinggi	6	cm
Ketebalan dinding	1.25	cm
ρ HDPE	0.96	g/cm3
ρ air laut	1.025	g/cm3

Dimensi Udara		
Panjang	52.5	cm
Lebar	3.5	cm
Tinggi	4.08	cm
ρ udara	0.0012	g/cm³
Volume udara	749.70	cm³

Volume Total			
Volume Total	=	Volume alas dan tutup + Volume A2 + Volume A3	
	=	1516.875	cm^3

Massa Breakwater			
Massa Breakwater	=	Vol x ρ HDPE	
	=	1456.2	g

Gaya Apung		
FW	=	FB
ρbeton x Vtotal	=	ρair laut x Luas Alas x Draft
485.40	=	1,025 x (20 x 6) x Draft
Draft	=	4 cm
Freeboard	=	Tinggi - Draft
	=	2 cm

LAMPIRAN B

TABEL *RESPONSE 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. Tegangan Mooring pada Floating Breakwater Tipe Gergaji

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	30	3.768	1.622	0.01	0.00135
41	30	3.570	1.212	0.2	0.171
41	30	6.912	1.622	0.8	0.11
41	30	3.809	1.062	0.5	0.14
41	30	3.524	1.006	0.55	0.34
41	30	5.074	1.059	0.7	0.35
41	30	5.104	1.062	0.96	0.57
41	30	5.119	0.968	0.91	0.64
41	30	6.775	1.062	1	0.96
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	30	4.00599	1.6216	0.45	0.137
43	30	6.94317	1.6216	0.9	0.262
43	30	3.54999	1.0619	0.4	0.545
43	30	3.64321	1.0619	0.48	0.419
43	30	3.64701	1.0619	0.46	0.419
43	30	4.92144	1.0619	0.85	0.5
43	30	5.01659	1.0619	0.95	0.649
43	30	5.20432	1.0619	1	0.713
43	30	6.77638	1.0619	1.21	0.73
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	30	3.9443	1.6216	0.1	0.08
45	30	3.97345	1.25	0.88	0.55
45	30	6.8688	1.6216	0.91	0.878
45	30	3.90436	1.0619	0.9	0.97
45	30	5.05848	1.1215	1.1	1.087
45	30	4.83529	1.0619	1	0.96
45	30	3.78074	0.9302	0.9	0.65
45	30	5.07099	1.0619	1.2	1.12
45	30	6.48055	1.0619	1.8	1.76

2. Tegangan Mooring pada Floating Breakwater Tipe Ponton

Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
41	30	3.768	1.622	0.01	0.00135
41	30	3.570	1.212	0.2	0.171
41	30	6.912	1.622	0.8	0.11
41	30	3.809	1.062	0.5	0.14
41	30	3.524	1.006	0.55	0.34
41	30	5.074	1.059	0.7	0.35
41	30	5.104	1.062	0.96	0.57
41	30	5.119	0.968	0.91	0.64
41	30	6.775	1.062	1	0.96
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
43	30	4.00599	1.6216	0.45	0.137
43	30	6.94317	1.6216	0.9	0.262
43	30	3.54999	1.0619	0.4	0.545
43	30	3.64321	1.0619	0.48	0.419
43	30	3.64701	1.0619	0.46	0.419
43	30	4.92144	1.0619	0.85	0.5
43	30	5.01659	1.0619	0.95	0.649
43	30	5.20432	1.0619	1	0.713
43	30	6.77638	1.0619	1.21	0.73
Elevasi (cm)	Sudut Mooring (°)	Data Lingkungan		Tegangan Mooring (N)	
		Hs (cm)	Tp	Eksperimen	Numerik
45	30	3.9443	1.6216	0.1	0.08
45	30	3.97345	1.25	0.88	0.55
45	30	6.8688	1.6216	0.91	0.878
45	30	3.90436	1.0619	0.9	0.97
45	30	5.05848	1.1215	1.1	1.087
45	30	4.83529	1.0619	1	0.96
45	30	3.78074	0.9302	0.9	0.65
45	30	5.07099	1.0619	1.2	1.12
45	30	6.48055	1.0619	1.8	1.76

