TUGAS AKHIR (MO 184804)

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

BRILLIYAN PRASETYO AZIS

NRP. 04311640000023

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 BERPORI

BRILLIYAN PRASETYO AZIS
NRP. 04311640000023

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)

NUMERIC MODEL MOORING LINE OF CATENARY SYSTEM ON POROUS SAW TYPE FLOATING BREAKWATER

BRILLIYAN PRASETYO AZIS
NRP. 04311640000023

DOSEN PEMBIMBING:
Sujantoko, S.T., M.T.
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2020

LEMBAR PENGESAHAN

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

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:

BRILLIYAN PRASETYO AZIS

NRP. 04311640000023

Disetujui oleh:

1. Sujantoko, S.T., M.T. (Pembimbing 1)

.....

2. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E. (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)

.....

Surabaya, Mei 2020

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

Nama	**: Brilliyan Prasetyo Azis**
NRP	**: 04311640000023**
Departemen	**: Teknik Kelautan FTK – ITS**
Dosen Pembimbing	**: Sujantoko, S.T., M.T.**
	Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

ABSTRAK

Pantai merupakan suatu daerah pertemuan antara daratan dengan perariran laut. Daerah pantai sendiri sering dikaitkan dengan wilayah pesisir dimana daerah tersebut mengalami pasang surut air laut. Wilayah pesisir biasa juga disebut sebagai wilayah peralihan dimana banyak ekosistem darat dan ekosistem laut saling berinteraksi. Di Indonesia, interaksi kedua ekosistem ini sering digunakan sebagai mata pencaharian sehingga muncul istilah kehidupan pesisir pantai. Namun seiring berjalannya waktu, daerah pantai mengalami abrasi yang diakibatkan oleh gelombang laut yang datang dan menghantam pantai sehingga berkurangnya areal pantai. Fenomena ini menjadi salah satu isu penting di lingkup bidang teknik kelautan. Breakwater merupakan bangunan struktur yang digunakan untuk melindungi daerah perairan oleh gelombang gelombang besar di laut. Breakwater terdapat dua jenis yakni breakwater konvensional dan floating breakwater biasanya ditambatkan pada tali tambat agar struktur tetap pada posisinya. Tali tambat Floating Breakwater ini perlu dianalisis agar struktur dapat bekerja dengan baik. Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisis perilaku gerak dan gaya tali tambat sistem catemary pada floating breakwater tipe ponton dan gergaji berpori dengan variasi elevasi muka air. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan memodelkan floating breakwater tipe gergaji berpori dan ponton sebagai pembanding berdasarkan data lingkungan percobaan laboratorium sebelumnya yang selanjutnya dianalisis respons geraknya kemudian menganalisis tegangan tali tambatnya pada variasi elevasi muka air dengan *software* ANSYS AQWA. Elevasi muka air yang digunakan terdiri dari 41 cm, 43 cm, 45 cm. Hasil tegangan maksimum tali tambat pada tipe gergaji berpori dengan elevasi muka air 41 cm, 43 cm, 45 cm berturut-turut adalah 3,660 N; 3,839 N dan 4,342 N. Sedangkan hasil tegangan tali tambat pada tipe ponton dengan elevasi muka air 41 cm, 43 cm, 45 cm berturut-turut adalah 4,240 N, 4,662 N dan 4,893 N.

Kata Kunci : *floating breakwater*, sistem *catenary*, elevasi muka air, *response amplitude operator,* dan tegangan tali tambat

NUMERIC MODEL MOORING LINE OF CATENARY SYSTEM ON POROUS SAW TYPE FLOATING BREAKWATER

Name	**: Brilliyan Prasetyo Azis**
NRP	**: 04311640000023**
Department	**: Ocean Engineering FTK – ITS**
Supervisors	**: Sujantoko, S.T., M.T.**
	Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E.

ABSTRACT

Beach is a meeting area between the mainland and sea waters. The coastal area itself is often associated with coastal areas where the area experiences tides. Coastal areas are also commonly referred to as transitional areas where many terrestrial and marine ecosystems interact with each other. In Indonesia, the interaction of these two ecosystems is often used as a livelihood so that the term coastal life appears. But over time, coastal areas experience abrasion caused by ocean waves that come and hit the coast so that the reduced coastal area. This phenomenon is one of the important issues in the scope of the field of marine engineering. Breakwater is a structural building used to protect water areas by large waves in the sea. There are two types of breakwater namely conventional breakwater and floating breakwater usually tethered to mooring ropes so that the structure remains in position. This Floating Breakwater mooring rope needs to be analyzed so that the structure can work well. In this study, the authors will analyze the behavior of the motion and mooring forces of the catemary system on pontoons and porous saws floating breakwater with variations in water level. The method used in this research is to model porous saws-type floating breakwater and pontoon -type as a comparison based on previous laboratory experiments environmental data which are then analyzed for their motion response and then analyze their mooring tension on variations in water level elevation with software ANSYS AQWA. The water level used consists of 41 cm, 43 cm, 45 cm. The maximum yield of mooring straps at the type of porous saws with water level elevations of 41 cm, 43 cm, 45 cm are 3,660 N; 3,839 N dan 4,342 N. While the results of mooring rope tension in the pontoon type with a water level elevation of 41 cm, 43 cm, 45 cm are 4,240 N, 4,662 N dan 4,893 N.

Keyword : *Floating Breakwater, Tension Mooring Line, Catenary Mooring System, and Water Level Elevation*

KATA PENGANTAR

Alhamdu lillahi rabbil' aalamiin

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas berkat rahmat, izin, dan ridho-Nya penulis diberi kesempatan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini berjudul "Model Numerik Gaya Tali Tambat Sistem Catenary Pada Floating Breakwater Tipe Gergaji Berpori". Tugas akhir ini, penulis susun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan program studi S-1 Teknik Kelautan di ITS.

Penulis ingin menyampaikan bahwa penulis telah menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya walaupun penulis menyadari dalam laporan ini masih terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Selain itu, penulis mengharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

Penulis berharap penelitian selanjutnya dapat berjalan lebih baik lagi. Selain itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas perhatian pembaca. Demikian, Tugas Akhir ini penulis buat dengan sepenuh hati.

Surabaya, Mei 2020

Brilliyan Prasetyo Azis

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas Akhir ini berjudul “Model Numerik Gaya Tali Tambat Sistem Catenary Pada Floating Breakwater Tipe Gergaji Berpori”. Pada proses pengerjaan Tugas Akhir ini penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak yang sangat berperan dalam terselesaikannya laporan ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan nikmat iman dan nikmat sehat untuk penulis selama ini.
2. Kedua orang tua penulis yang tidak hentinya memberikan do’a dan dukungan kepada penulis untuk terus menjalankan segala proses perkuliahan.
3. Bapak Sujantoko, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing satu yang tidak pernah lelah memberikan semangat, masukan dan arahan serta selalu sabar dalam membimbing penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., S.E. selaku dosen pembimbing dua yang telah memberikan banyak masukan, dan arahan serta selalu sabar dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D., Dr. Eng., M. Zikra, S.T., R. Haryo Dwito A., S.T., M.Sc., Drs. M. Musta’in, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik, saran dan masukan pada proses Tugas Akhir ini.
6. 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.
7. Rekan-rekan Tugas Akhir Floating Breakwater, Silvya M., Thomi Habibi dan Lila Anas A. yang telah banyak membantu dan memberikan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Dan seluruh pihak lainnya yang tidak mampu disebutkan penulis satu per satu.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **i**
ABSTRAK ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
UCAPAN TERIMA KASIH ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 3
1.3. Tujuan Penelitian 4
1.4. Manfaat Penelitian 4
1.5. Batasan Masalah 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI **5**
2.1. Tinjauan Pustaka 5
2.2. Dasar Teori 7
2.2.1. Floating Breakwater 7
2.2.2. Teori dan Beban Gelombang 9
2.2.3. Gelombang Acak 10
2.2.4. Spektrum Gelombang JONSWAP 12
2.2.5. Response Amplitude Operation (RAO) 13
2.2.6. Gaya Hidrodinamis 14
2.2.7. Teori Gerak Dasar Bangunan Laut Mengapung Akibat Gelombang 15
2.2.8. Sistem Tali Tambat 16
2.2.9. Sistem Tambat *Catenary* 19
2.2.10. Perhitungan Sistem Tambat *Catenary* 20
2.2.11. Tegangan Maksimum Tali Tambat 21
2.2.12. Parameter-parameter Hidrostatis 22
2.2.13. Pemodelan Fisik 24
2.2.14. *Software* ANSYS AQWA 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **27**
3.1. Diagram Alir 27

3.2. Penjelasan Diagram Alir 30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 35
4.1. Pemodelan Floating Breakwater 35
4.2. Validasi Model *Floating Breakwater* 38
4.3. Analisis Gerak *Floating Breakwater* Pada Kondisi Terapung Bebas ..... (*FreeFloating*) 38
4.4. Konfigurasi Tali Tambat *Floating Breakwater* Pada Saat Tertambat 45
4.5. *Layout Catenary Mooring Line* 47
4.6 Analisis Tegangan Floating Breakwater 49
4.6.1 Kalibrasi Tegangan Hasil Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik 49
4.6.2 Pengaruh Elevasi Muka Air Terhadap Tegangan Floating Breakwater ... 52
4.6.3 Perbandingan Tegangan Floating Breakwater 54
4.6.4 Perbandingan Tipe Floating Breakwater 56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 61
5.1. Kesimpulan 61
5.2. Saran 64
DAFTAR PUSTAKA .....
LAMPIRAN .....
BIODATA PENULIS .....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Kehidupan Pesisir Pantai 1
Gambar 1. 2. Abrasi Pantai Mencapai Kawasan Pemukiman 2
Gambar 1. 3. Ilustrasi *Floating Breakwater* Dengan Tali Tambat Sistem *Catenary* 3

Gambar 2. 1. Jenis-jenis Floating Breakwater Yang Sering Dijumpai ..... (Sorensen, 2006) 7
Gambar 2. 2. Profil dan Parameter Gelombang (Triatmodjo, 1999) 9
Gambar 2. 3. Gelombang Acak Secara Umum (Bhattacharya, 1972) 10
Gambar 2. 4. Pengukuran Gelombang Acak Metode *Zero Upcrosing* ..... (Reeve dkk,2004) 11
Gambar 2. 5. Ilustrasi 6 Moda Gerak Bagunan Laut (Putra, 2017) 15
Gambar 2. 6. Ilustrasi Arah Datang Gelombang (Putra, 2017) 15
Gambar 2. 7. Ilustrasi Skema Pemasangan *Floating Breakwater* ..... (Mc Cartney, 1985) 16
Gambar 2. 8. Konfigurasi sistem tambat tipe *catenary* 17
Gambar 2. 9. Konfigurasi sistem tambat tipe taut 18
Gambar 2. 10. Tipe Tension Leg 18
Gambar 2. 11. Sistem Tambat *Catenary* 19
Gambar 2. 12. Konfigurasi Panjang Mooring (Faltinsen, 1990) 19
Gambar 2. 13. Analisis Tegangan Pada Tali Tambat (Faltinsen, 1990) 21
Gambar 2. 14. *Keel to Center of Bouyancy* (KB) 22
Gambar 2. 15. *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB) 23
Gambar 2. 16. *Longitudinal Center of Gravity* (LCG) 23

Gambar 3. 1. Diagram Alir Tugas Akhir 27
Gambar 3. 2. Diagram Alir Tugas Akhir (Lanjutan 1) 28
Gambar 3. 3. Diagram Alir Tugas Akhir (Lanjutan 2) 29
Gambar 3. 4. Model Fisik *Floating Breakwater* Tipe Ponton ..... dan Tipe Gergaji Berpori 31

Gambar 4. 1. *Floating Breakwater* Tipe Ponton Citra 2D dan 3D 35
Gambar 4. 2. *Floating Breakwater* Tipe Gergaji Berpori Citra 2D dan 3D 36
Gambar 4. 3. Pemodelan *Floating Breakwater* Tipe Ponton pada ..... *Software* ANSYS AQWA 37
Gambar 4. 4. Pemodelan Floating Breakwater Tipe Ponton pada ..... *Software* ANSYS AQWA 37
Gambar 4. 5. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Surge* 39
Gambar 4. 6. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Sway* 40

Gambar 4. 7. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Heave* 41
Gambar 4. 8. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Roll* 42
Gambar 4. 9. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Pitch* 43
Gambar 4. 10. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Yaw* 44
Gambar 4. 11. Material Tali Tambat yang Berupa *Polyethilene* 45
Gambar 4. 12. *Layout Mooring Line* Tampak Samping 47
Gambar 4. 13. *Layout Mooring Line* Tampak Atas 47
Gambar 4. 14. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan ..... Pemodelan Numerik FB Tipe Gergaji Berpori; d = 41 cm 49
Gambar 4. 15. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan ..... Pemodelan Numerik FB Tipe Gergaji Berpori; d = 43 cm 50
Gambar 4. 16. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan ..... Pemodelan Numerik FB Tipe Gergaji Berpori; d = 45 cm 50
Gambar 4. 17. Hasil Numerik Perbandingan Tegangan Tali Tambat FB Tipe Gergaji .... Berpori Sistem *Catenary* 52
Gambar 4. 18. Hasil Perhitungan Teoritis Perbandingan Tegangan Tali Tambat FB..... Tipe Gergaji Berpori Sistem *Catenary* 53
Gambar 4. 19. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Gergaji Berpori:..... d = 41 cm 54
Gambar 4. 20. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Gergaji Berpori:..... d = 43 cm 55
Gambar 4. 21. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Gergaji Berpori:..... d = 45 cm 55
Gambar 4. 22. Pemodelan Numerik Tegangan Tali Tambat FB Sistem *Catenary*; ..... d = 41 cm 57
Gambar 4. 23. Pemodelan Numerik Tegangan Tali Tambat FB Sistem *Catenary*; ..... d = 43 cm 57
Gambar 4. 24. Pemodelan Numerik Tegangan Tali Tambat FB Sistem Catenary; ..... d = 45 cm 58
Gambar 4. 25. Besar Tegangan Tali Tambat FB Pada *Seaward Side* dan ..... *Shoreward Side* 59
Gambar 4. 26. Perbandingan Tegangan Tali Tambat Breakwater Tipe Berpori ..... dan Tradisional 60

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Dimensi model dari *Foating Breakwater* 31
Tabel 3. 2. Skenario Kondisi Lingkungan 31

Tabel 4. 1. Perbandingan Perhitungan Teoritis dengan Pemodelan Numerik 38
Tabel 4. 2. Spesifikasi Tali Tambat 45
Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan Panjang Tali Tambat dan Letak *Anchor* .....
Jenis *Catenary* 46
Tabel 4. 4. Ordinat *Anchor* pada Seabed dan Ordinat *Mooring Line* .....
Kedalaman 41 cm 48
Tabel 4. 5. Ordinat *Anchor* pada Seabed dan Ordinat *Mooring Line* .....
Kedalaman 43 cm 48
Tabel 4. 6. Ordinat *Anchor* pada Seabed dan Ordinat *Mooring Line* .....
Kedalaman 45 cm 48
Tabel 4. 7. Ketentuan Nilai RMSE 51
Tabel 4. 8. Nilai *error* Tegangan Tali Maksimum FB Gergaji Berpori 51
Tabel 4. 9. Perbandingan Tegangan Tali Sistem *Catenary* Pada FB 58

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

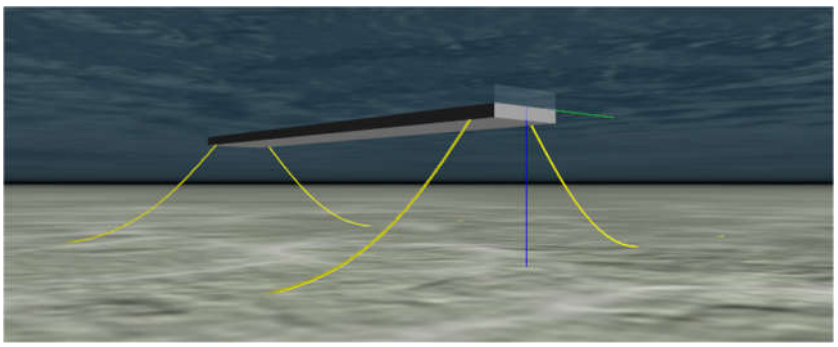
Pantai merupakan suatu daerah pertemuan antara daratan dengan perariran laut. Daerah pantai sendiri sering dikaitkan dengan wilayah pesisir dimana daerah tersebut mengalami pasang surut air laut. Wilayah pesisir biasa juga disebut sebagai wilayah peralihan dimana banyak ekosistem darat dan ekosistem laut saling berinteraksi. Di Indonesia, interaksi kedua ekosistem ini sering digunakan sebagai mata pencaharian sehingga muncul istilah kehidupan pesisir pantai. Hal ini wajar terjadi karena Indonesia merupakan pemilik garis pantai terpanjang kedua di dunia (Poerwadi 2018), sehingga banyak juga kehidupan pesisir pantai yang terjadi. Sekarang ini sudah banyak inovasi yang dilakukan dalam mengembangkan kehidupan pesisir pantai untuk lebih maju. Mulai dari sektor Industri, Perdagangan, Transportasi, Pemukiman, hingga sektor Pariwisata. Dengan demikian, sejalan dengan pertambahan penduduk dan peningkatan kegiatan pembangunan sosial-ekonomi, "nilai" wilayah pesisir terus bertambah (Ali 2019). Namun seiring berjalannya waktu, daerah pantai mengalami abrasi yang diakibatkan oleh gelombang laut yang datang dan menghantam pantai sehingga berkurangnya areal pantai (Prasetia 2012). Fenomena ini menjadi salah satu isu penting di lingkup bidang teknik kelautan.

Gambar 1. 1. Kehidupan Pesisir Pantai
(Sumber: aguraforestry.wordpress.com)

Secara umum, fenomena abrasi ini dapat diatasi ataupun dikurangi dengan adanya pemecah gelombang (breakwater) alami seperti hutan bakau dan kawasan mangrove sebelum gelombang datang menuju pantai (Triatmojo 1999). Namun karena mulai terdegredasinya kawasan *breakwater* alami ini membuat para peneliti memikirkan kembali solusinya. Akhirnya ditemukan struktur yang berfungsi sebagai *breakwater* buatan. Dalam perkembangannya, kini struktur *breakwater* dibagi menjadi dua jenis menurut konstruksinya, yakni *breakwater* konvensional dan *floating breakwater*. Keduanya memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Untuk kedalaman laut menengah hingga dalam, umumnya menggunakan struktur *floating breakwater*.

Gambar 1. 2. Abrasi Pantai Mencapai Kawasan Pemukiman
(Sumber: tandaseru.id)

Dalam penerapannya, *floating breakwater* memiliki sistem tambat yang berfungsi agar *floating breakwater* tidak mengalami offset dari tempat yang sudah ditentukan semestinya. Sistem tambat yang diterapkan pada *floating breakwater* sendiri terdapat bermacam-macam ragamnya. Dalam memilih sistem tambat sendiri harus sesuai kebutuhan dari *floating breakwater* terhadap beban lingkungan yang terjadi (Faltinsen 1990). Salah satu sistem tambat yang paling familiar dan sering digunakan adalah sistem *catenary*. *Caterany* merupakan system tambat berupa kabel atau rantai yang berbentuk kurva. Sistem ini membuat tali tambat menggantung bebas akibat beban internal dengan kedua ujungnya tertahan oleh breakwater dan seabed (Pranidya dan Muin 2012). Hal ini mengakibatkan beban internal dari tali tambat sendiri memiliki peran aktif dalam menahan floating breakwater untuk *offset* secara horizontal maupun vertikal yang tinggi.



Gambar 1. 3. Ilustrasi *Floating Breakwater* Dengan Tali Tambat Sistem *Catenary* (Sumber: documentation.dsa-ltd.ca)

Pada penelitian ini fokus yang diterapkan adalah pada sistem *Catenary* yang akan diujikan secara numerik. Dengan hasil uji eksperimen sistem *Taut* yang telah dilakukan peneliti sebelumnya, hal ini menjadi menarik untuk dilakukan perbandingan guna mengetahui karakteristik kedua sistem tali tambat.