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN PANJANG MOORING

$L_{min} = h(2\frac{T_{max}}{wh} - 1)^{1/2}$

h	=	0,41	meter
Tmax	=	106	(kN)
w	=	5,9	kg/m
Lmin	=	3,81	meter
Lmin	~	1	meter

$a = \frac{T_H}{w}$

Th	=	10,6	(kN)
a	=	1,79491525	(kNm/kg)

$X = l - h\left(1 + 2\frac{a}{h}\right)^{\frac{1}{2}} + a.cosh^{-1}(1 + \frac{h}{a})$

X	=	0,91
X	~	52

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN GAYA GELOMBANG

Perhitungan gaya gelombang dengan pers. Morisson											
No	T	L	K	H	h	u2 max	udot	Fd	Fi	ftotmax	ftot N
41_30_1	1,062	1,759	3,573	0,036	0,41	0,0006	0,0237	0,058	0,055	0,080	0,783
41_30_1	1,062	1,759	3,573	0,037	0,41	0,0006	0,0181	0,058	0,042	0,072	0,707
41_30_1	1,622	4,102	1,532	0,035	0,41	0,0004	0,0121	0,035	0,028	0,045	0,439
41_30_1	1,062	1,759	3,573	0,037	0,41	0,0004	0,0183	0,035	0,043	0,055	0,537
41_30_1	1,062	1,759	3,573	0,047	0,41	0,0006	0,0232	0,056	0,054	0,077	0,759
41_30_1	0,984	1,509	4,165	0,052	0,41	0,0008	0,0288	0,073	0,067	0,099	0,973
41_30_1	1,062	1,759	3,573	0,052	0,41	0,0007	0,0255	0,067	0,059	0,089	0,877
41_30_1	1,017	1,613	3,896	0,062	0,41	0,0011	0,0325	0,100	0,075	0,125	1,225
41_30_1	0,984	1,509	4,165	0,068	0,41	0,0014	0,0376	0,125	0,087	0,152	1,493
43_30_1	0,909	1,289	4,875	0,039	0,43	0,0005	0,0246	0,046	0,077	0,090	0,882
43_30_1	1,062	1,759	3,573	0,039	0,43	0,0004	0,0189	0,037	0,059	0,070	0,685
43_30_1	1,520	3,604	1,744	0,043	0,43	0,0005	0,0148	0,046	0,047	0,065	0,642
43_30_1	0,909	1,289	4,875	0,041	0,43	0,0005	0,0257	0,050	0,081	0,095	0,933
43_30_1	1,119	1,952	3,221	0,053	0,43	0,0007	0,0242	0,067	0,076	0,102	0,997
43_30_1	1,062	1,759	3,573	0,054	0,43	0,0008	0,0263	0,071	0,083	0,109	1,073
43_30_1	0,909	1,289	4,875	0,056	0,43	0,0010	0,0349	0,092	0,110	0,144	1,409
43_30_1	0,909	1,289	4,875	0,068	0,43	0,0015	0,0422	0,135	0,133	0,189	1,857
43_30_1	1,520	3,604	1,744	0,072	0,43	0,0014	0,0245	0,126	0,077	0,148	1,452
45_30_1	0,909	1,289	4,875	0,040	0,43	0,0005	0,0248	0,046	0,078	0,091	0,893
45_30_2	0,909	1,289	4,875	0,041	0,43	0,0005	0,0256	0,049	0,081	0,094	0,926
45_30_3	1,339	2,798	2,247	0,044	0,43	0,0005	0,0163	0,044	0,051	0,067	0,662
45_30_4	1,188	2,202	2,854	0,042	0,43	0,0004	0,0175	0,039	0,055	0,068	0,664
45_30_5	1,000	1,560	4,029	0,055	0,43	0,0008	0,0291	0,077	0,092	0,120	1,178
45_30_6	1,062	1,759	3,573	0,052	0,43	0,0007	0,0253	0,066	0,080	0,104	1,016
45_30_7	0,909	1,289	4,875	0,066	0,43	0,0014	0,0412	0,128	0,130	0,182	1,786
45_30_8	0,909	1,289	4,875	0,072	0,43	0,0017	0,0449	0,152	0,142	0,208	2,038
45_30_9	1,463	3,341	1,881	0,074	0,43	0,0014	0,0259	0,131	0,082	0,155	1,519