1.2. Perumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini antara lain:

1) Bagaimana *Response Amplitude Operator* (RAO) *floating breakwater* pada kondisi terapung bebas (*free floating*)?
2) Bagaimana hasil kalibrasi tegangan tali tambat sistem *Catenary* antara simulasi numerik pada model dengan hasil perhitungan teoritis pada struktur *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori?
3) Berapa tegangan maksimun pada tali tambat yang terjadi pada struktur *floating breakwater* dengan menggunakan sistem tambat *catenary*?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah di atas maka tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1) Menghitung *Response Amplitude Operator* (RAO) *floating breakwater* pada kondisi terapung bebas (*free floating*) dan dengan menggunakan sistem tambat *catenary*.
2) Melakukan kalibrasi tegangan tali tambat sistem *Catenary* pada model dengan hasil uji eksperimen pada struktur *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori.
3) Menghitung besarnya tegangan maksimum pada tali tambat yang terjadi pada struktur *floating breakwater* dengan menggunakan sistem tambat *catenary*.

1.4. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat membuat analisis numerik pada struktur *floating breakwater* dengan menggunakan sistem tambat *catenary*. Analisis numerik menjadi salah satu alternatif dalam penyelesaian pemodelan penelitian selain dari memodelkan uji eksperimen secara fisik.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan agar pembahasan terarah, yaitu:

1) Floating Breakwater yang digunakan dalam penelitian adalah gergaji berpori
2) Beban lingkungan yang ditinjau mengikuti data eksperimen (H, T, d)
3) Arah pembebanan yang digunakan hanya pada 90˚
4) Konfigurasi tali tambat menggunakan sistem *catenary*
5) Panjang tali berubah untuk kedalaman (d) yang berbeda
6) Kekakuan tali tambat tetap
7) Permukaan *seabed* dianggap rata dan kedap air

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Salah satu permasalahan yang dihadapi di industri yang berada di pantai adalah kebradaannya beban gelombang. Beban gelombang ini cukup mengkhawatirkan masyarakat karena dapat mengikis areal pantai (abrasi). Untuk mengatasi hal tersebut, sudah banyak mulai dikembangkan teknologi bangunan struktur yang dapat mengurangi ataupun meredam beban gelombang. Salah satunya yang mengalami hal tersebut adalah *floating breakwater*. Tsinker (1995) mengatakan sepanjang 30 tahun belakangan ini, *floating breakwater* banyak mengalami perkembangan *untuk keperluan komersial.* Umumnya desain yang sering digunakan *floating breakwater* sekarang ini bertipe ponton meskipun masih banyak ragam desain yang dapat dikembangkan. Kemudian desain ini akan dihubungkan dan ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau rantai (Putra 2017). Hal ini pun sudah dapat menjadi topik bahasan baru untuk diteliti yakni sistem tali tambat. Sistem tali tambat dimanfaatkan untuk menahan pergerakan bangunan terapung (*floating breakwater*) agar tetap pada posisinya (Pranindya dan Muin 2012). Selain itu, sturktur *floating breakwater* itu sendiri harus dapat menahan tegangan yang diakibatkan oleh gelombang. Karena beban akibat gelombang secara umum menentukan desain *floating breakwater* dan juga *sistem tali tambat pada* struktur tersebut (Tsinker 1995).

Pranindya dan Muin (2012), mengatakan banyak ragam jenis sistem tali tambat yang ada di dunia, salah satunya adalah sistem *catenary*. *Catenary* merupakan sebuah struktur berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel atau rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan kedua ujungnya tertahan. Penambat struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary* bertujuan untuk memanfaatkan berat tali tambat sehingga struktur terapung tertahan di posisinya selama mendapat gangguan dari lingkungan laut. *Catenary* bisa digunakan pada perairan dalam dan dangkal,akan tetapi lebih sering di gunakan di perairan dangkal. Jika dilihat dari tegangan yang dihasilkan dari sistem *catenary* ini sangat lah kecil jika dibandingkan dengan penambat lainnya yang di mana jika tegangan yang terjadi lebih kecil, maka penambat tidak akan mudah putus. Sehingga sistem *catenary* bisa digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan penambat lainnya (Putra 2017).

Dalam teknologi kelautan, banyak desain dari *floating breakwater* yang diteliti beserta variasi tali tambat yang diterapkan. Putra (2017), melakukan penelitian mengenai desain tali tambat pada struktur pantai *floating breakwater* tipe ponton menggunakan sistem tali tambat *catenary*. Penelitian tersebut merupakan pengujian model numerik dengan melakukan variasi kedalaman laut, arus, pasang surut, sudut arah datang gelombang, dan tinggi gelombang. Putra menyimpulkan bahwa arah datang gelombang 90˚ dan tinggi gelombang 1,5 m merupakan kondisi dimana tegangan maksimum terbesar terjadi pada tali tambat. Manan (2017), juga melakukan penelitian serupa dengan menggunakan sistem tali tambat *taut*. Ia juga menyimpulkan arah datang gelombang 90˚ dengan kondisi pasang menghasilkan tegangan maksimum terbesar pada tali tambat.

Hidayatullah (2019), melakukan eksperimen model fisik pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori dengan sistem tali tambat *taut.* Ia menggunakan gelombang *irregular* dengan variasi tinggi gelombang signifikan (Hs), periode gelombang (T), elevasi muka air (d), dan sudut tali tambat (α). Kemudian disimpulkan nilai tegangan *tali tambat* maksimum terbesar pada *floating breakwater* terjadi pada sudut tali tambat 30˚ dan elevasi muka air 45 cm. Sama halnya dengan uji eksperimen oleh Ali (2019). Ali menggunakan *floating breakwater* tipe gergaji berpori dengan sistem tali tambat *catenary*. Ia juga menyimpulkan nilai tegangan *tali tambat* maksimum terbesar terjadi pada kondisi sudut tali tambat 30˚ dan elevasi muka air 45 cm.

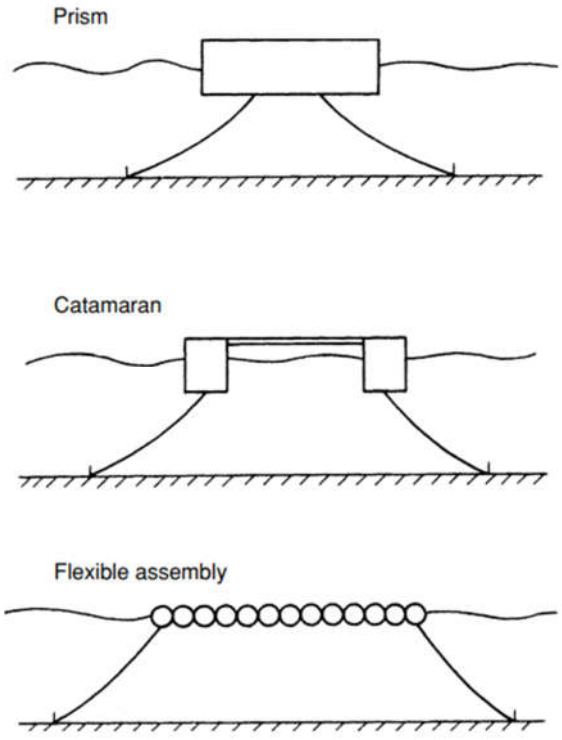
Pada penelitian ini, akan dilakukan uji model numerik untuk mencari nilai tegangan maksimum pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori yang kemudian akan dibandingkan dengan tipe ponton. Sistem tali tambat yang diterapkan pada penelitian ini adalah sistem tambat *catenary*. Pemodelan ini akan divariasikan sudut tali tambat dengan mengacu pada penelitian sebelumnya sehingga didapatkan hasil yang lebih optimum. Selain itu, variasi elevasi muka air juga akan dilakukan sebagai simulasi kondisi pasang surut.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Floating Breakwater

Breakwater adalah struktur terapung yang melindungi area yang dilindunginya dari serangan gelombang. Beberapa tahun belakangan, terdapat peningkatan pada penggunaan *floating breakwater*, struktur mengapung yang umumnya strukturnya menembus hingga permukaan air dan ditambatkan dengan tali tambat dan *anchor* (Sorensen 2006).

Sorensen (2006), juga menjelaskan fungsi dari *floating breakwater* adalah merefleksikan energi gelombang dan mengurangi energi pada *incident wave*. Pengurangan energi tersebut sebagian besar dilakukan oleh turbulensi yang terjadi ketika pemisahan aliran ketika aliran gelombang yang diinduksi melewati struktur dan juga dengan gelombang pecah yang terjadi saat gelombang melewati bagian atas struktur. Jika periode gelombang dekat dengan salah satu periode resonansi dari sistem tambat *floating breakwater*, respon gerak dari *breakwater* akan meningkat yang secara umum meningkatkan peredaman energi gelombang.



Gambar 2. 1. Jenis-jenis Floating Breakwater Yang Sering Dijumpai (Sorensen, 2006)

a. Keuntungan *Floating Breakwater*

Tsinker (1995), menjelaskan dimana penggunaan *floating breakwater* akan menjadi lebih menguntungkan daripada penggunaan *breakwater* konvensional dengan meninjau beberapa kondisi, seperti:

1. Sebagai solusi dimana kondisi dasar laut tidak memungkinkan untuk menopang *breakwater konvensional.*
2. Pada kedalaman lebih dari 20 ft (6,1 m), *breakwater konvensional* umumnya memakan biaya yang lebih mahal dibanding *floating breakwater*.
3. Untuk interaksi lingkungan, *Floating breakwater* memberikan lebih sedikit gangguan terhadap lingkungan disbanding *breakwater* konvensional.
4. Secara visual, *floating breakwater* lebih nyaman dilihat karena mengikuti elevasi muka air, khususnya pada daerah dengan pasang surut yang tinggi.
5. Layout yang pada *floating breakwater* lebih mudah diatur ulang disbanding layout *breakwater* konvensional.
6. Terdapat mobilitas (berpindah tempat) pada *floating breakwater*.

b. Kerugian *Floating Breakwater*

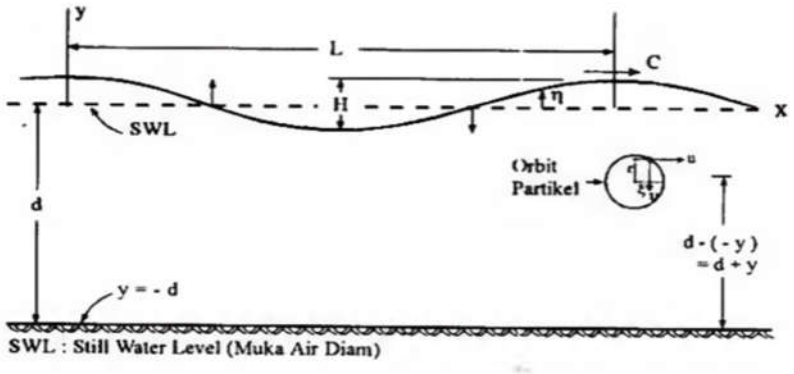
Selain kelebihan yang dimiliki, terdapat juga kerugian dalam penerapan *floating breakwater* (Tsinker 1995), yakni:

1. Kapasitas *floating breakwater* untuk menahan gelombang besar tidak terlalu baik apabila dibandingkan dengan *breakwater konvensional*.
2. *Floating Breakwater* lebih mudah mengalami kegagalan struktur apabila terjadi kondisi yang sangat ekstrim (contoh: kondisi badai).
3. Pada umumnya, biaya perawatan *floating breakwater* relatif lebih mahal dibandingkan dengan breakwater konvensional.

2.2.2. Teori dan Beban Gelombang

Gelombang merupakan hasil perpaduan dari gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Gaya-gaya tersebut dapat berupa gangguan yang terjadi pada permukaan air seperti hembusan angin atau dapat juga gangguan yang berasal dari dasar air yang mencapai permukaan seperti pergerakan tanah (Triatmodjo, 1999). Ketika gelombang terbentuk, gaya gravitasi dan tegangan permukaan akan bereaksi untuk menimbulkan rambatan gelombang. Bentuk ideal gelombang beramplitudo kecil di perairan dalam adalah bentuk sinusoidal.

Karakteristik gelombang dua dimensi yang berada pada system koordinat x-y dan merambat pada arah sumbu x dapat dilihat pada **Gambar 2.2** berikut.



Gambar 2. 2. Profil dan Parameter Gelombang (Triatmodjo, 1999)

Berikut beberapa notasi yang digunakan, antara lain:

d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam

a : amplitude gelombang

H : tinggi gelombang = $2a$

L : panjang gelombang

T : periode gelombang

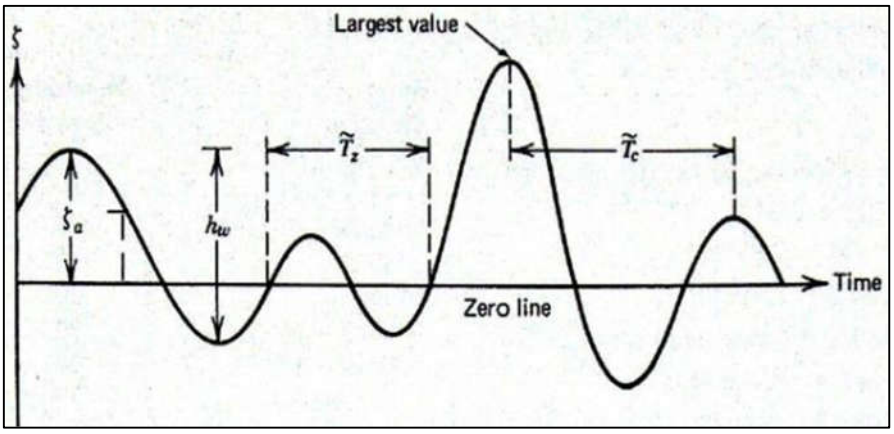
C : kecepatan rambat gelombang = L/T

k : angka gelombang = $2\pi/L$

σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$

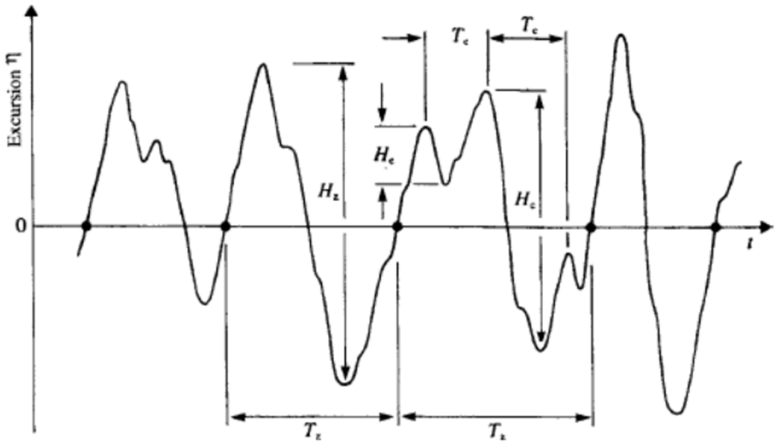
2.2.3. Gelombang Acak

Laut yang sebenarnya tidak memiliki karakteristik gelombang reguler, akan tetapi memiliki bentuk acak. Keadaan laut yang bervariasi dapat dianggap diam dalam interval waktu yang singkat, dengan durasi tiga jam. Kondisi laut umumnya digambarkan dengan spektrum gelombang dengan beberapa parameter (Bai 2003). Gelombang acak merupakan gabungan dari gelombang sinusoidal dengan panjang dan periode gelombang yang sangat bervariasi. Bhattacharya (1972), memberikan gambaran mengenai gelombang acak seperti **Gambar 2.3** dibawah ini.



Gambar 2. 3. Gelombang Acak Secara Umum (Bhattacharya, 1972)

Pengukuran gelombang acak dapat dilakukan dengan *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Untuk *zero upcrossing method*, hal pertama yang dilakukan adalah menetapkan titik nol yang merupakan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Dilanjutkan dengan pemberian tanda titik pada perpotongan antara kurva naik dan garis nol. Titik nol tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Titik diberikan pada tiap perpotongan antara kurva naik dan garis nol. Jarak antar kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1). Sedangkan jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah diantara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1) dan begitu seterusnya. Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol (Triatmodjo, 2011). Ilustrasi pembacaan gelombang dengan menggunakan metode *zero upcrossing* digambarkan pada **Gambar 2.4** dibawah ini.



Gambar 2. 4. Pengukuran Gelombang Acak Metode *Zero Upcrosing* (Reeve dkk, 2004)

Reeve dkk. (2004), menjelaskan dengan **Gambar 2.4** diatas mengenai ilustrasi metode *zero upcrossing*. Dimana pada Tz merupakan satu gelombang dan pencatatan berlangsung dengan metode yang sama untuk seterusnya.

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

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3}\sum_{J=1}^{N/3} H_j \quad (2.1)$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3}\sum_{J=1}^{N/3} T_j \quad (2.2)$$

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

2.2.4. Spektrum Gelombang JONSWAP

Energi gelombang *irregular* sulit untuk diukur ataupun dianalisis secara matematis karena tidak dapat diketahui pola dan bentuknya secara spesifik. Oleh karena itu, pada umumnya parameter gelombang didefinisikan dengan besaran-besaran statistik seperti H_S dan T_S yang merupakan harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan tinggi dan periode gelombang yang tertinggi atau dengan kata lain tinggi signifikan dan periode signifikan (Wahyudi dkk, 2005). Prinsip Analisis spektrum gelombang adalah menguraikan suatu gelombang *irregular* menjadi susunan gelombang teratur dari berbagai frekuensi dan tinggi gelombang (Yuwono, 1992).

Spektra 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:

$$S(\omega) = E(f)exp\left[-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right]\gamma^{\Gamma} \quad (2.3)$$

Dengan:

$$\Gamma = exp\left[-\frac{(\omega-\omega_p)^2}{2\beta^2{\omega_p}^2}\right] \quad (2.4)$$

$$E(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4} \quad (2.5)$$

dengan,

ω : frekuensi (Hz)

ω_p : frekuensi puncak

α : konstanta Philip (*equilibrium-range parameter*)

γ : *peakedness* parameter (γ=3.33)

β : 0.07 untuk $f<f_p$ atau 0.09 untuk $f> f_p$

g : percepatan gravitasi (ms^{-2})

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

$$\alpha = 0.076\left(\frac{gX^2}{U^2}\right)^{-0.22} \tag{2.6}$$

$$\frac{U\omega_p}{g} = 3.5\left(\frac{gX^2}{U^2}\right)^{-0.33} \tag{2.7}$$

Dimana:

U : kecepatan angin yang paling sering terjadi 10m diatas permukaan air laut (ms^{-2})

X : panjang *fetch* (m)

2.2.5. Response Amplitude Operation (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Menurut Djatmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu:

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

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0}\ (m/m) \tag{2.8}$$

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

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w\zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0}(rad/rad) \tag{2.9}$$

2.2.6. Gaya Hidrodinamis

a. Gaya *Drag* (F_D)

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

$$F_D = C_D . A_{fb} . \rho_w . U^2 \quad (2.8)$$

dengan,

F_D : gaya *drag* (N)

C_D : koefisien drag

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

ρ_w : massa jenis air (kg/m^3)

U : kecepatan gelombang (m/s)

b. Gaya *Inertia* (F_I)

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

$$F_I = \rho_w . C_M . V_{fb} \left(\frac{du}{dt}\right) \quad (2.9)$$

dengan,

F_I : gaya inersia (N)

C_M : koefisien inersia

V_{fb} : volume *floating breakwater* (m^3)

du/dt : percepatan horizontal partikel (ms^{-2})

c. Gaya *Lift* (F_L)

Berdasar hukum *Archimedes,* benda yang tercelup kedalam zat cair akan mengalami gaya angkat yang besarnya setara dengan berat volume zat cair yang dipindahkan. Berdasarkan itu, Kim (2001), merumuskan gaya apung dengan persamaan sebagai berikut

$$F_L = \rho_w . V_{fb} . g \quad (2.10)$$

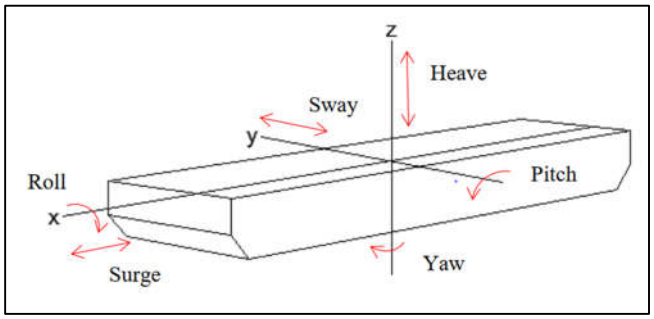
dengan,

F_L : gaya apung (N)

2.2.7. Teori Gerak Dasar Bangunan Laut Mengapung Akibat Gelombang

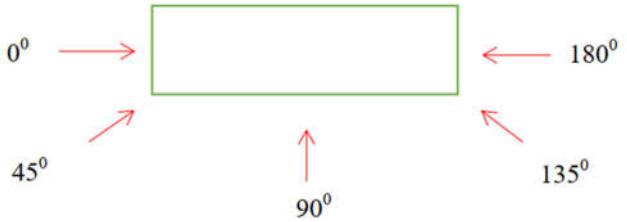
Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional, yaitu sebagai berikut :

- Mode gerakan transional pada bangunan:
  - *Surge*, gerakan transversal searah sumbu x
  - *Sway*, gerakan transversal searah sumbu y
  - *Heave*, gerakan transversal searah sumbu z
- Mode gerakan rotasional pada bangunan:
  - *Roll,* gerakan rotasional searah sumbu x
  - *Pitch,* gerakan rotasional searah sumbu y
  - *Yaw,* gerakan rotasional searah sumbu z



Gambar 2. 5. Ilustrasi 6 Moda Gerak Bagunan Laut (Putra, 2017)

- Skenario arah pembebanan gelombang digunakan 90˚ terhadap *floating breakwater*



Gambar 2. 6. Ilustrasi Arah Datang Gelombang (Putra, 2017)

2.2.8. Sistem Tali Tambat

Floating breakwater lebih memungkinkan pada kondisi tanah yang buruk daripada *breakwater* konvensional karena *floating breakwater* tidak menyebabkan adanya tekanan tanah yang bisa menyebabkan *sliding* yang berakibat terjadinya kegagalan struktur, namun tetap saja *floating breakwater* harus menggunakan *anchored* yang ditaruh didasar laut (Fousert, 2006). Menurut Mc Cartney (1985), sebuah *floating breakwater* sebagai pelindung daerah pesisir dapat dipasang dengan tiga cara yang juga di ilustrasikan pada **Gambar 2.7** dibawah ini. 3 hal tersebut yaitu:

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

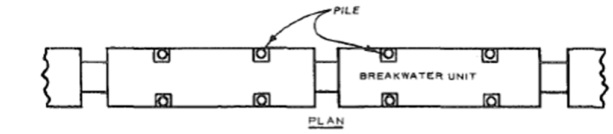


FIG. 14.—Pile Anchorage

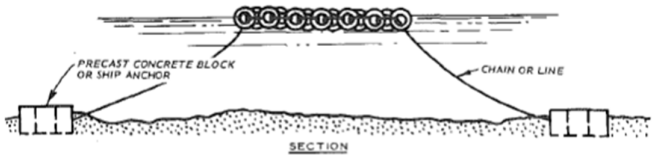


FIG. 15.—Anchor and Line

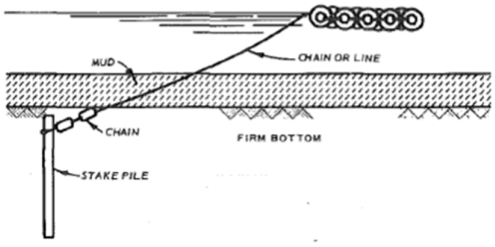


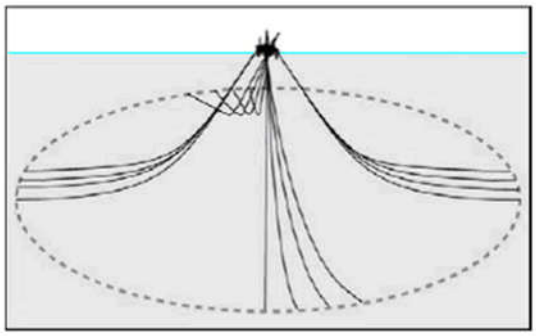
FIG. 16.—Stake Pile and Line

Gambar 2. 7. Ilustrasi Skema Pemasangan *Floating Breakwater* (Mc Cartney, 1985)

Terdapat beberapa jenis sistem tali tambat yang biasa digunakan, seperti :

a) Sistem Tambat *Catenary*

Merupakan sebuah struktur berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel atau rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri dengan kedua ujungnya tertahan. *Catenary mooring* bisa digunakan pada perairan dalam dan dangkal, akan tetapi lebih sering di gunakan di perairan dangkal. Penambat struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary* bertujuan untuk memanfaatkan berat *mooring* sehingga struktur terapung tertahan di posisinya selama mendapat gangguan dari lingkungan laut



Gambar 2. 8. Konfigurasi sistem tambat tipe *catenary*
(Sumber : http://www.dredgingengineering.com)

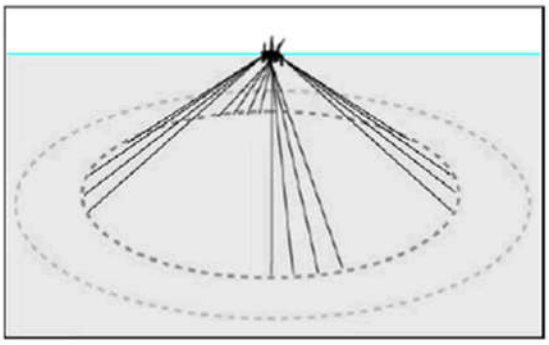
b) Sistem Tambat *Taut*

Merupakan sistem tambat (*mooring*) yang biasa digunakan pada kondisi laut yang dalam. Penambat struktur terapung menggunakan prinsip taut ini memanfaatkan tegangan sistem tambat (*mooring*) untuk menahan gaya apung dari struktur tersebut. Dengan keadaan sistem tambat yang tegang ini penggunaan *taut mooring* menjadi memiliki radius *mooring* yang lebih rendah. Pemasangan *mooring* dilakukan tergantung dengan kebutuhan. Cara pemasangan yang bisa dipilih diantaranya:

1. Dipasang menggunakan tali (*mooring*) dan *pile* pancang.

2. Dipasang dengan *piling*, sehingga nantinya dapat bergerak naik turun tanpa ada gerakan lateral.

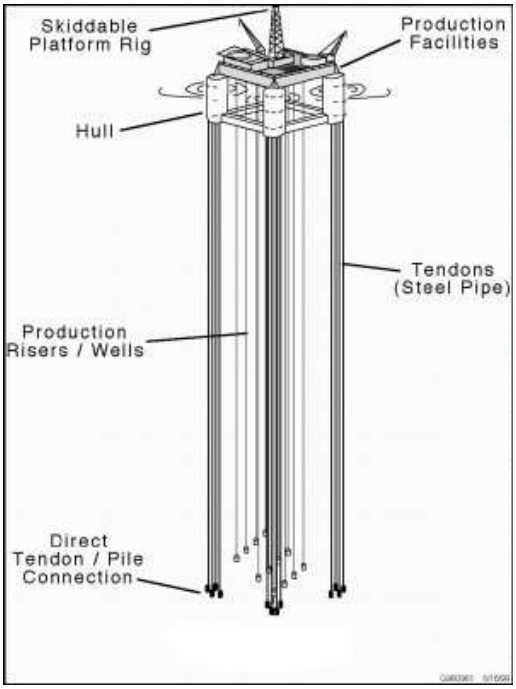
3. Dipasang menggunakan masa konkrit atau jangkar kapal yang ditali.



Gambar 2. 9. Konfigurasi sistem tambat tipe taut
(Sumber : http://www.dredgingengineering.com)

c) Sistem Tambat *Tension Leg*

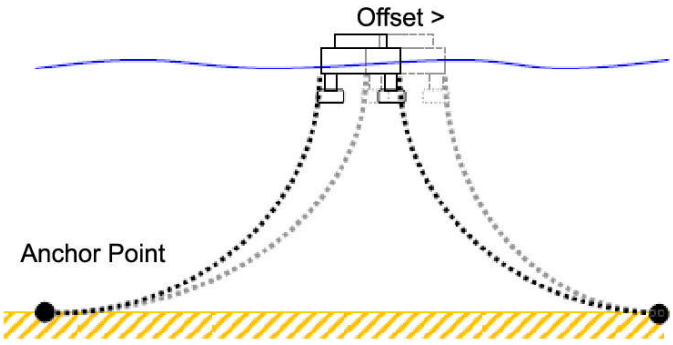
Menahan struktur yang mempunyai kelebihan gaya apung sehingga pergerakan vertical dibatasi.



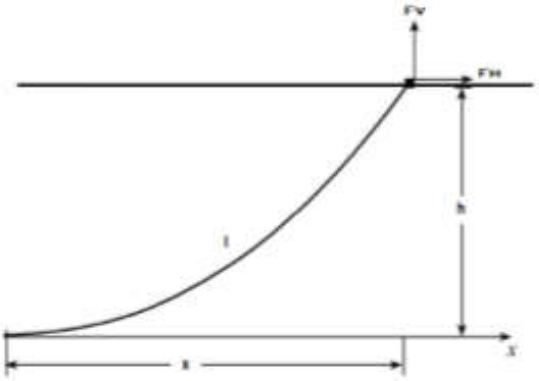
Gambar 2. 10. Tipe Tension Leg
(Sumber : http://www.sholihinalfansurisite.blogspot.com)

2.2.9. Sistem Tambat *Catenary*

Caterany merupakan system tambat berupa kabel atau rantai yang berbentuk kurva. Sistem ini membuat tali tambat menggantung bebas akibat beban internal dengan kedua ujungnya tertahan oleh breakwater dan seabed (Pranidya dan Muin 2012). Hal ini mengakibatkan beban internal dari tali tambat sendiri memiliki peran aktif dalam menahan *floating breakwater* untuk offset secara horizontal maupun vertikal yang tinggi. Oleh sebab itu, sistem tambat *catenary* sangat baik mengakomodasi gerakan struktur secara vertikal dibanding sistem tambat lainnya. Pada umumnya hal ini yang medasari urgensinya penggunaan sistem tambat ini pada kondisi perairan dengan gerakan vertikal yang tinggi.



Gambar 2. 11. Sistem Tambat *Catenary*
(Sumber: www.semanticscholar.org)



Gambar 2. 12. Konfigurasi Panjang Mooring (Faltinsen, 1990)

$$l = h\sqrt{\frac{2F_h}{w.h} + 1} \tag{2.11}$$

Keterangan :

l : panjang *mooring line* (m)

h : kedalaman perairan (m)

Fh : gaya horizontal pada *fairlead* (kN)

w : berat *mooring line* (N/m)

$$X = l - h\left(1 + 2\frac{a}{h}\right)^{\frac{1}{2}} + a.cosh^{-1}(1 + \frac{h}{a}) \tag{2.12}$$

Keterangan :

X : Jarak horizontal antara *fairlead* dan *anchore* (m)

a : Perbandingan gaya horizontal pada *fairlead* dengan berat *mooring line* (kN.m/kg)

2.2.10. Perhitungan Sistem Tambat *Catenary*

Faltinsen (1990), mengatakan bahwa untuk menghitung tegangan yang terjadi pada tali tambat digunakan persamaan yang merupakan penjumlahan dari beberapa komponen antara lain gaya horizontal gelombang, berat tali, dan beberapa komponen lain. Persamaan tersebut diilustrasikan pada **Gambar 2.13** dibawah ini dan juga dapat dituliskan sebagai persamaan 2.13 :

$$T_m = T_H + wh + (w + \rho gA)z \tag{2.13}$$

dengan,

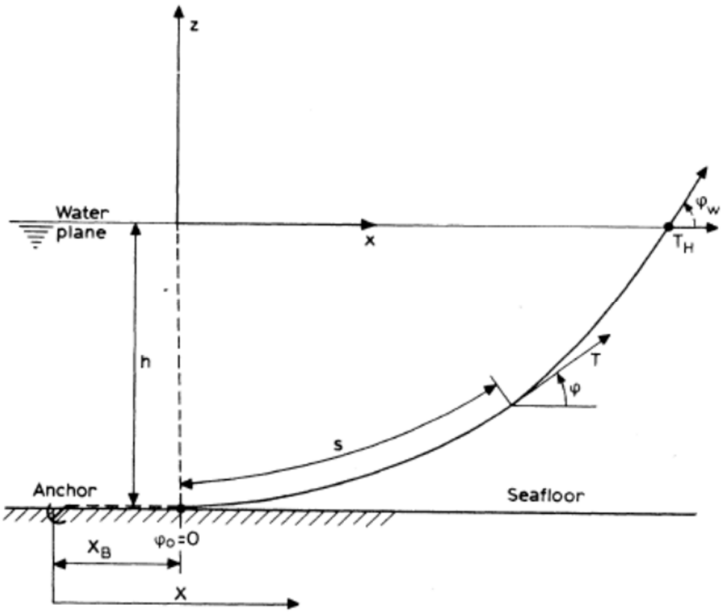
T_H : tegangan horizontal yang terjadi pada *fairlead* (N)

w : berat tali tambat yang digunakan per satuan panjang (Nm^{-1})

h : kedalaman air (m)

A : luas permukaan tali tambat (m^2)

z : panjang tali (m)



Gambar 2. 13. Analisis Tegangan Pada Tali Tambat (Faltinsen, 1990)

2.2.11. Tegangan Maksimum Tali Tambat

Tegangan maksimum tali tambat selalu lebih tinggi dari beban horizontal pada rantai. Namun biasanya hanya *horizontal load* yang diketahui. Kemudian Tsinker (1995) memperkirakan tegangan maksimum dari *horizontal load* sebagai berikut:

$$T_{max} = 1.12T_H \tag{2.14}$$

dengan,

T_{max} : tegangan maksimum (N)

T_H : tegangan horizontal (N)

Persamaan diatas merupakan estimasi hubungan antara tegangan maksimum dengan gaya horizontal untuk perairan dengan kedalaman dibawah 30 meter.

2.2.12. Parameter-parameter Hidrostatis

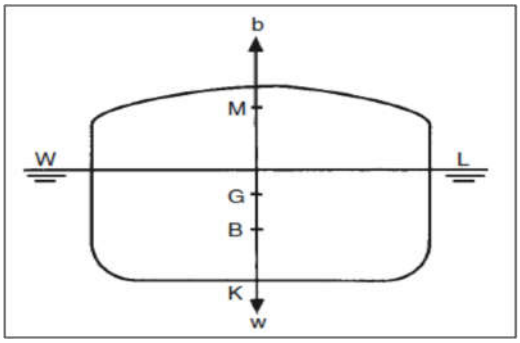
Bangunan apung memiliki sifat-sifat tertentu ketika mengapung di air. Sifat-sifat bangunan apung yang tercelup di dalam air ini disebut lengkung hidrostatik atau parameter hidrostatik. Parameter hidrostatik terbagi menjadi 20 lengkungan antara lain *Water Plane Area* (WPA), *Coefficient of Water Line* (CWL), *Midship Coefficient* (CM), *Block Coefficient* (CB), *Prismatic Coefficient* (w), *Displacement* (D), *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB), *Keel to Center of Bouyancy* (KB), dan lain-lain. Namun, dalam tugas akhir ini parameter hidrostatik yang digunakan hanya *Displacement*, *Keel to Center of Bouyancy* (KB), dan *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB). Selain itu terdapat parameter lain yang digunakan berupa titik berat bangunan apung berupa *Longitudinal Center of Gravity* (LCG) dan *Transversal Center of Gravity* (TCG). 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)**

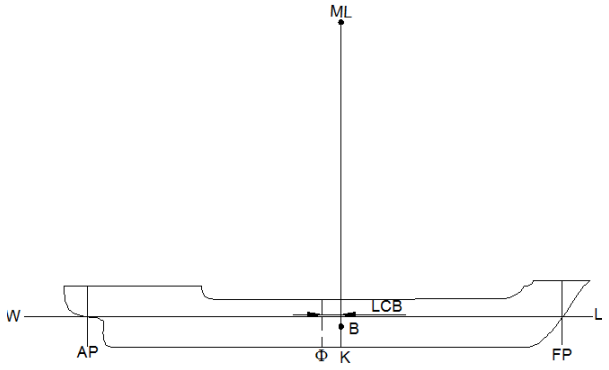
   Keel to Center of Bouyancy (KB) adalah jarak titik tekan (titik *bouyancy*) ke lunas kapal dalam meter. KB menunjukkan titik *bouyancy* secara vertikal. KB dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 2. 14. *Keel to Center of Bouyancy* (KB)
(Sumber : www.saferoceans.com)

3. Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

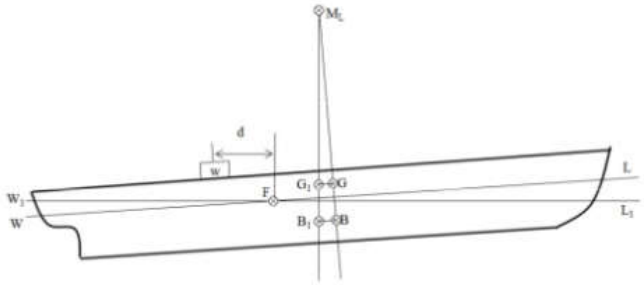
LCB adalah jarak titik tekan (titik *buoyancy*) terhadap station *midship* kapal untuk setiap sarat kapal. Tanda negatif (-) dan positif (+) menunjukkan letaknya ada di depan *midship* (+) dan di belakang *midship* (-).Titik B merupakan titik tangkap gaya tekan keatas atau juga didefinisikan sebagai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



Gambar 2. 15. *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. 16. *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.

2.2.13. Pemodelan Fisik

Dalam melakukan pemodelan prototipe struktur menjadi sebuah model perlu diperhatikan pemodelan fisik dari struktur tersebut. Pada prototipe, adanya permasalahan fenomena fisik yang dapat dimodelkan dengan ukuran ataupun skala yang lebih kecil dengan memperhatikan kesebangunan yang memadai. Alasan yang mendasari dilakukannya pemodelan skala adalah untuk membangun kembali permasalahan yang ada di prototipe ke dalam ukuran yang lebih kecil (model) dan diharapkan fenomena yang terjadi pada model memiliki kemiripan dengan prototipe. Berikut beberapa kesebangunan yang dimaksud:

1. Sebangun Geometrik

   Apabila model dan prototipe mempunyai ukuran yang berbeda namun bentuk yang sama disebut sebangun geometrik. Ada dua macam sebangun geometrik:

   a. Sebangun geometrik sempurna, memiliki kriteria skala panjang arah horizontal (skala panjang) dan skala vertikal (skala tinggi) memiliki nilai yang sama. Sebangun geometrik sempurna dapat ditentukan sebagai berikut.

      1. Skala Luas

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = (n_L)^2 \quad (2.15)$$

      2. Skala Volume

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^3 \quad (2.16)$$

   b. Sebangun geometrik dengan distorsi, memiliki skala panjang arah horizontal (skala panjang) tidak sama dengan skala vertikal (skala tinggi). Sebangun geometrik dengan distorsi dapat ditentukan sebagai berikut.

1. a. Skala luas posisi horizontal

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = (n_L)^2 \quad (2.17)$$

b. Skala luas posisi vertikal

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ tinggi)_p}{(panjang\ x\ tinggi)_m} = n_L n_h \quad (2.18)$$

2. Skala Volume

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^2 n_h \quad (2.19)$$

2. Sebangun Kinematik

Jika prototipe yang memiliki sebangun geometrik dengan model serta perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang saling berkaitan pada keduanya ketika searah memiliki nilai yang sama besar, maka keduanya disebut sebangun kinematik.

3. Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik terjadi jika prototipe dan model memiliki beberapa kriteria seperti:

- Sebangun geometrik,
- Sebangun kinematik,
- Gaya-gaya yang bersangkutan pada keduanya ketika searah memiliki nilai yang sama.

Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya berat, gaya gesek, gaya inersia, gaya elastisitas, dan gaya tegangan permukaan. Gaya-gaya tersebut merupakan gaya yang berpengaruh langsung dalam menentukan skala model kesebangunan dinamik. Berikut beberapa bilangan tak berdimensi untuk mendapatkan kesebangunan dinamik yaitu :

a. Bilangan Reynold

Bilangan Reynold dapat diekspresikan sebagai rasio antara gaya inersia dengan gaya gesek. Saat gaya inersia dan gaya gesek memiliki peranan penting dalam suatu permasalahan, maka pada model dan prototipe harus memiliki rasio gaya yang sama.

$$Re = \frac{UL}{v} \Rightarrow n_{Re} = \frac{Re_p}{Re_m} = \frac{U_p L_p}{v_m} \frac{v_m}{U_m L_m} = \frac{n_U n_L}{n_v} \quad (2.20)$$

$$n_{Re} = \frac{n_U n_L}{n_v} = 1 \quad (2.21)$$

Menurut kondisi Bilangan Reynold, persyaratan diatas telah memenuhi kriteria sebangun dinamika. Persyaratan ini biasa disebut *scale condition*.

b. Bilangan Froude

Bilangan froude dapat diekspresikan sebagai rasio antara gaya inersia dengan gaya gravitasi. Jika gaya gravitasi dan gaya inersia memiliki peranan penting dalam suatu permasalahan, maka pada model dan prototipe harus memiliki rasio gaya yang sama. Menurut kondisi bilangan Froude, kriteria ini sudah dapat disebut kriteria sebangun.

$$n_{Fr} = {}^{n_u}/_{(n_L)^{0.5}}=1 \quad (2.22)$$

c. Bilangan Weber

Bilangan Weber dapat diekspresikan sebagai rasio antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan.

$$\frac{(\rho L^3)({}^{U^2}/_{L})}{\sigma L} = \frac{\rho UL}{\sigma} = We \quad (2.23)$$

d. Bilangan Cauchy

Bilangan Cauchy dapat diekspresikan sebagai rasio antara gaya inersia dan gaya elastisitas.

$$\frac{(\rho L^3)({}^{U^2}/_{L})}{EL} = \frac{\rho U^2}{E} = Ca \quad (2.24)$$

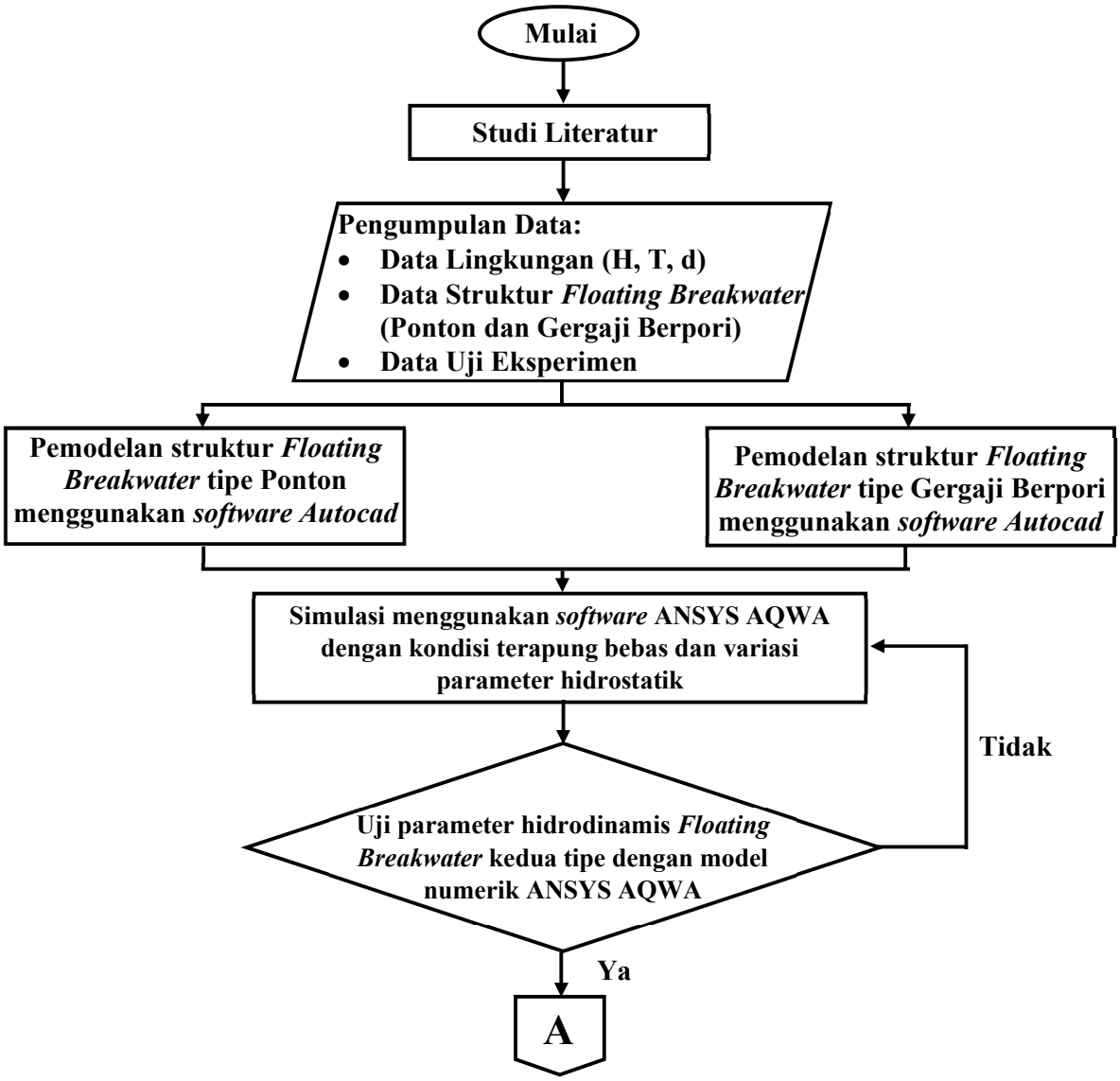
2.2.14. *Software* ANSYS AQWA

Pada pengerjaan tugas akhir ini dibantu dengan menggunakan *software* ANSYS AQWA yang sudah biasa digunakan untuk menyelesaikan masalah di bidang teknik kelautan. *Software* ANSYS AQWA adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang model dan melakukan simulasi untuk menguji ketahanan model, distribusi temperatur, pergerakan fluida, dan sifat elektromagnetik. Pemodelan struktur pada *software* ini dibantu dengan menggunakan AutoCAD yang kemudian dapat dieksport pada *software* ini. Analisis sistem yang digunakan pada *software* ini adalah *hydrodynamic diffraction*. *Hydrodynamic diffraction* ini digunakan untuk validasi parameter hidrostatik, modelling dan menganalisis *Response Amplitude Operation* (*RAO*). Selain itu *software* ini juga mampu menganalisis *hydrodynamic response* model untuk mencari besar tegangan tali tambat yang dihasilkan dari simulasi.

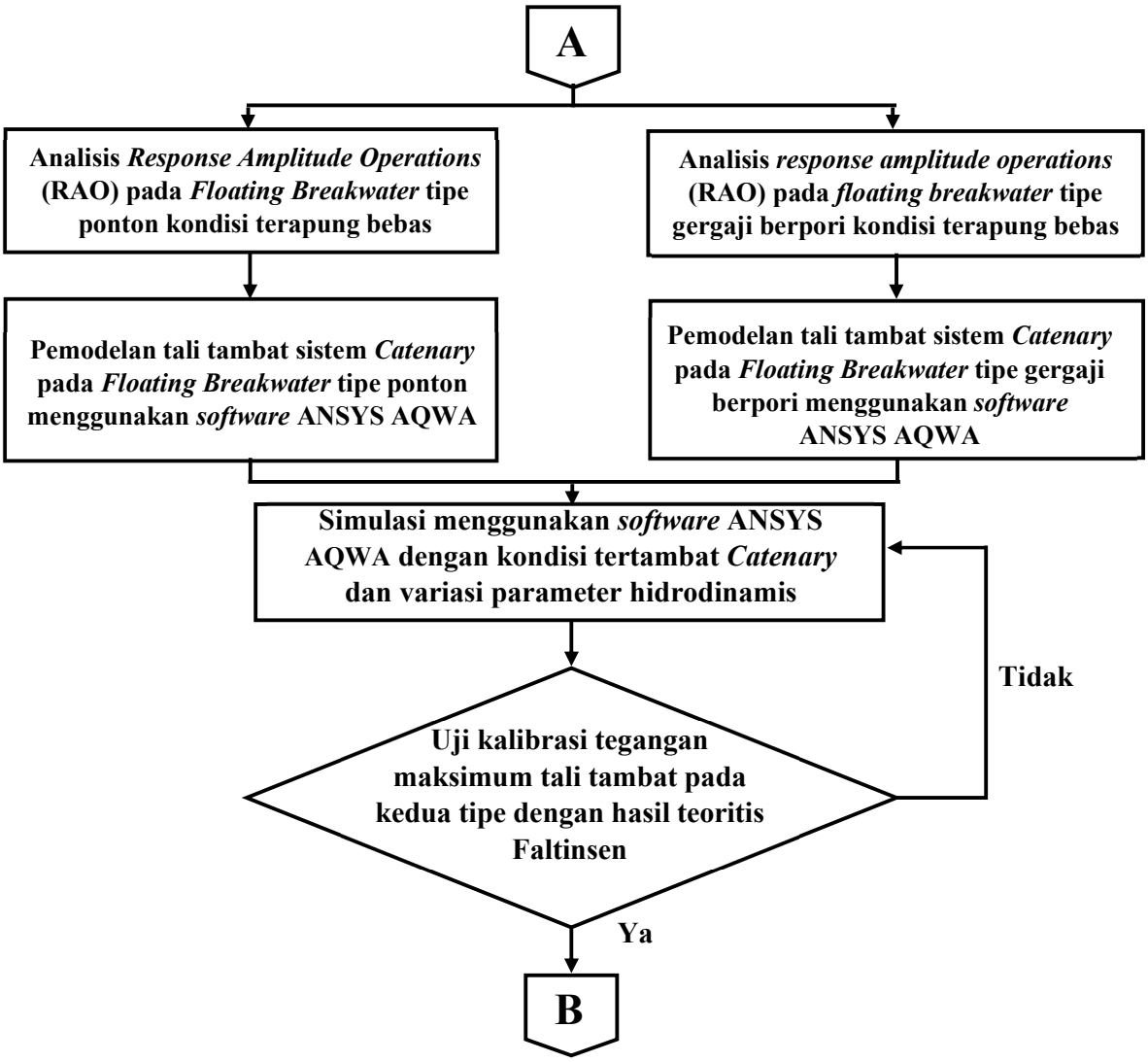
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

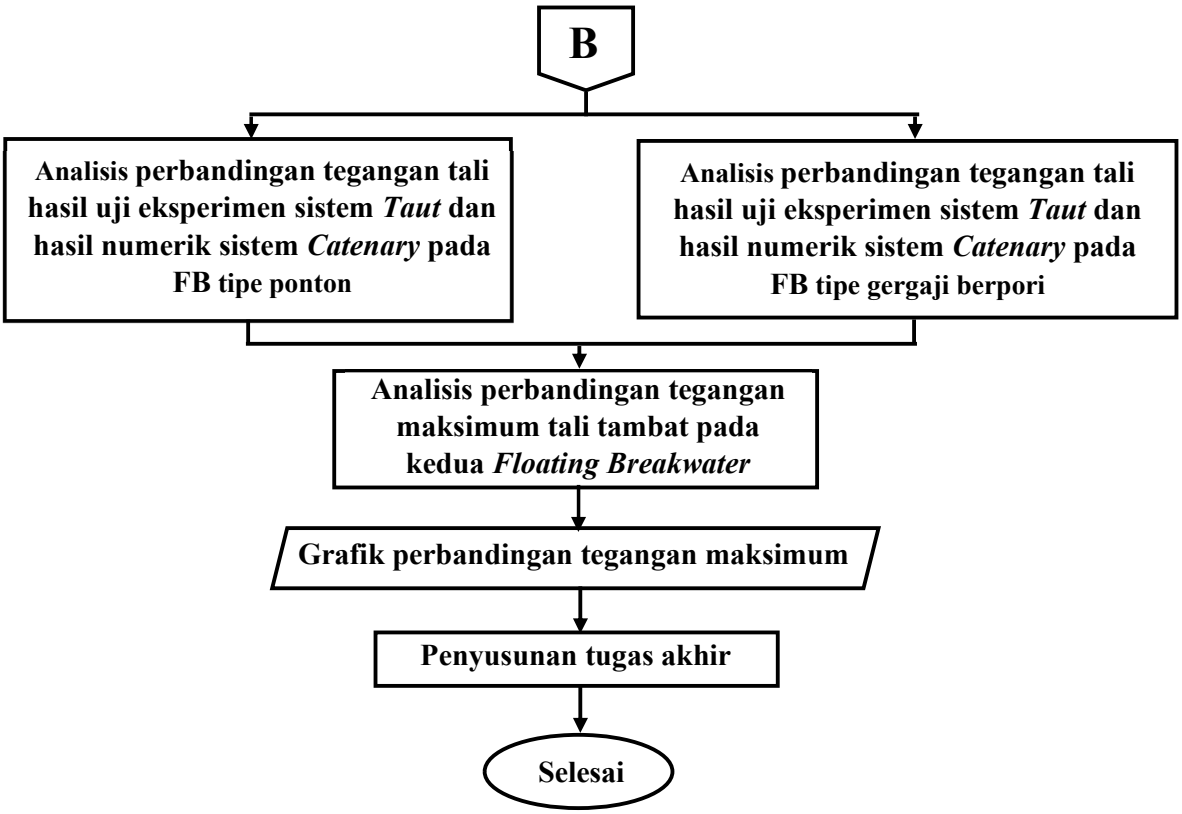
Berikut ini merupakan metodologi penelitian yang digambarkan secara singkat dengan diagram alir oleh peneliti:



Gambar 3. 1. Diagram Alir Tugas Akhir



Gambar 3. 2. Diagram Alir Tugas Akhir (Lanjutan 1)



Gambar 3. 3. Diagram Alir Tugas Akhir (Lanjutan 2)

3.2. Penjelasan Diagram Alir

1. Studi Literatur

   Hal ini diperlukan guna menghimpun dan mempelajari referensi-referensi serta dasar teori dari penelitian terbaru yang berkaitan dengan topik yang hendak dibahas pada tugas akhir ini. Referensi-referensi ini dapat berupa buku, modul *software*, tugas akhir terdahulu, paper, jurnal dan lain sebagainya.

2. Pengumpulan Data

   Kumpulan data yang ditinjau merupakan data yang digunakan pada eksperimen di laboratorium Flume (2019) oleh peneliti sebelumnya. Data yang digunakan terbagi menjadi tiga macam, yaitu data lingkungan (H, T, d), data struktur *floating breakwater*, dan data uji eksperimen.

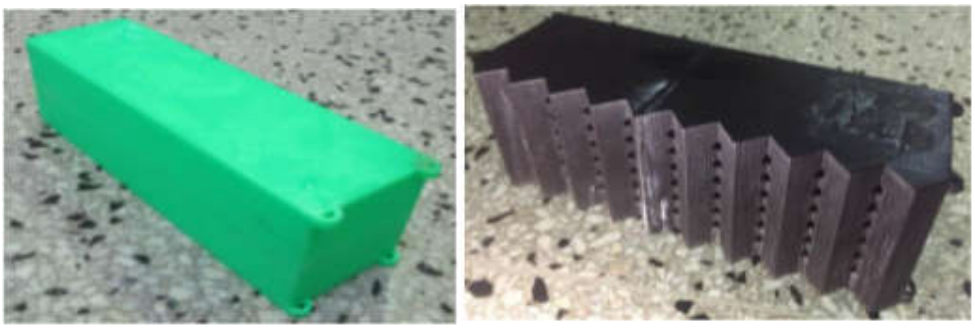
   Floating breakwater yang diuji adalah *floating breakwater* tipe ponton dan tipe gergai berpori. Peneliti sebelumnya melakukan uji pemodelan fisik dengan membuat prototype model dari *floating breakwater* yang telah di skala sebesar 1:50. Skala ini mencangkup panjang, lebar, tinggi dari *floating breakwater*. Model ini menggunakan Polyethilene (PE) sebagai tali tambatnya. Dalam membuat model fisik yang telah diskala, peneliti sebelumnya menggunakan material beton K300. Beton K300 memiliki massa jenis sebesar 2300 kg/ /m^3.

   Pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori ini, diisi pipa sehingga sisi depan dan belakang *breakwater* berlubang. Pipa yang digunakan berbahan material *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan massa jenis 960 kg/m^3. *Outside diameter* (OD) yang digunakan adalah 20 cm serta ketebalan pipa 1 cm pada prototype tanpa skala. Hal ini dimaksudkan sebagai porositas pada *floating breakwater* sebesar 15%. Kedua tipe *breakwater* diatas mengapung dengan freeboard sebesar 1 m diatas permukaan air laut pada prototype tanpa skala. Berikut adalah dimensi dasar dari floating breakwater yang diteliti pada **Tabel 3.1.**

Tabel 3. 1. Dimensi model dari *Foating Breakwater*

Dimensi	Prototype (m)	Skala	Model (cm)
Panjang	10	1:50	20
Lebar	3		6
Tinggi	3		6
Sarat Air	2		4

(Sumber: Sujantoko et. al., 2019)



Gambar 3. 4. Model Fisik *Floating Breakwater* Tipe Ponton dan Tipe Gergaji Berpori (Sujantoko et. al., 2019)

Peneliti sebelumnya juga melakukan skenario uji model fisik *floating breakwater* yang diikat dengan tali tambat. Berikut adalah tabel skenario kondisi lingkungan yang ditetapkan oleh peneliti sebelumnya pada **Tabel 3.2.**

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

(Sumber: Sujantoko et. al., 2019)

3. Pemodelan struktur *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori menggunakan *software* AutoCAD

   Terdapat dua tipe struktur *floating breakwater* yang akan dianalisis secara numerik. Masing-masing dari tipe struktur tersebut memiliki bentuk yang berbeda. Selain itu pada tipe ponton memiliki struktur yang pejal, sedangkan tipe gergaji berpori memiliki keunikan seperti porositas. Kedua bentuk ini perlu untuk dimodelkan agar dapat dianalisis dan dibandingkan. Dalam memodelkannya digunakan *software* AutoCAD. Model yang dibuat mengacu pada model fisik dari penelitian sebelumnya seperti pada **Gambar 3.4.**

4. Simulasi menggunakan *software* ANSYS AQWA dengan kondisi terapung bebas dan variasi parameter hidrodinamis

   Setelah dilakukan pemodelan kedua *floating breakwater*, dilanjutkan dengan simulasi menggunakan *software* ANSYS AQWA. Simulasi dijalankan dengan kondisi model terapung bebas dan diberikan variasi parameter hidrodinamis (H, T, d). Arah pembebanan yang digunakan bersudut 90˚. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik respon hidrodinamis dari kedua model struktur.

5. Uji parameter hidrodinamis *Floating Breakwater* kedua tipe dengan model numerik pada *software* ANSYS AQWA.

   Setelah dijalankannya simulasi pada model, selanjutnya dilakukan uji parameter hidrodinamis. Uji ini dimaksudkan untuk membandingkan model dengan data yang telah didapatkan pada uji eksperimen di laboratorium. Apakah model sudah dapat menggambarkan *floating breakwater* yang digunakan pada eksperimen di laboratorium? Jika dirasa belum menggambarkan, dapat mengulang simulasi kembali dengan melakukan beberapa validasi didalamnya.

6. Analisis *Response Amplitude Operations* (RAO) pada *Floating Breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori dengan kondisi terapung bebas

   Model yang telah diuji parameter hidrodinamisnya kemudian dilakukan tahap analisis *Response Amplitude Operations* (RAO). Tahap ini kembali menggunakan *software* ANSYS AQWA yang menghasilkan keluaran karakteristik respon gerak model pada moda gerak 6 derajat kebebasan (*surge, sway, heave, roll, pitch, dan yaw*). Keluaran ini juga dilakukan perbandingan guna mengetahui perbedaan ataupun persamaan karakteristik respon gerak pada kedua jenis *floating breakwater*.

7. Pemodelan tali tambat sistem *Catenary* pada *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori menggunakan *software* ANSYS AQWA

   Setelah dilakukan analisis, dapat dilakukan pemodelan sistem tambat yang digunakan. Pada penelitian ini sistem tambat yang digunakan adalah sistem *catenary*. Di tahap ini tali tambat dimodelkan berdasarkan panjang tali tambat, sudut tali tambat, dan bahan dari tali tambat. Dari pemodelan ini akan dihasilkan gaya tegangan maksimum yang berbeda-berbeda.

8. Simulasi menggunakan *software* ANSYS AQWA dengan kondisi tertambat dan variasi parameter hidrodinamis

   Keluaran dari tahap analisis RAO kemudian digunakan sebagai masukan pada *software* ANSYS AQWA. Selain masukan tersebut, ada juga variasi masukan beban lingkungan seperti periode gelombang, tinggi gelombang, dan kedalaman lingkungan. Model tali tambat sistem *catenary* yang telah jadi, kemudian dilakukan running dengan variasi hidrodinamis (H, T, d). *Running* ini akan menghasilkan tegangan maksimum pada tali tambat di kedua model struktur.