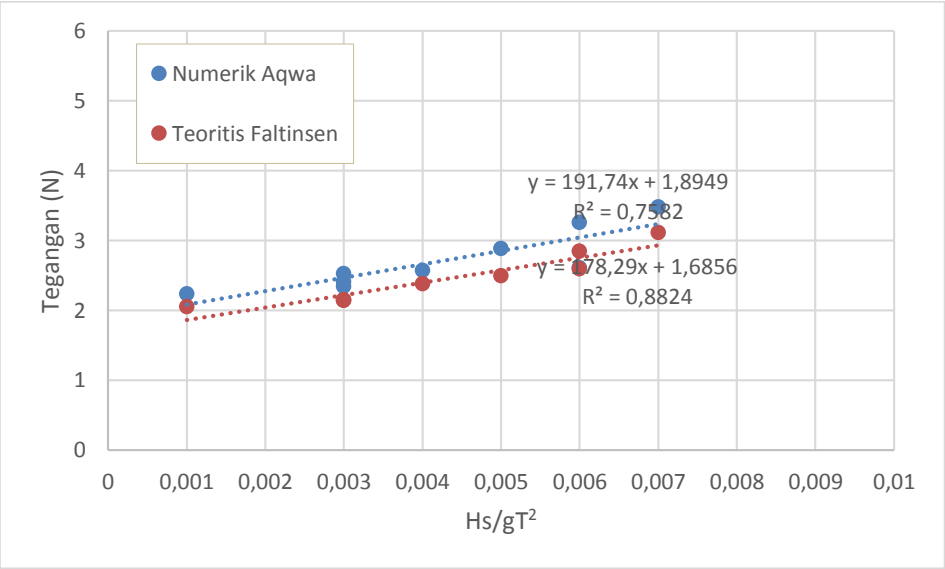
LAMPIRAN F

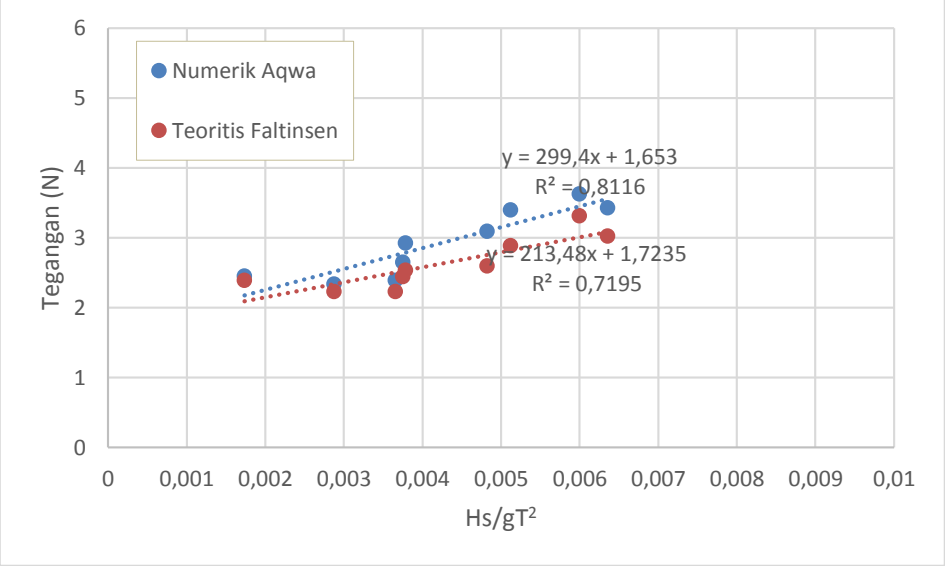
PERHITUNGAN TEGANGAN MOORING

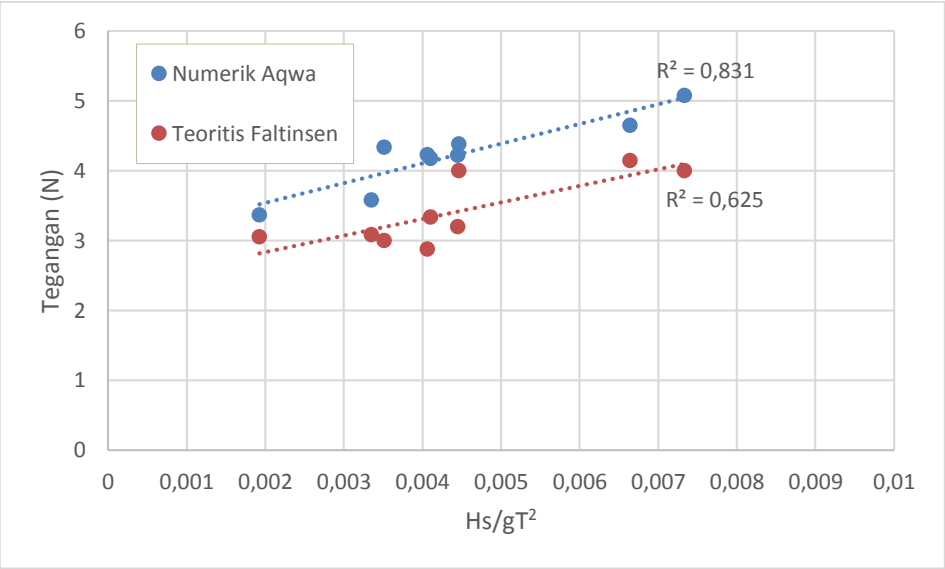
Perhitungan tegangan mooring							
Nama File	h/gt2	Ftotal	D	z	Tm teoritis	Tm numerik	Selisih
41_30_1	0,003	0,646	0,410	0,900	0,662	0,552	0,200
41_30_1	0,003	0,651	0,410	0,900	0,667	0,460	0,450
41_30_1	0,001	0,507	0,410	0,900	0,523	0,303	0,722
41_30_1	0,003	0,660	0,410	0,900	0,676	0,947	0,286
41_30_1	0,004	0,902	0,410	0,900	0,918	0,873	0,051
41_30_1	0,006	1,145	0,410	0,900	1,161	0,800	0,451
41_30_1	0,005	1,027	0,410	0,900	1,043	0,791	0,319
41_30_1	0,006	1,401	0,410	0,900	1,417	1,379	0,028
41_30_1	0,007	1,687	0,410	0,900	1,703	2,215	0,231
43_30_1	0,005	0,882	0,430	0,900	0,898	1,728	0,481
43_30_1	0,004	0,685	0,430	0,900	0,701	1,095	0,360