9. Uji kalibrasi tegangan maksimum tali tambat pada kedua tipe dengan hasil perhitungan teoritis Faltinsen

   Setelah didapatkan tegangan maksimum pada tali tambat, dilakukan uji kalibrasi dengan hasil perhitungan teoritis. Kedua tegangan maksimum dari perhitungan numerik dan perhitungan teoritis dilakukan perbandingan. *Error* yang dihasilkan dari perbandingan tersebut, akan menentukan seberapa sesuai model numerik tali tambat yang dimodelkan pada *software* ANSYS AQWA.

10. Analisis perbandingan tegangan tali hasil uji eksperimen sistem *Taut* dan hasil numerik sistem *Catenary* pada tiap tipe *Floating Breakwater*

    Setelah kalibrasi model numerik dengan hasil teoritis dilakukan, kemudian melakukan analisis perbandingan tegangan tali yang dihasilkan uji eksperimen sistem *Taut* sebelumnya dengan hasil numerik sistem *Catenary* yang didapatkan. Hal ini dapat menunjukkan karakteristik besarnya tegangan tali berdasarkan sistem yang diterapkan.

11. Analisis perbandingan tegangan maksimum tali tambat pada kedua *Floating Breakwater*

    Kemudian melakukan analisis perbandingan tegangan maksimum yang terjadi antara *floating breakwater* tipe ponton dan *floating breakwater* tipe gergaji berpori. Tegangan maksimum yang terjadi pada *floating breakwater* tipe ponton merupakan data pembanding, sedangkan tegangan maksimum yang terjadi pada *floating breakwater* tipe gergaji merupakan data utama yang diteliti. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hubungan, karakteristik ataupun perbedaan tegangan maksimum diantara keduanya.

12. Grafik perbandingan tegangan maksimum

    Keluaran akhir dari penelitian ini didapatkanya grafik perbandingan tegangan antara kedua *floating breakwater*. Dari keluaran ini dapat disimpulkan seberapa efektif desain *floating breakwater* tipe gergaji berpori dengan *floating breakwater* tipe ponton sebagai pembandingnya.

13. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

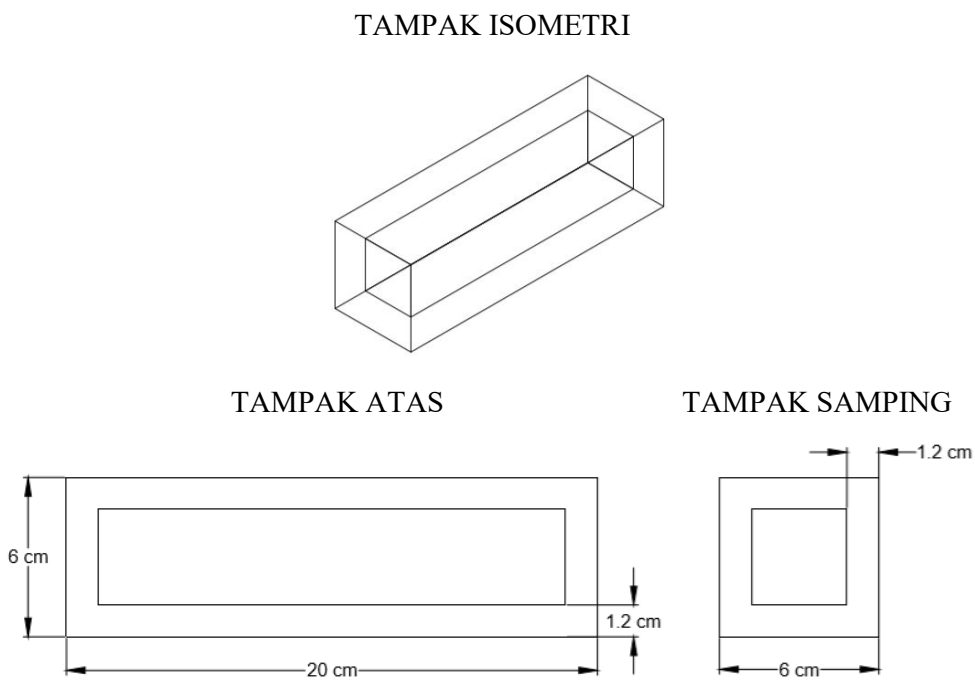
    Tahap terkahir menyusun laporan penelitian yang telah dilaksanakan. Laporan penelitian yang telah disusun berisi jawaban-jawaban yang diinginkan peneliti atas langkah-langkah yang telah disebutkan dan dijelaskan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk memudahkan penyampaian informasi yang ingin disampaikan oleh peneliti.

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan Floating Breakwater

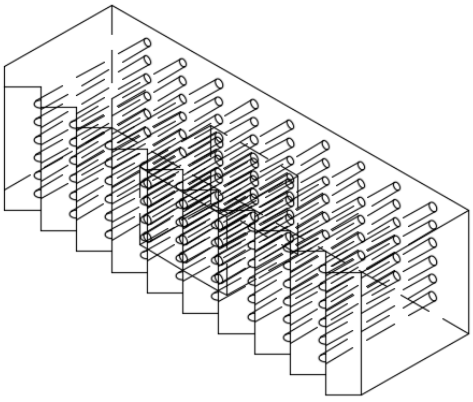
Dalam pengerjaan tugas akhir ini, *floating breakwater* yang akan diteliti dan dimodelkan disebut *floating breakwater* tipe ponton dan tipe gergaji berpori. Dinamakan tipe gergaji berpori karena pada sisi datang gelombang *floating breakwater* memiliki bentuk bergerigi seperti halnya gergaji jika dilihat tampak atas. Selain itu terdapat lubang pori yang menembus *floating breakwater* dari kedua sisi. Keunggulan tipe gergaji berpori dibanding tipe ponton adalah lebih baik dalam meredam gelombang dan memiliki tegangan tali tambat yang lebih rendah.

Pemodelan floating breakwater dilakukan dengan menggunakan *software* AutoCAD. Dimensi dari model disesuaikan dengan dimensi eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu panjang 20 cm, lebar 6 cm, dan tinggi 6 cm. Sementara nilai ketebalan floating breakwater didapatkan dari perhitungan draft. Untuk mendapatkan draft setinggi 4 cm, maka ketebalan floating breakwater harus 1,2 cm.

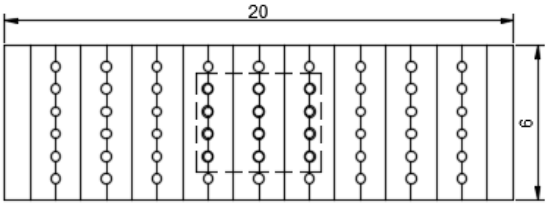


Gambar 4. 1. *Floating Breakwater* Tipe Ponton Citra 2D dan 3D

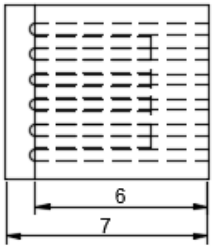
TAMPAK ISOMETRI



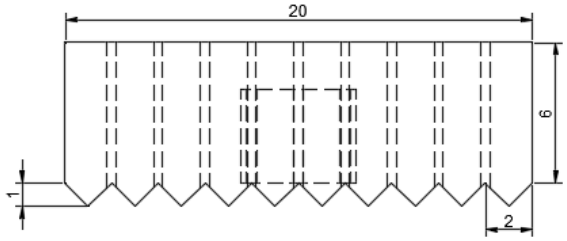
TAMPAK DEPAN



TAMPAK SAMPING

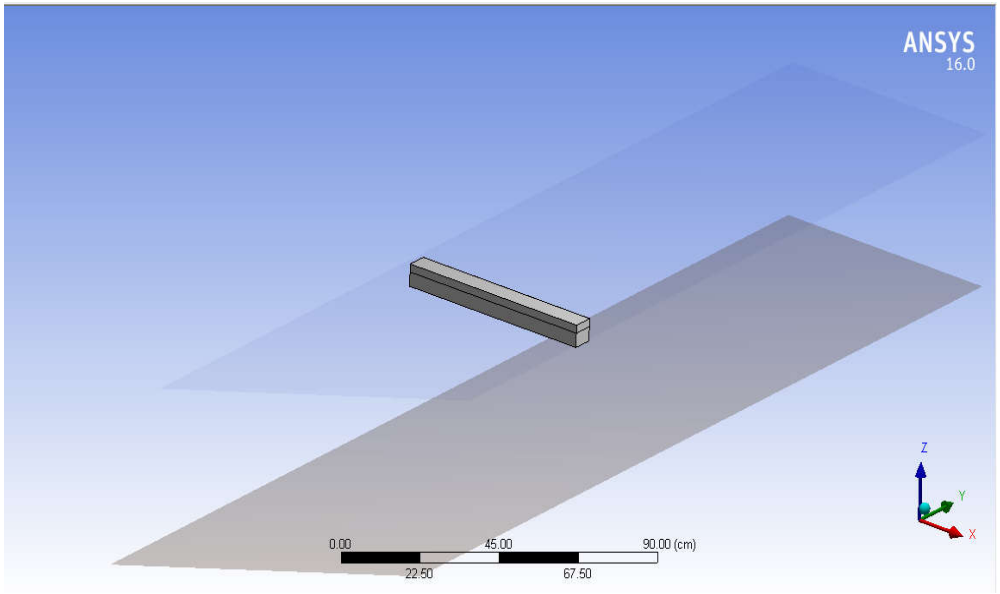


TAMPAK ATAS

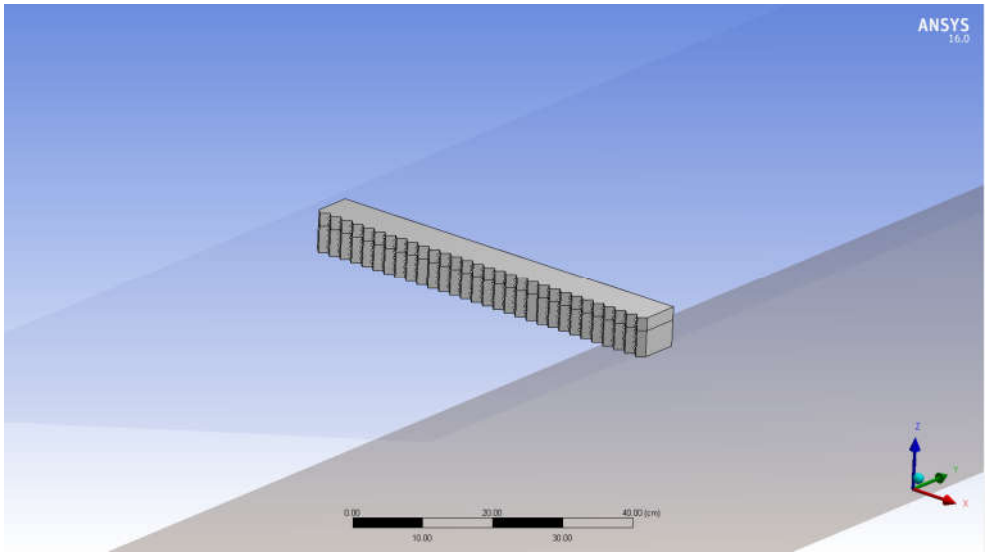


Gambar 4. 2. *Floating Breakwater* Tipe Gergaji Berpori Citra 2D dan 3D

Dari pemodelan di AutoCAD, *file* disimpan dengan format yang dapat diekspor ke *software* ANSYS AQWA. Berikut adalah gambar model yang telah diekspor ke dalam ANSYS AQWA.



Gambar 4. 3. Pemodelan *Floating Breakwater* Tipe Ponton pada *Software* ANSYS AQWA



Gambar 4. 4. Pemodelan Floating Breakwater Tipe Ponton pada *Software* ANSYS AQWA

4.2. Validasi Model *Floating Breakwater*

Sebelum melakukan analisis struktur, model *floating breakwater* harus divalidasi terlebih dahulu untuk mengetahui *floating breakwater* tersebut sesuai dengan kondisi pada penelitian sebelumnya. Paramater yang hendak digunakan untuk validasi pemodelan ini adalah *displacement.* Berdasarkan ABS (1998), validasi displacement bernilai maksimum 2% dan untuk ketentuan lainnya bernilai maksimum 1%.

Tabel 4. 1. Perbandingan Perhitungan Teoritis dengan Pemodelan Numerik

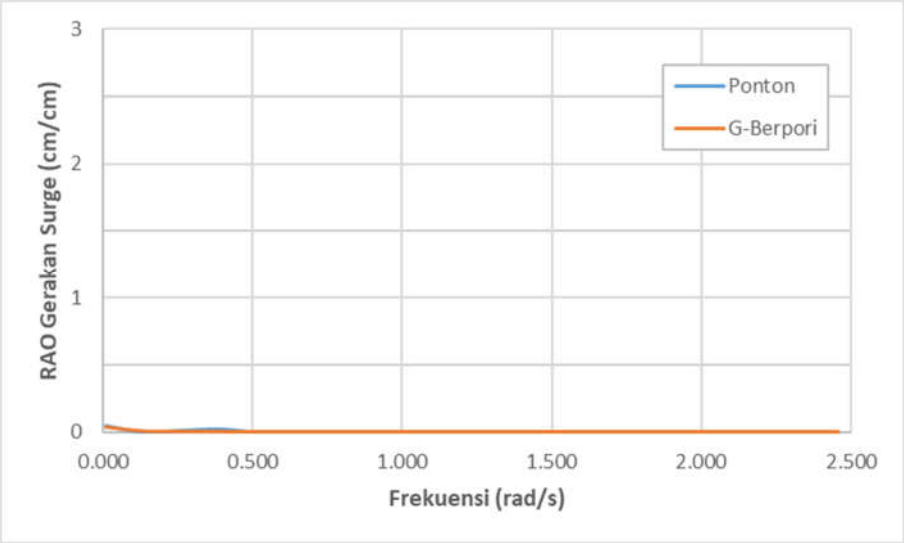
No	Parameter Hidrostatis	Floating Breakwater					
		Ponton		Error(%)	Gergaji Berpori		Error(%)
		Teoritis	Numerik		Teoritis	Numerik	
1	Volume Displacement (g)	1475.71	1475.71	0	1663.79	1658.28	0.33
2	WPA (cm^2)	360	360.001	0.002	372	371.8	0.05
3	KB (cm)	2	1.99	0.50	2	1.98	1.00

Titik KB berada pada setengah tinggi dari *floating breakwater* yang tercelup air. Untuk LCG dan LCB berada pada setengah panjang dari keseluruhan panjang *floating breakwater* dan titik TCG berada pada setengah lebar dari *floating breakwater*.

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

Validasi telah berhasil dilakukan, selanjutnya model diuji gerak menggunakan *software* ANSYS AQWA untuk mengetahui nilai RAO pada *floating breakwater* dalam kondisi terapung bebas. Nilai respon yang dihasilkan bersifat linear terhadap tinggi gelombang. Pengujian hanya dilakukan dengan kedalaman 41 cm, tinggi gelombang 3 cm dan periode gelombang 1,1 s. Hal ini dikarenakan RAO yang dihasilkan pada *floating breakwater* memiliki nilai yang hampir tidak berubah pada setiap kedalaman, tinggi gelombang dan periode gelombang. Skenario pembebanan gelombang yang dilakukan untuk menganalisis gerakan *floating breakwater* pada penelitian ini hanya menggunakan arah datang gelombang 90°.

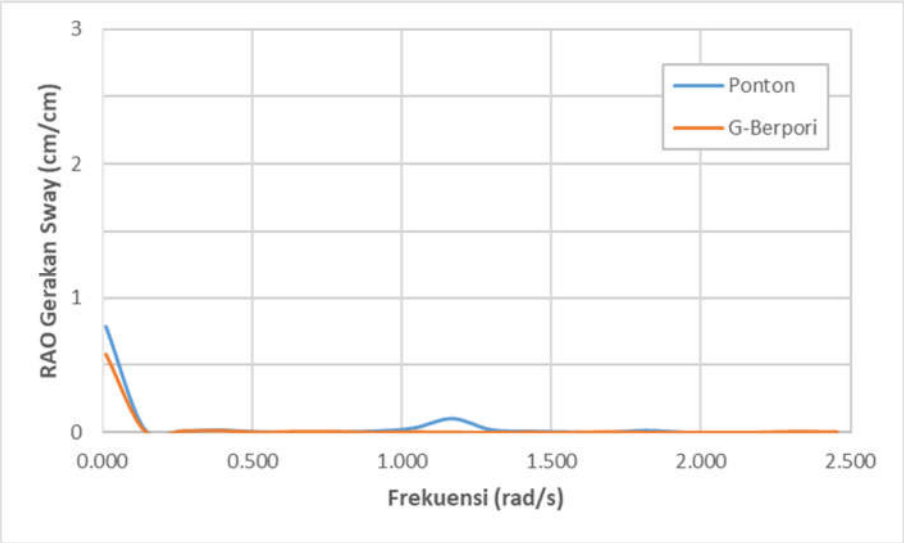
- **Analisis RAO Gerakan *Surge***



Gambar 4. 5. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Surge*

Pada **Gambar 4.5** memperlihatkan respon gerakan *surge* terbesar pada kedua *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori terjadi pada frekuensi 0.01 rad/s dengan nilai RAO berturut-turut adalah 0.043 cm/cm dan 0.035 cm/cm. Hasil ini menggambarkan bahwa gerakan *surge* terbesar terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.01 rad/s. Nilai RAO gerakan *surge* terus mengalami penurunan berbanding terbalik dengan bertambahnya frekuensi. Berdasarkan jenis *floating breakwater*, nilai RAO gerakan *surge* lebih besar terjadi pada tipe ponton. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil. Nilai RAO yang kecil juga dikarenakan gerakan ini searah dengan sumbu x struktur sedangkan arah datang gelombang 90° dimana tegak lurus bidang struktur sehingga gerakan ini tidak terlalu mempengaruhi struktur.

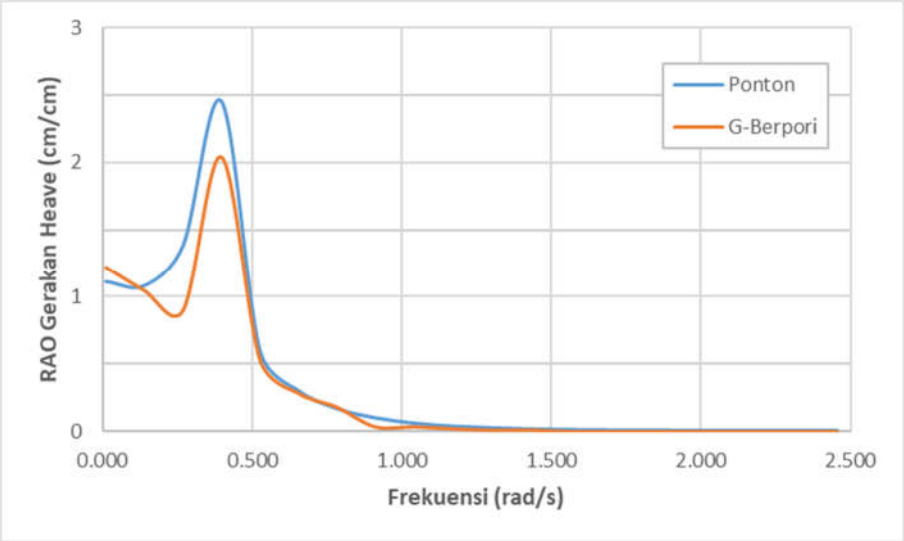
- **Analisis RAO Gerakan *Sway***



Gambar 4. 6. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Sway*

Pada **Gambar 4.6** memperlihatkan respon gerakan *sway* terbesar pada kedua *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori terjadi pada frekuensi 0.01 rad/s dengan nilai RAO berturut-turut adalah 0.79 cm/cm dan 0.58 cm/cm. Hasil ini menggambarkan bahwa gerakan *sway* terbesar terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.01 rad/s. Nilai RAO gerakan *surge* terus mengalami penurunan berbanding terbalik dengan bertambahnya frekuensi. Nilai RAO gerakan *sway* bernilai lebih besar daripada gerakan *surge*, hal ini disebabkan arah datang gelombang 90° searah dengan arah gerakan *sway* pada sumbu y sehingga lebih mempengaruhi gerakan pada *floating breakwater*. Berdasarkan jenis *floating breakwater*, nilai RAO gerakan *sway* lebih besar terjadi pada tipe ponton. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil.