43_30_1	0,002	0,642	0,430	0,900	0,658	0,478	0,378
43_30_1	0,005	0,933	0,430	0,900	0,950	2,295	0,586
43_30_1	0,004	0,997	0,430	0,900	1,013	1,429	0,291
43_30_1	0,005	1,073	0,430	0,900	1,089	1,393	0,218
43_30_1	0,007	1,409	0,430	0,900	1,425	2,870	0,504
43_30_1	0,008	1,857	0,430	0,900	1,874	3,453	0,457
43_30_1	0,003	1,452	0,430	0,900	1,468	1,093	0,343
45_30_1	0,005	0,893	0,450	0,900	0,909	4,118	0,779
45_30_1	0,005	0,926	0,450	0,900	0,943	4,145	0,773
45_30_1	0,002	0,662	0,450	0,900	0,678	3,217	0,789
45_30_1	0,003	0,664	0,450	0,900	0,680	3,392	0,800
45_30_1	0,006	1,178	0,450	0,900	1,194	3,732	0,680
45_30_1	0,005	1,016	0,450	0,900	1,033	4,090	0,748
45_30_1	0,008	1,786	0,450	0,900	1,802	5,211	0,654
45_30_1	0,009	2,038	0,450	0,900	2,054	6,572	0,687
45_30_1	0,004	1,519	0,450	0,900	1,535	4,274	0,641