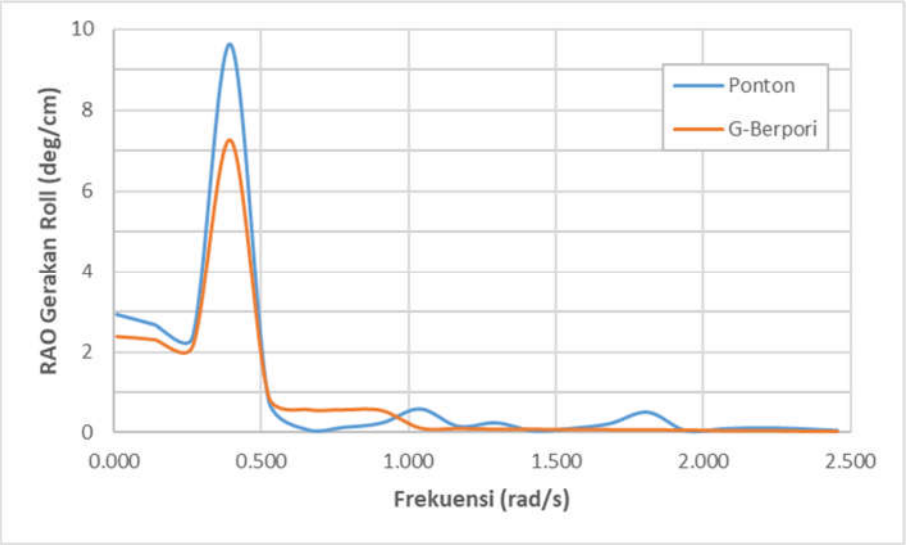
- **Analisis RAO Gerakan *Heave***



Gambar 4. 7. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Heave*

Pada **Gambar 4.7** memperlihatkan respon gerakan *heave* terbesar pada kedua *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori terjadi pada frekuensi 0.396 rad/s dengan nilai RAO berturut-turut adalah 2.457 cm/cm dan 2.039 cm/cm. Nilai RAO mengalami penurunan yang drastis dari frekuensi 0.396 rad/s ke frekuensi 0.525 rad/s yang memiliki nilai berturut-turut menjadi 0.59 cm/cm dan 0.53 cm/cm. Setelah itu nilai RAO terus menurun seiring dengan semakin besarnya frekuensi. Nilai RAO gerakan *heave* lebih besar dibandingkan dengan gerakan *sway* karena gaya berat *floating breakwater* tidak cukup besar menahan gerakan searah sumbu z. Berdasarkan jenis *floating breakwater*, nilai RAO gerakan *heave* lebih besar terjadi pada tipe ponton. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil.

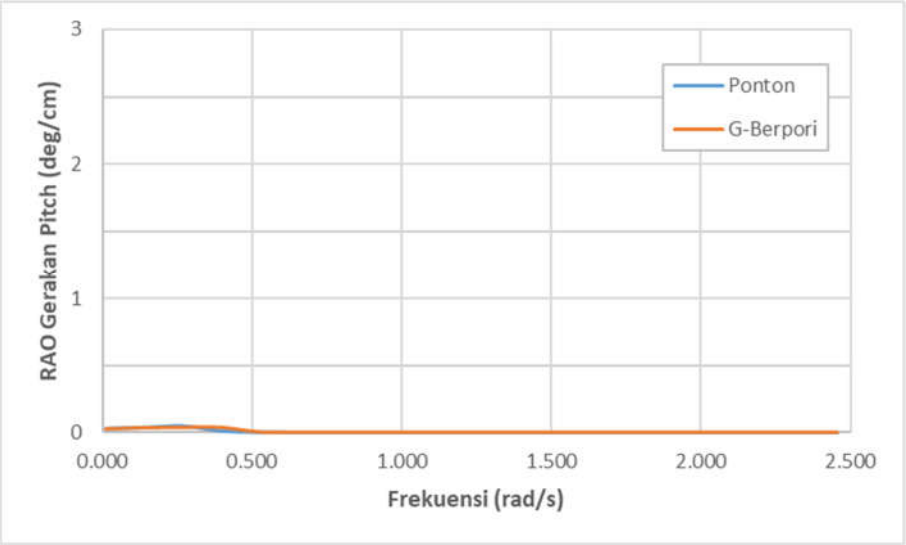
- **Analisis RAO Gerakan *Roll***



Gambar 4. 8. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Roll*

Pada **Gambar 4.8** memperlihatkan respon gerakan *roll* terbesar pada kedua *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori terjadi pada frekuensi 0.396 rad/s dengan nilai RAO berturut-turut adalah 9.64 deg/cm dan 7.27 deg/cm. Nilai RAO gerakan *roll* baik ponton dan gergaji berpori mengalami kenaikan dari frekuensi 0.1 rad/s sampai frekuensi 0.396 rad/s. Setelah itu, nilai RAO gerakan *roll* terus mengalami penurunan. Pada gerakan *roll*, *floating breakwater* lebih mudah berotasi searah sumbu x sehingga menyebabkan nilai gerakan *roll* menjadi lebih besar dibandingkan gerakan lainnya. Selain itu, lebar struktur yang jauh lebih kecil dibandingkan panjangnya menyebabkan struktur ini mudah berotasi pada sumbu x apabila mendapakan arah pembebanan gelombang 90° atau pada bagian sisi struktur. Selain itu, secara umum nilai gerakan *roll* pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori lebih kecil dibandingkan tipe ponton. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil.

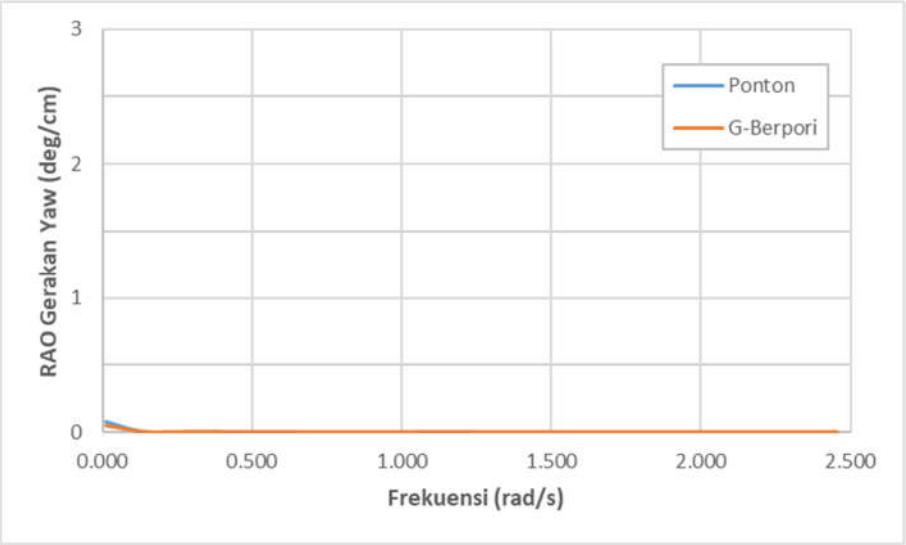
- **Analisis RAO Gerakan *Pitch***



Gambar 4. 9. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Pitch*

Pada **Gambar 4.9** memperlihatkan respon gerakan *pitch* terbesar pada kedua *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori terjadi pada frekuensi 0.267 rad/s dengan nilai RAO berturut-turut adalah 0.05 deg/cm dan 0.04 deg/cm. Nilai RAO gerakan *pitch* baik ponton dan gergaji berpori mengalami kenaikan dari frekuensi 0.01 rad/s sampai frekuensi 0.267 rad/s. Setelah itu, nilai RAO gerakan *pitch* terus mengalami penurunan. Nilai RAO gerakan *pitch* ini terlampau jauh jika dibandingkan dengan gerakan *roll*. Hal ini dikarenakan pada arah datang gelombang 90°, gerakan rotasi sumbu y tidak terlalu berpengaruh. Berdasarkan jenis *floating breakwater*, nilai RAO gerakan *pitch* lebih besar terjadi pada tipe ponton. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil.

- **Analisis RAO Gerakan *Yaw***



Gambar 4. 10. RAO pada *Floating Breakwater* dalam gerakan *Yaw*

Pada **Gambar 4.10** memperlihatkan respon gerakan *yaw* terbesar pada kedua *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori terjadi pada frekuensi 0.01 rad/s dengan nilai RAO berturut-turut adalah 0.08 deg/cm dan 0.05 deg/cm. Nilai RAO gerakan *yaw* baik ponton dan gergaji berpori mengalami penurunan setelah frekuensi tersebut. Hampir sama seperti gerakan *pitch*, gerakan *yaw* juga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah datang gelombang 90° sehingga nilai RAO gerakan *yaw* mendekati nol. Berdasarkan jenis *floating breakwater*, nilai RAO gerakan *yaw* lebih besar terjadi pada tipe ponton. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil.

Dari hasil RAO pada enam derajat kebebasan dapat disimpulkan bahwa nilai respon gelombang pada arah datang gelombang 90° didominasi oleh gerakan *sway*, *heave* dan *roll* sedangkan pada gerakan *surge*, *pitch* dan *yaw* tidak terlalu berpengaruh terhadap struktur.

4.4. Konfigurasi Tali Tambat *Floating Breakwater* Pada Saat Tertambat

Untuk pemodelan tali mooring digunakan jenis tali yang sama dengan prototipe yaitu polyethylene (PE). Tali jenis ini mempunyai sifat lebih ringan daripada rantai baja. Ukuran tali yang digunakan dalam pemodelan uji fisik digunakan tali berdiameter 1 mm. Spesifikasi tali yang digunakan tersaji dalam **Tabel 4.2** dan gambar tali seperti pada **Gambar 4.11** dibawah ini.

Tabel 4. 2. Spesifikasi Tali Tambat

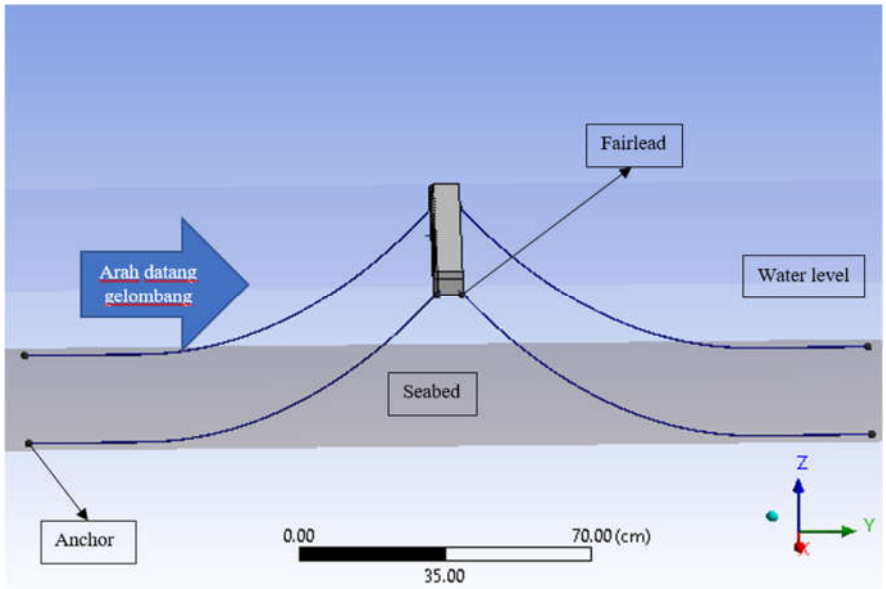
Available Size dia. (mm)	Weight (kg/100 m)	Breaking Strength	
		KN	Ton
0.8 mm	0,05	0,4	0,04
1 mm	0,07	0,7	0,075
1.2 mm	0,10	1,0	0,1
1.5 mm	0,16	1,5	0,15
6 mm	2,3	41,2	4,2
8 mm	3,9	65,7	6,7
10 mm	5,9	105,9	10,8
20 mm	25,5	407,1	41,5
36 mm	68	1020,2	104
40 mm	84	1245,9	127
48 mm	121	1756,0	179
50 mm	131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

Gambar 4. 11. Material Tali Tambat yang Berupa *Polyethilene*

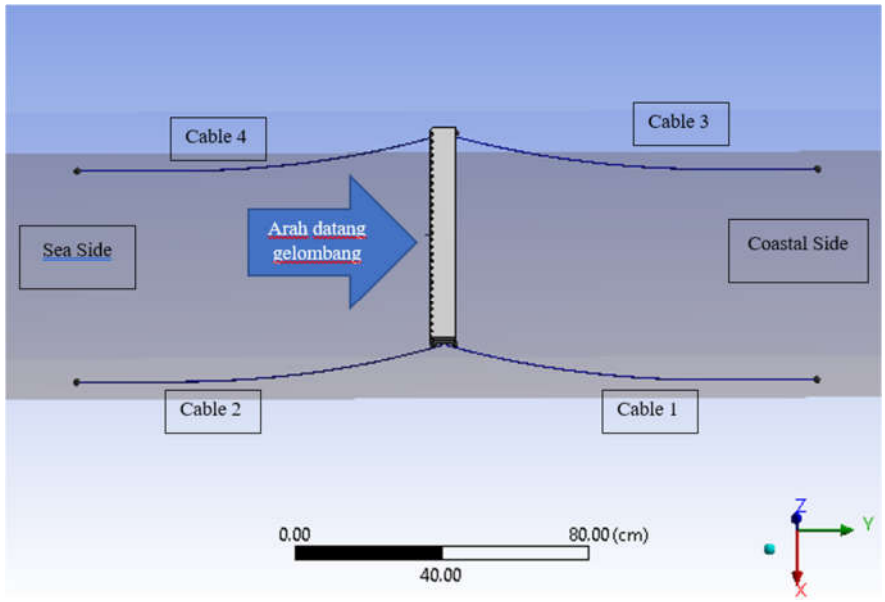
Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan Panjang Tali Tambat dan Letak *Anchor* Jenis *Catenary*

No.	Parameter	Nilai	Unit
I.	Properties *polyethylene*		
	1. Diameter tali (d_{tali})	1	mm
	2. *Breaking strength* tali (T_{break})	0.7	kN
	3. Weight (w)	0.07	kg/m
II.	Perhitungan Desain Tali Tambat		
	1. Tegangan desain (T_{desain})	0.7	kN
	2. Tegangan horizontal (T_H)	0.07	kN
	3. Perbandingan T_H dan w (a)	1	kN.m/kg
III.	Variasi Kedalaman		
	1. Kedalaman 41 cm		
	Panjang *Mooring* (L_{min})	1.0	m
	Jarak horizontal *Anchore* (X)	0.88	m
	2. Kedalaman 43 cm		
	Panjang *Mooring* (L_{min})	1.03	m
	Jarak horizontal *Anchore* (X)	0.90	m
	3. Kedalaman 45 cm		
	Panjang *Mooring* (L_{min})	1.05	m
	Jarak horizontal *Anchore* (X)	0.92	m

4.5. *Layout Catenary Mooring Line*



Gambar 4. 12. *Layout Mooring Line* Tampak Samping



Gambar 4. 13. *Layout Mooring Line* Tampak Atas

Tabel 4. 4. Ordinat *Anchor* pada Seabed dan Ordinat *Mooring Line* Kedalaman 41 cm

No. Mooring Line	*Anchor*			*Fairlead*		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	91	-41	30	3	-4
2	30	-91	-41	30	-3	-4
3	-30	91	-41	-30	3	-4
4	-30	-91	-41	-30	-3	-4

Tabel 4. 5. Ordinat *Anchor* pada Seabed dan Ordinat *Mooring Line* Kedalaman 43 cm

No. Mooring Line	*Anchor*			*Fairlead*		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	93	-43	30	3	-4
2	30	-93	-43	30	-3	-4
3	-30	93	-43	-30	3	-4
4	-30	-93	-43	-30	-3	-4

Tabel 4. 6. Ordinat *Anchor* pada Seabed dan Ordinat *Mooring Line* Kedalaman 45 cm

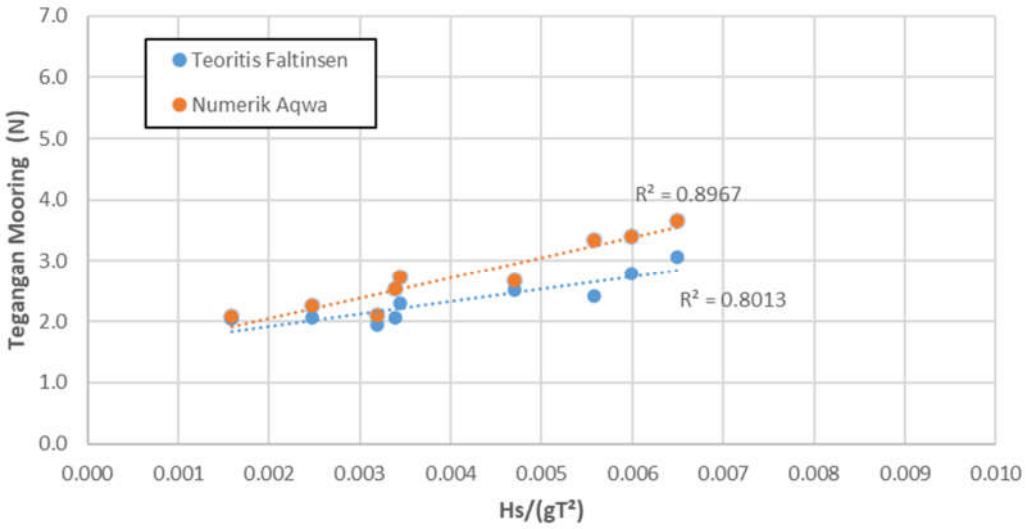
No. Mooring Line	*Anchor*			*Fairlead*		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	95	-45	30	3	-4
2	30	-95	-45	30	-3	-4
3	-30	95	-45	-30	3	-4
4	-30	-95	-45	-30	-3	-4

4.6 Analisis Tegangan Floating Breakwater

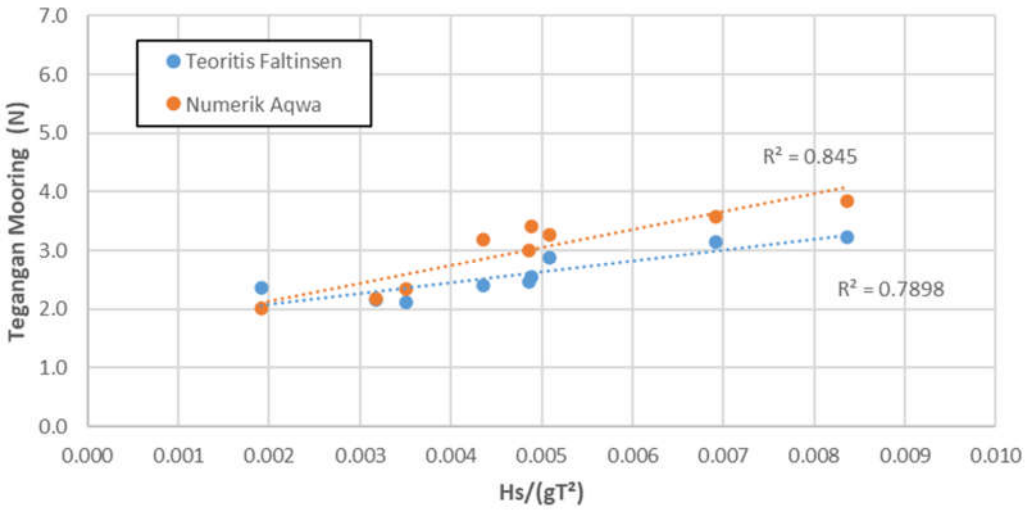
Simulasi *floating breakwater* dengan *software* ANSYS AQWA diterapkan pada kedua tipe *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori. Simulasi ini bertujuan mendapatkan tegangan maksimum *floating breakwater* dengan sistem *catenary* dan kemudian dianalisis perbandingan tegangan maksimumnya.