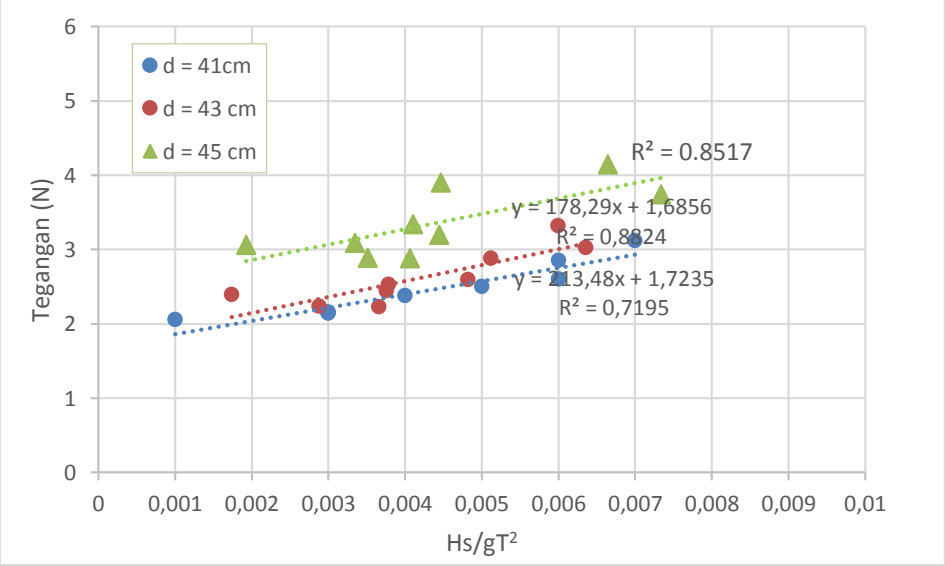
LAMPIRAN G

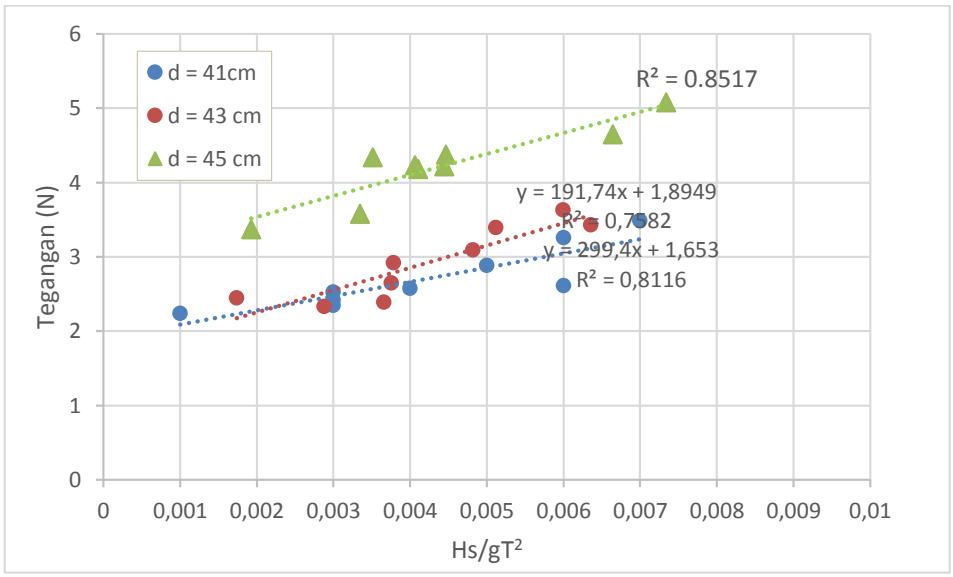
GRAFIK PERBANDINGAN TEGANGAN MOORING TIPE PONTON

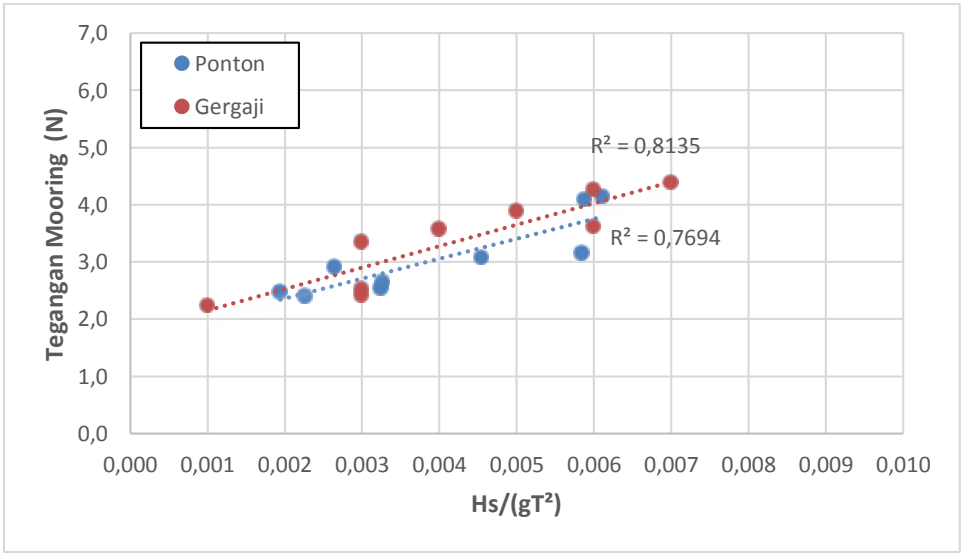


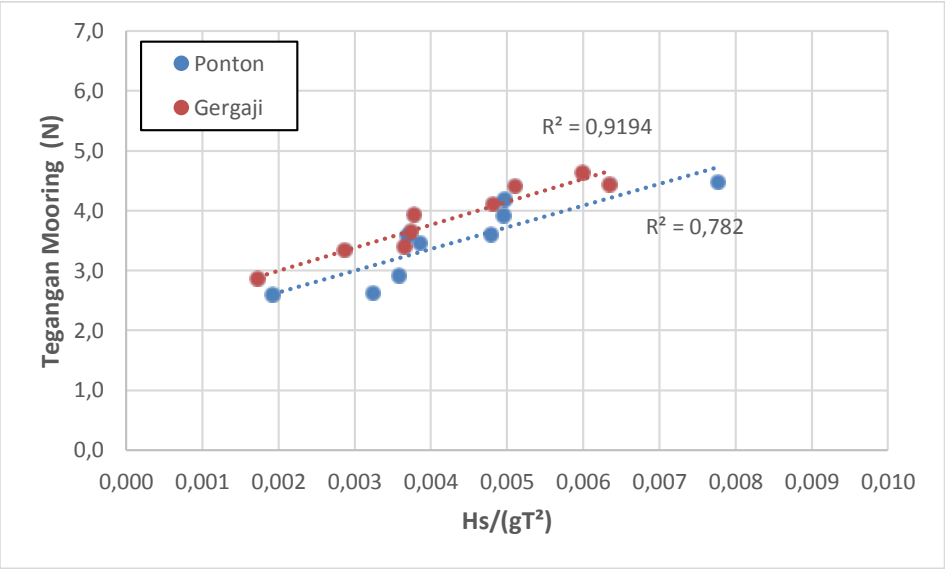


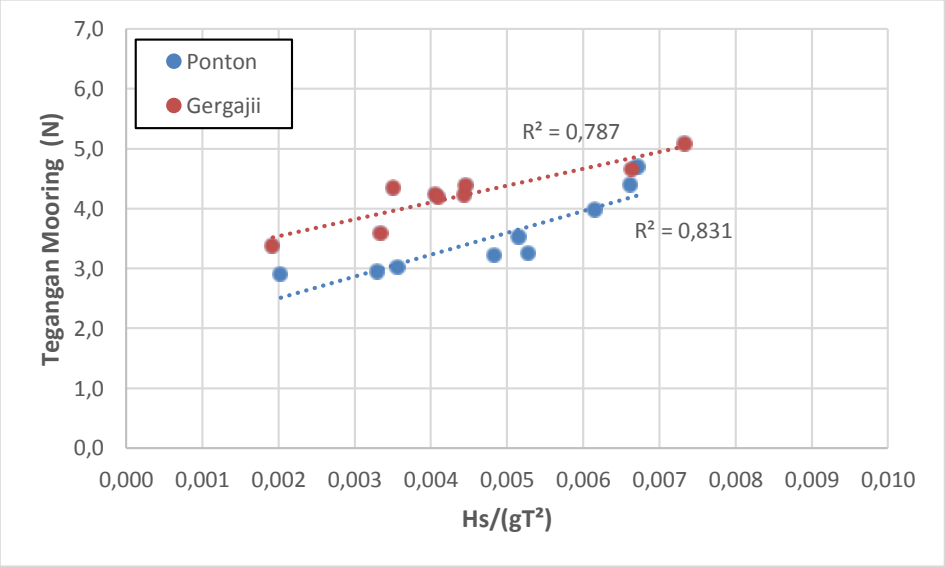

Numerik Aqwa
Teoritis Faltinsen
R² = 0,831
R² = 0,625
Tegangan (N)
Hs/gT²
0
1
2
3
4
5
6
0
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
0,009
0,01


d = 41cm
d = 43 cm
d = 45 cm
R² = 0.8517
y = 178,29x + 1,6856
R² = 0,8824
y = 213,48x + 1,7235
R² = 0,7195
Tegangan (N)
Hs/gT²
0
1
2
3
4
5
6
0
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
0,009
0,01


d = 41cm
d = 43 cm
d = 45 cm
R² = 0.8517
y = 191,74x + 1,8949
R² = 0,7582
y = 299,4x + 1,653
R² = 0,8116
Tegangan (N)
Hs/gT²
0
1
2
3
4
5
6
0
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
0,009
0,01


Ponton
Gergaji
R² = 0,8135
R² = 0,7694