4.6.1 Kalibrasi Tegangan Hasil Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik

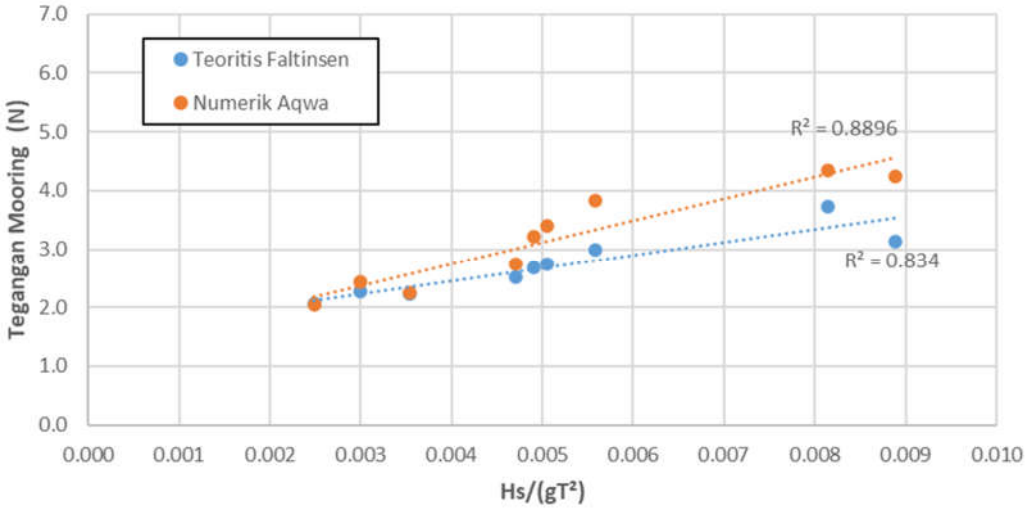
Sebelum melangkah lebih jauh, masing-masing *floating breakwater* disimulasikan kedalam *software* ANSYS AQWA untuk mendapatkan tegangan maksimum tiap tipe *floating breakwater*. Setelah didapatkan tegangan maksimum tiap tipe *floating breakwater*, dilakukan kalibrasi tegangan dari hasil perhitungan teoritis. Berikut grafik perbandingan antara hasil simulasi *software* ANSYS AQWA dengan hasil perhitungan teoritis pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori pada tiap elevasi muka air.



Gambar 4. 14. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik FB Tipe Gergaji Berpori; d = 41 cm



Gambar 4. 15. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik FB Tipe Gergaji Berpori; d = 43 cm



Gambar 4. 16. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik FB Tipe Gergaji Berpori; d = 45 cm

Berdasarkan **Gambar 4.14** hingga **Gambar 4.16** dapat diketahui bahwa besarnya tegangan maksimum tali tambat *floating breakwater* tipe gergaji berpori hasil pemodelan *software* ANSYS AQWA secara umum memiliki nilai tegangan lebih besar dari hasil perhitungan teoritis. Kemudian, kedua hasil tegangan maksimum hasil pemodelan *software* ANSYS AQWA maupun hasil perhitungan teoritis umumnya menunjukkan kenaikan nilai tegangan berbanding lurus dengan bertambahnya *wave steepness* ($Hs/(gT^2)$). Untuk melakukan kalibrasi, dianalisis nilai *error* dari hasil tegangan tali antara kedua hasil. Nilai *error* didapatkan menggunakan perhitungan rata-rata *error* atau *Root Mean Square Error* (RMSE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_t - Y_{t+1})^2}{n}} \tag{2.15}$$

Tabel 4. 7. Ketentuan Nilai RMSE

RMSE	Tingkat Kesalahan
0 - 0,299	Kecil
0,3 - 0,599	Sedang
0,6 - 0,899	Besar
> 0,9	Sangat besar

(Awalia, 2014)

Berikut ini nilai *error* yang disajikan dalam bentuk tabel berdasarkan tegangan maksimum yang dihasil dari pemodelan *software* ANSYS AQWA dan perhitungan teoritis.

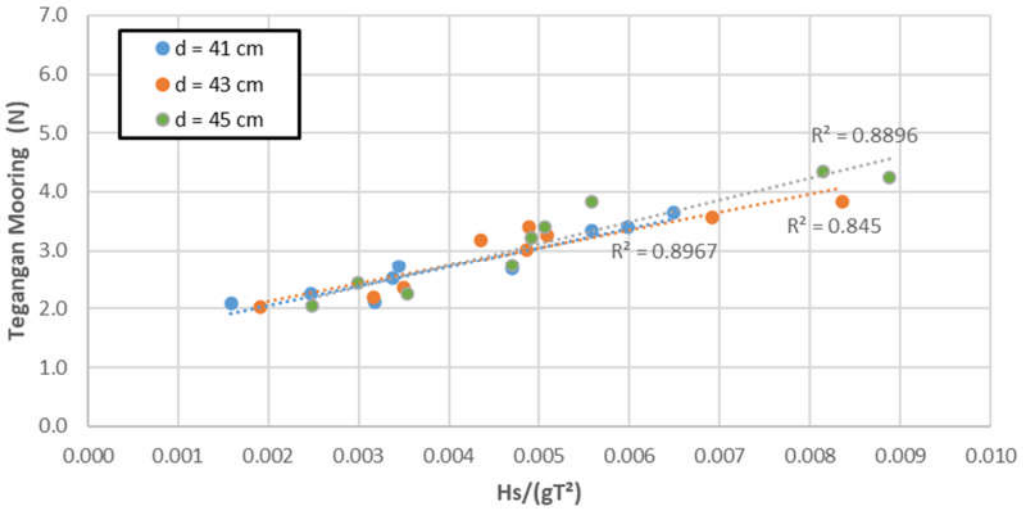
Tabel 4. 8. Nilai *error* Tegangan Tali Maksimum FB Gergaji Berpori

No	Elevasi Muka Air (cm)	RMSE
1	41	0.480
2	43	0.523
3	45	0.586

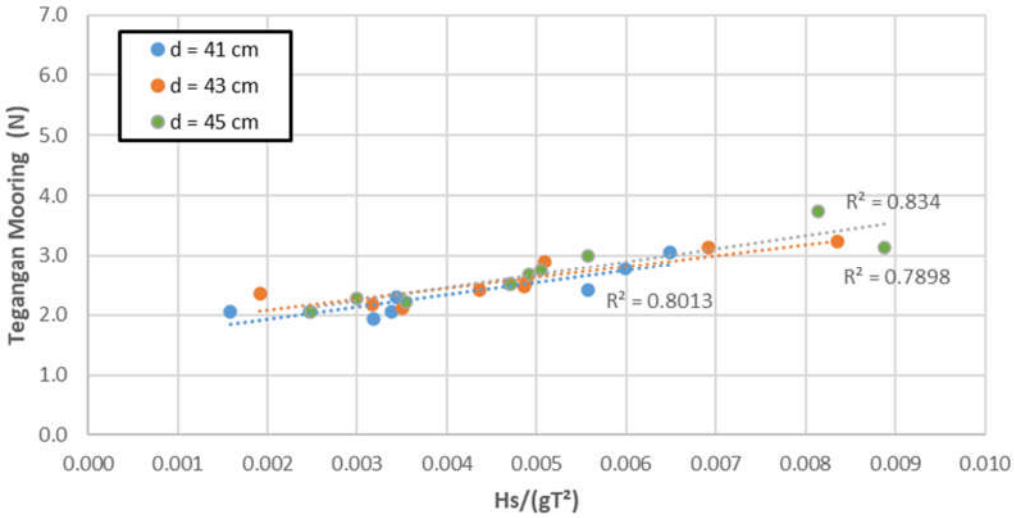
Menurut **Tabel 4.8**, dapat disimpulkan nilai *error* berada pada rentang *error* berkisar 0.480 – 0.586. Berdasarkan pertambahan elevasi muka air, nilai *error* pun makin bertambah. Namun rentang nilai *error* yang dihasilkan berdasarkan ketentuan, masih pada tingkat kesalahan sedang.

4.6.2 Pengaruh Elevasi Muka Air Terhadap Tegangan Floating Breakwater

Simulasi dengan *software* ANSYS AQWA pada *floating breakwater* baik tipe ponton dan gergaji berpori menunjukkan perbedaan hasil tegangan maksimum. Simulasi dilakukan pada kedalaman 41 cm, 43 cm dan 45 cm. **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18** menunjukkan pengaruh elevasi muka air (d) terhadap tegangan tali tambat pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori. Elevasi muka air divariasikan pada pengujian kali ini untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya yang terjadi di lingkungan yang selalu terjadi dari waktu ke waktu terhadap *floating breakwater* yaitu keadaan pasang surut.



Gambar 4. 17. Hasil Numerik Perbandingan Tegangan Tali Tambat FB Tipe Gergaji Berpori Sistem *Catenary*

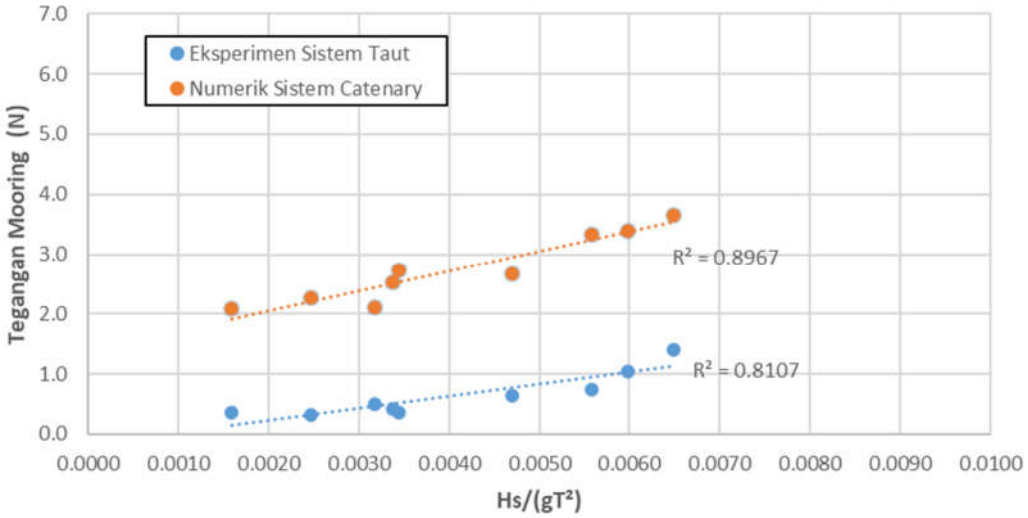


Gambar 4. 18. Hasil Perhitungan Teoritis Perbandingan Tegangan Tali Tambat FB Tipe Gergaji Berpori Sistem *Catenary*

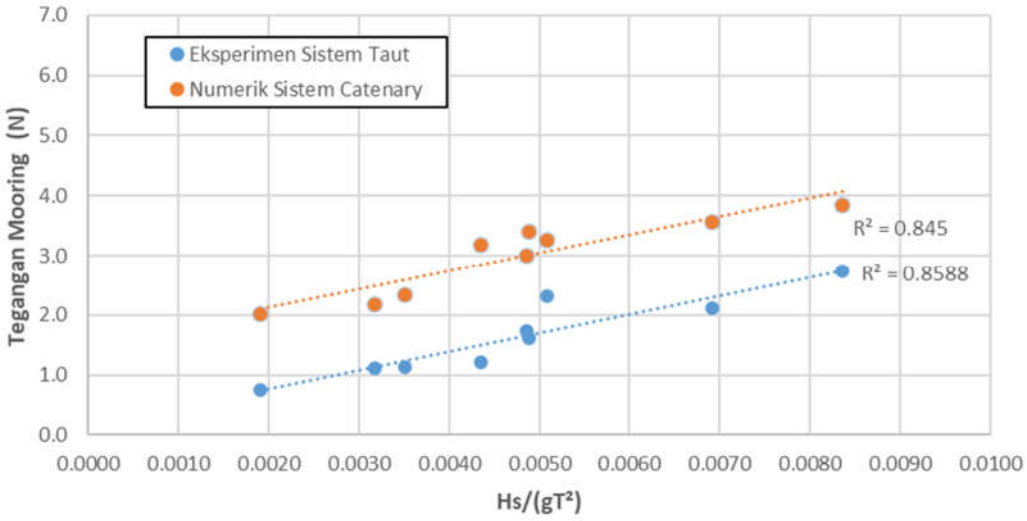
Berdasarkan **Gambar 4.17** diatas, *floating breakwater* tipe gergaji berpori hasil pemodelan *software* ANSYS AQWA memiliki tegangan terbesar yang terjadi pada elevasi muka air 45 cm. Pada elevasi tersebut didapatkan tegangan maksimum terbesar bernilai 4.342 N. Apabila nilai tegangan pada elevasi 45 cm dibandingkan dengan 43 cm dan 41 cm secara berturut-turut adalah 11.58% dan 15.71% lebih kecil dari nilai tegangan pada elevasi 45 cm. Nilai ini menunjukkan adanya kenaikan besar tegangan seiring bertambahnya elevasi muka air. Kesimpulan ini juga didukung oleh grafik pada **Gambar 4.18** yang merupakan hasil perhitungan teoritis dengan variasi kedalaman 41 cm, 43 cm, 45 cm. Namun dari kedua **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18** dapat dilihat bahwa pertambahan nilai tegangan berdasarkan pertambahan elevasi muka air, tidaklah sangat signifikan atau cenderung stabil. Hal ini dikarenakan konfigurasi dari sistem *catenary* itu sendiri merupakan hasil perhitungan dari bertambahnya elevasi muka air yang terjadi.

4.6.3 Perbandingan Tegangan Floating Breakwater

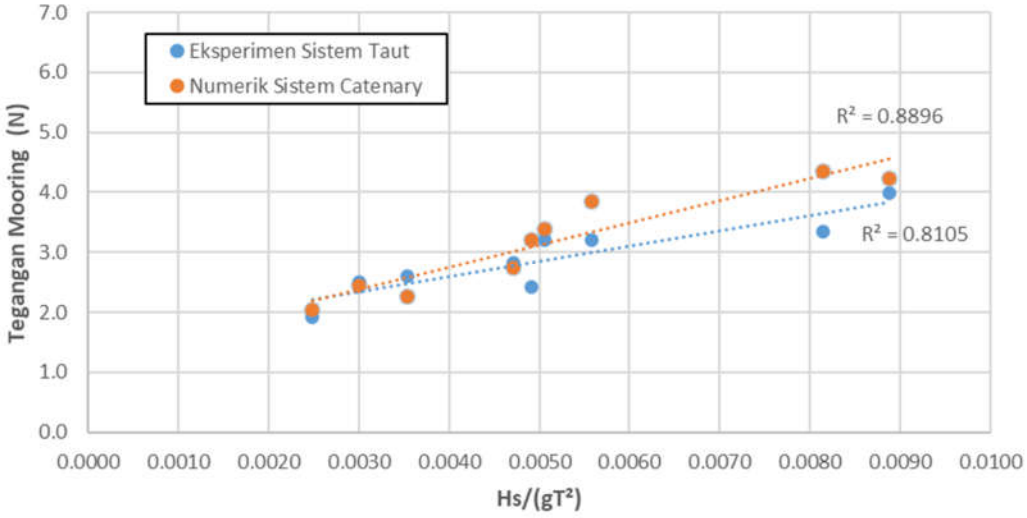
Simulasi *floating breakwater* dengan *software* ANSYS AQWA dilakukan pada dua tipe *floating breakwater* yaitu ponton dan gergaji berpori. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan uji eksperimen terhadap hasil *floating breakwater*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbandingan antara hasil tegangan uji eksperimen dan simulasi dengan *software* ANSYS AQWA. Berikut merupakan grafik perbandingan antara hasil uji eksperimen dan simulasi dengan *software* ANSYS AQWA.



Gambar 4. 19. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Gergaji Berpori: d = 41 cm



Gambar 4. 20. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Gergaji Berpori: d = 43 cm

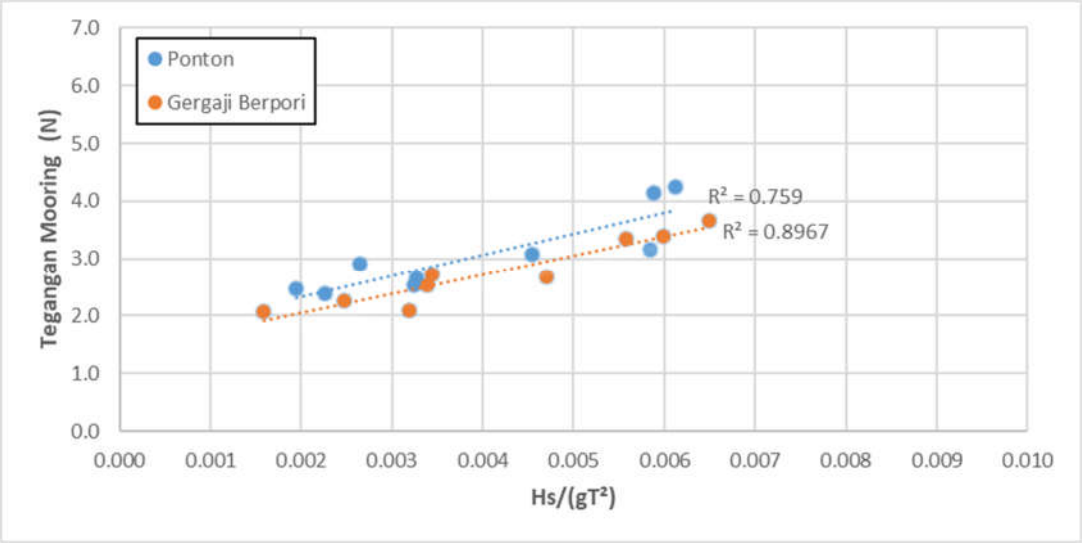


Gambar 4. 21. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Gergaji Berpori: d = 45 cm

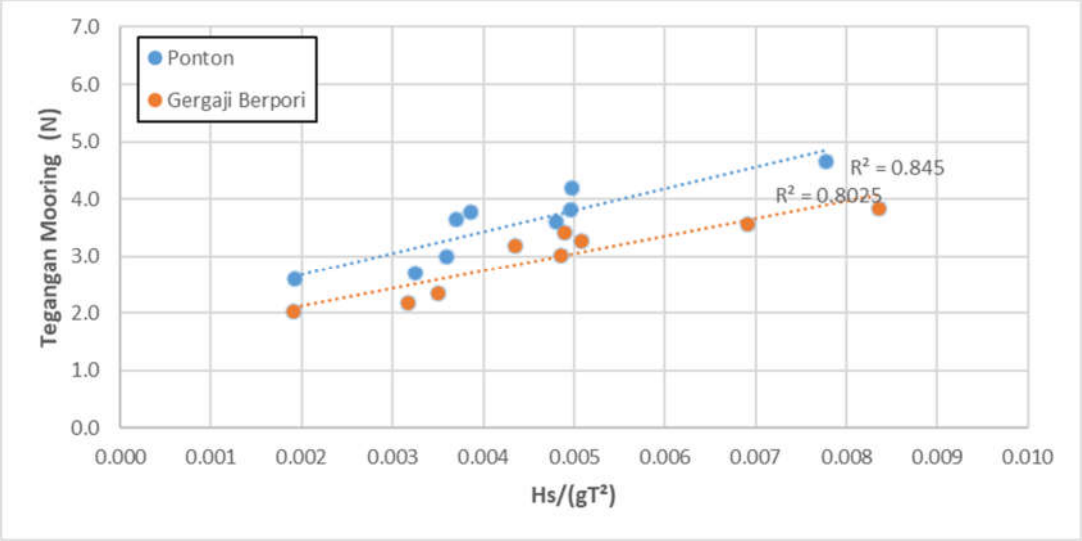
Berdasarkan **Gambar 4.19** hingga **Gambar 4.21** secara keseluruhan, sistem *catenary* yang dihasilkan dari pemodelan numerik menggunakan *software* ANSYS AQWA memiliki nilai tegangan yang lebih besar dari sistem *taut* yang dihasilkan dari uji eksperimen oleh peneliti sebelumnya. Namun perbedaan nilai tegangan yang terjadi bervariasi menurut elevasi muka air yang diujikan. Pada **Gambar 4.19** dengan elevasi muka air 41 cm, memiliki selisih mencapai 76.544%. Diikuti oleh **Gambar 4.20** dan **Gambar 4.21** dengan elevasi muka air berturut-turut 43 cm dan 45 cm memiliki selisih mencapai 45.076% dan 8.782%. Hasil ini menunjukkan bertambahnya elevasi muka air akan berdampak pada berkurangnya selisih tegangan antara sistem *taut* dan sistem *catenary* pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian ini. Pada penelitian Shanying (2013), dilakukan uji respon dinamik pada kapal FPSO dengan menggunakan *software computational fluid dynamics* (CFD) untuk mengetahui perbandingan tegangan yang terjadi pada sistem tali tambat *catenary* dan sistem tali tambat *taut*. Kemudian ia berkesimpulan bahwasannya, tegangan dinamik yang terjadi pada sistem *catenary* memiliki nilai yang lebih besar hingga mencapai 34.79% dibandingkan sistem *taut* pada kondisi lingkungan yang sama.