Tegangan Mooring (N)
Hs/(gT²)
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0
0,000
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
0,009
0,010


Ponton
Gergaji
R² = 0,9194
R² = 0,782
Tegangan Mooring (N)
Hs/(gT²)
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0,000
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
0,009
0,010


Ponton
Gergajii
R² = 0,787
R² = 0,831
Tegangan Mooring (N)
Hs/(gT²)
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0,000
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
0,009
0,010

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Silvya Mardhatila. Lahir pada tanggal 27 Mei 1998 di Jepara sebagai anak pertama. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang pendidikan dasar di SD 02 Senenan, Jepara (2004-2010). Pada jenjang pendidikan menengah pertama, penulis menempuh pendidikan di MTsN Negeri 1 Jepara (2010-2013) dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Jepara (2013-2016). Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dengan Nomor Registrasi Peserta 04311640000059. Selama menjadi mahasiswa penulis tidak hanya aktif dibidang akademik, namun juga aktif dalam kegiatan intra kampus baik organisasi maupun kepanitiaan. Pada pertengahan tahun 2019, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Rekayasa Industri pada bidang Pipeline. Pada akhir bulan Mei 2020, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan dengan judul "Model Numerik Gaya Tali Tambat Sistem *Catenary* Pada *Floating Breakwater* Tipe Gergaji". Jika pembaca berminat untuk memberikan saran, mengetahui lebih lanjut, atau sekadar berdiskusi mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui kontak dibawah ini.

Kontak Penulis:

Email : silvyamardhatila.sm@gmail.com

No. Telepon : 081254273551