4.6.4 Perbandingan Tipe Floating Breakwater

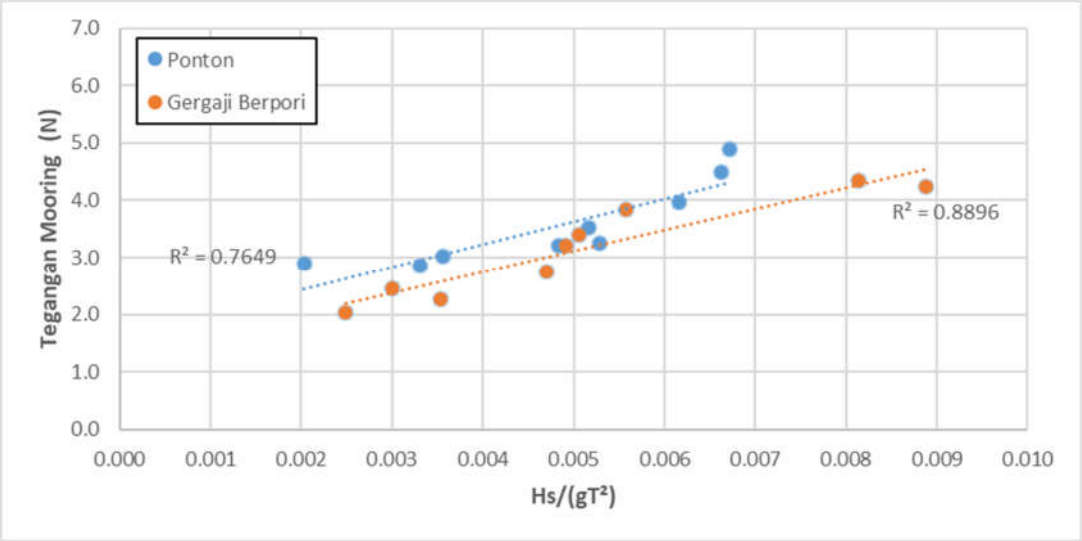
Simulasi model floating breakwater dengan *software* ANSYS AQWA dilakukan pada tipe ponton dan gergaji berpori dengan sistem *catenary*. Terdapat perbedaan nilai tegangan tali tambat diantara kedua. Grafik-grafik perbandingan tegangan *floating breakwater* dibawah ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tali tambat tipe ponton lebih besar dibandingkan dengan tegangan tali tambat tipe gergaji berpori. Perbandingan tegangan tali tambat kedua *floating breakwater* ini disajikan pada **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.24** berikut ini pada setiap elevasi muka air.



Gambar 4. 22. Pemodelan Numerik Tegangan Tali Tambat FB Sistem *Catenary*; d = 41 cm



Gambar 4. 23. Pemodelan Numerik Tegangan Tali Tambat FB Sistem *Catenary*; d = 43 cm



Gambar 4. 24. Pemodelan Numerik Tegangan Tali Tambat FB Sistem *Catenary*; d = 45 cm

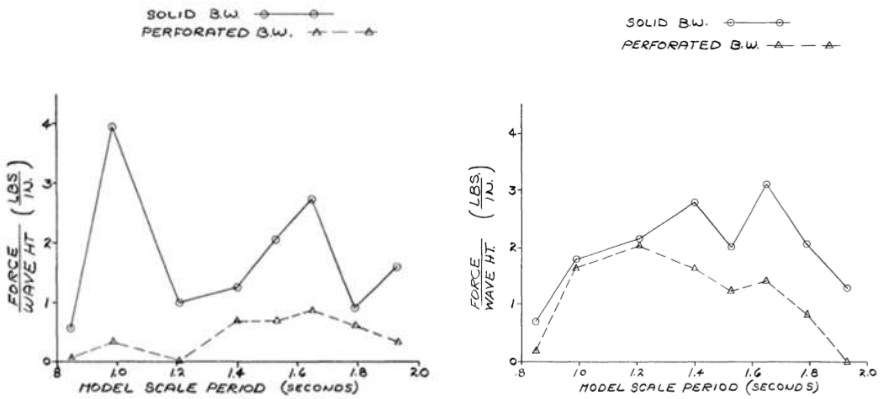
Berdasarkan **Gambar 4.22** hingga **Gambar 4.24** menunjukkan bahwa nilai tegangan tali tambat pada *floating breakwater* tipe ponton lebih besar dibandingkan dengan tipe gergaji berpori. Hal tersebut terjadi karena gelombang yang mengenai *floating breakwater* tipe gergaji berpori mengalami peredaman oleh pori-pori. Karena gelombang yang mengenai struktur mengalami redaman maka mengakibatkan besarnya tegangan yang terjadi pada tali tambat menjadi lebih kecil. Namun keduanya memiliki beberapa kesamaan. Dimana tegangan tali tambat pada kedua *floating breakwater* juga akan semakin besar pada elevasi muka air yang semakin besar juga. Selain itu, bertambahnya *wave steepness* (Hs/gT^2) juga sangat berpengaruh pada pertambahan nilai tegangan tali tambat.

Tabel 4. 9. Perbandingan Tegangan Tali Sistem *Catenary* Pada FB

No	Elevasi Muka Air (cm)	Rata-Rata Tegangan (N)		Perbedaan Tegangan (%)
		Ponton	Gergaji Berpori	
1	41	3.063	2.752	10.149
2	43	3.548	2.980	16.017
3	45	3.566	3.168	11.145

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui penggunaan *floating breakwater* tipe gergaji berpori mempunyai tagangan tali tambat yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe ponton. Perbedaan tegangan dari kedua *floating breakwater* juga bervariasi yaitu antara 10.149% - 16.017% seperti pada **Tabel 4.9.**

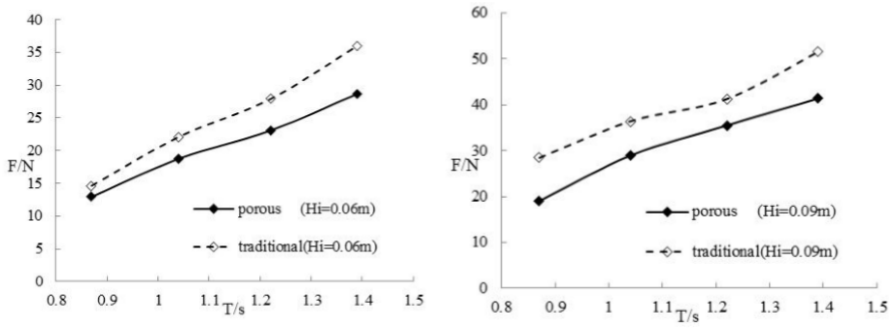
Penelitian sebelumnya juga menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian ini. Pada penelitian Marks (1996), penelitian telah dilakukan pada *perforated floating breakwater*. Salah satu aspek yang yang diteliti adalah tegangan *mooring*. Tegangan *mooring* yang dihasilkan pada *mooring line* sisi gelombang datang (*seaward side*) dan gelombang terendam (*shoreward side*) menunjukkan nilai tegangan *mooring perforated floating breakwater* lebih kecil dibandingkan *solid breakwater*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa, pada *perforated floating breakwater* gelombang datang yang mengenai struktur sebagian gelombang akan dipantulkan, sebagian lolos dan sebagian lagi masuk melalui lubang pori pada struktur dan hal tersebut dapat mengurangi beban yang diterima oleh tali tambat.



Seaward Side *Shoreward Side*

Gambar 4. 25. Besar Tegangan Tali Tambat FB Pada *Seaward Side* dan *Shoreward Side* (Marks 1996)

Selain itu, penelitian Zheng (2018) menunjukkan gaya *mooring* pada *floating breakwater* tipe *porous* (pori) lebih kecil dibandingkan dengan tipe *traditional* (ponton) pada tinggi gelombang yang sama yaitu 0,06 m dan 0,09 m. Tegangan *mooring* tipe pori tersebut lebih rendah 3-5,5% dibandingkan dengan tipe ponton. Hal tersebut terjadi karena *breakwater* tipe pori berada di bawah permukaan air sepanjang waktu dan struktur lebih tenggelam dibandingkan tipe ponton sehingga tegangan *mooring* lebih kecil. Berdasaran penelitian yang dilakukan oleh Marks (1996) dan Zheng (2018) menunjukkan bahwa tegangan *mooring* pada *floating breakwater* tipe pori memiliki tegangan yang lebih kecil dibandingkan dengan tipe ponton.



Gambar 4. 26. Perbandingan Tegangan Tali Tambat Breakwater Tipe Berpori dan Tradisional (Zheng 2018)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan Tugas Akhir analisis perilaku gerak dan gaya tali tambat sistem taut pada *floating breakwater* tipe gergaji berpori ini dapat ditarik kesimpulan diantaranya :

1. Analisis *Respon Amplitudo Operator* (RAO) dilakukan dengan arah datang gelombang 90° pada kondisi *free floating*. Berikut ini merupakan hasil RAO *floating breakwater* tipe ponton dan gergaji berpori :
   a. Pada moda gerakan *surge* baik tipe ponton dan gergaji berpori memiliki nilai RAO sangat kecil atau mendekati nol yaitu masing sekitar 0,043 cm/cm dan 0,035 cm/cm pada frekuensi 0,01 rad/s.
   b. Pada moda gerakan *sway* nilai RAO tertinggi pada tipe ponton dan berpori berturut-turut sebesar 0,79 cm/cm dan 0,58 cm/cm yang terjadi pada frekuensi 0,01 rad/s. Nilai RAO gerakan *sway* ini lebih besar dibandingkan gerakan *surge* karena arah datang gelombang 90° searah dengan arah gerakan *sway* pada sumbu y sehingga nilai gerakan *sway* ini cukup berpengaruh.
   c. Pada moda gerakan *heave* nilai RAO terbesar pada kedua *floating breakwater* (ponton dan gergaji berpori) terjadi pada frekuensi 0,396 rad/s yang masing-masing besarnya 2,457 cm/cm dan 2,039 cm/cm. Nilai RAO gerakan *heave* lebih besar dibandingkan dengan gerakan *sway* karena gaya berat *floating breakwater* tidak cukup besar menahan gerakan searah sumbu z sehingga nilai RAO gerakan *heave* menjadi lebih besar.
   d. Pada moda gerakan *roll* nilai RAO terbesar tipe ponton dan gergaji berpori berturut-turut sebesar 9,64 deg/cm dan 7,27 deg/cm yang terjadi pada frekuensi 0,396 rad/s. Pada gerakan *roll*, *floating breakwater* lebih mudah berotasi searah sumbu x sehingga menyebabkan nilai gerakan *roll* menjadi lebih besar dibandingkan gerakan lainnya.
   e. Pada moda gerakan *pitch* nilai RAO tertinggi pada tipe ponton dan berpori berturut-turut sebesar 0,05 deg/cm dan 0,04 deg/cm yang terjadi pada frekuensi 0,267 rad/s. Nilai RAO gerakan *pitch* ini terlampau jauh jika dibandingkan dengan gerakan *roll*. Hal ini dikarenakan pada arah datang gelombang 90°,

gerakan rotasi sumbu y tidak terlalu berpengaruh. Sehingga pada gerakan ini nilainya mendekati nol.

f. Pada moda gerakan *yaw* nilai RAO tertinggi pada tipe ponton dan berpori berturut-turut sebesar 0,08 deg/cm dan 0,01 deg/cm yang terjadi pada frekuensi 0,01 rad/s. Hampir sama seperti gerakan pitch, gerakan *yaw* juga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah datang gelombang 90° sehingga nilai RAO gerakan *yaw* mendekati nol.

g. Nilai RAO pada *floating breakwater* tipe ponton lebih besar dibandingkan dengan tipe gergaji berpori. Hal ini terjadi karena tipe ponton merupakan *floating breakwater* pejal sehingga seluruh air yang datang menghantam dinding *floating breakwater* tipe ponton. Berbeda dengan tipe gergaji berpori, dengan memiliki pori-pori yang menembus *floating breakwater* menyebabkan air melewati pori dan gaya gelombang sebagian dipantulkan sehingga menimbulkan redaman dan gaya yang ditimbulkan pada struktur menjadi lebih kecil.

2. Dari dilakukan eksperimen dengan sistem *taut* oleh peneliti sebelumnya, perhitungan teoritis dan pemodelan numerik dengan sistem *catenary* pada model *floating breakwater* tipe gergaji berpori, maka dapat disimpulkan :

   a. Secara keseluruhan, sistem *catenary* yang dihasilkan dari pemodelan numerik memiliki nilai tegangan yang lebih besar dibanding 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 76.544%, 45.076% dan 8.782%. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Shanying (2013) bahwa, tegangan dinamik yang terjadi pada sistem *catenary* memiliki nilai yang lebih besar hingga mencapai 34.79% dibandingkan sistem *taut* pada kondisi lingkungan yang sama.

b. Dalam melakukan kalibrasi, dilakukan perbandingan hasil perhitungan teoritis dan pemodelan numerik sistem *catenary* dengan menggunakan metode RMSE. Nilai RMSE yang dihasilkan tergolong pada tingkat kesalahan sedang karena memiliki rentang nilai sebesar 0.480 – 0.586. Nilai RMSE terbesar terjadi pada kedalaman 45 cm sebesar 0.586 dan terkecil terjadi pada kedalaman 41 cm sebesar 0.480.

3. Besarnya tegangan maksimum tali tambat *floating breakwater* tipe gergaji berpori dan tipe ponton sebagai pembanding pada variasi elevasi muka air adalah sebagai berikut :
   a. Tegangan tali maksimum terbesar *floating breakwater* tipe gergaji berpori terjadi pada elevasi muka air 45 cm didapatkan sebesar 4.342 N. Hal tersebut menunjukkan semakin tinggi elevasi muka air maka tegangan tali tambat akan semakin besar.
   b. Tegangan tali maksimum terkecil *floating breakwater* tipe gergaji berpori terjadi pada elevasi muka air 41 cm didapatkan sebesar 3.660 N atau 15.71% lebih kecil dari nilai tegangan maksimum terbesar. Hal tersebut menunjukkan semakin rendah elevasi muka air maka tegangan tali tambat akan semakin kecil.
   c. Penggunaan *floating breakwater* tipe gergaji berpori mempunyai tegangan tali tambat yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe ponton. Berdasaran penelitian yang dilakukan oleh Marks (1996) dan Zheng (2018) menunjukkan juga bahwa tegangan *mooring* pada *floating breakwater* tipe pori memiliki tegangan yang lebih kecil dibandingkan dengan tipe ponton. Perbedaan tegangan dari kedua *floating breakwater* juga bervariasi yaitu antara 10.149% - 16.017%. Perbedaan tegangan terkecil terjadi pada elevasi muka air 41 cm sebesar 10.149%. Sedangkan tegangan perbedaan tegangan terbesar terjadi pada elevasi muk air 43 cm sebesar 16.017%.

5.2. Saran

Dalam melakukan penelitian ini, peniliti memiliki beberapa saran untuk disampaikan :

1. Penelitian dapat dilakukan menggunakan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD) lainnya seperti MOSES dan Orcaflex untuk dapat dibandingkan persamaan ataupun perbedaannya.
2. Penelitian dapat divariasikan konfigurasi *layout catenary mooirng line*, seperti letak *fairlead*, *crossing mooring line*, dan ditambahkan pemberat pada tali tambat.
3. Penelitian dapat divariasikan dengan membandingkan jenis tali tambat yang digunakan.
4. Penelitian dapat dilanjutkan untuk menganalisis transmisi gelombang yang dihasilkan dari gelombang datang menjadi gelombang teredam.
5. Penelitian dapat dilanjutkan dengan menambah ukuran dari lubang pori yang diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, M.F. 2019. *Uji Model Fisik Tegangan Mooring pada Floating breakwater Tipe Gergaji Berpori*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Awalia, W.R., 2014. Studi Konsep Pemanfaatan Arus Laut di Selat Lalang sebagai Sumber Energi Terbarukan untuk FSO Ladinda. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

Bai, Y. 2003. Marine Structural Design. Oxford : Elsevier.

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

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

Djatmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press.

Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads On Ships And Offshore Structures*. United Kingdom : Cambridge University Press.

Fousert, M. W. 2006. *Floating Breakwater : a Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System, Section of Hidraulic Engineering*. Netherland : Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology.

Hasselmann, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Mller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, dan H. Walden. 1973. *Measurements of Wind Waves Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg: Deutsches Hydrograph Institute.

Hidayatullah, A. 2019, *Analisis Tegangan Mooring Pada Floating Breakwater Tipe Gergaji Dengan Pemodelan Fisik*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Manan, M.H. 2017, *Desain Tali Tambat Pada Struktur Floating breakwater Dengan Konfigurasi Taut Mooring System*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Marks, W. 1996. "A Perforated Mobile Breakwater for Fixed and Floating Application". *Proceedings of 10th Conference on Coastal Engineering*, Tokyo, Japan, No. 10 (1996).

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*, 23: 305-310.

McCartney, B. FL. 1985. "Floating breakwater Design", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. 2: 111.

Pranindya, K., M. Muin. 2012. "Analisis Numerik Catenary Mooring Tunggal". *Program Studi Teknik Kelautan ITB*.

Poerwadi, B.S. 2018. Refleksi 2017 dan Outlook 2018 Membangun dan Menjaga Ekosistem Laut Indonesia Bersama Ditjen Pengelolaan Ruang Laut. <URL:https://kkp.go.id/djprl/artikel/2798-refleksi-2017-dan-outlook-2018-membangun-dan-menjaga-ekosistem-lauti-ndonesia-bersama-ditjen-pengelolaan-ruang-laut>.

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, Surabaya*.

Putra, Risnandi. D. 2011, *Analisa Concrete Block Anchor Pada Floating breakwater*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Reeve, D., A. Chadwick, dan C. Fleming. 2004. Coastal Engineering : Processes, Theory and Design Practice. New York : Spon Press.

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.

Sorensen, R. M. 2006. Basic Coastal Engineering. United States of America : Spriger.

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. Universitas Gadjah Mada.

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.*

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

Zheng *et al*. 2018. Experimental study on the wave dissipation performance and mooring force of porous floating breakwater. International Conference on Civil and Hydraulic Engineering. School of Ocean and Civil Engineering. Dalian Ocean University. Dalian, China.

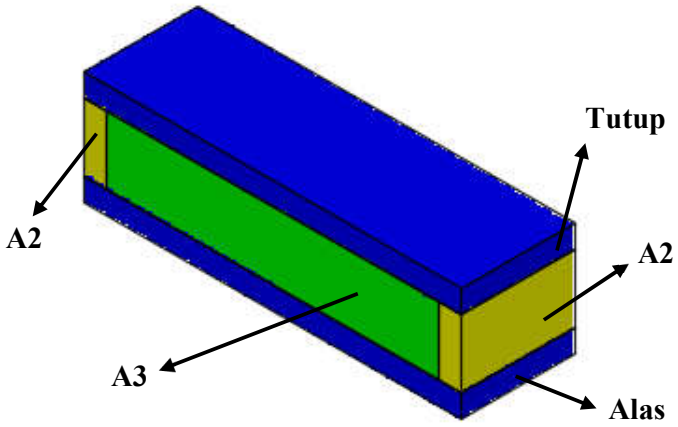
LAMPIRAN

LAMPIRAN A	PERHITUNGAN VOLUME, MASSA DAN DRAFT *FLOATING BREAKWATER*
LAMPIRAN B	TABEL *RESPONS AMPLITUDE OPERATOR*
LAMPIRAN C	PERHITUNGAN PANJANG TALI TAMBAT DAN JARAK *ANCHOR* HORIZONTAL
LAMPIRAN D	TABEL HASIL TEGANGAN *MOORING FLOATING BREAKWATER* TIPE GERGAJI BERPORI DAN PONTON
LAMPIRAN E	GRAFIK TEGANGAN TALI TAMBAT *FLOATING BREAKWATER* TIPE PONTON

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN VOLUME, MASSA DAN DRAFT *FLOATING BREAKWATER*

1. Floating Breakwater Tipe Ponton (Breakwter A)



Gambar pembagian bentuk floating breakwater A

Dimensi Breakwater A	Nilai	Unit
Panjang	60	cm
Lebar	6	cm
Tinggi	6	cm
Ketebalan dinding	1.25	cm
ρ HDPE	0.96	g/cm³
ρ air tawar	1	g/cm³

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

Volume Breakwater	Nilai	Unit
Volume alas dan tutup	900.00	cm^3
Volume dinding A2	157.50	cm^3
Volume dinding A3	459.38	cm^3
Volume total 1	1516.88	cm^3

Volume Breakwater A= Volume total 1 + Volume udara

= 1516.88 + 749.70

= 2266.58 cm^3

Massa Breakwater A = (Volume total 1 x ρ HDPE) + (Volume udara x ρ udara)

= (1516.88 x 0.96) + (749.70 x 0.0012)

= 1457 g

Gaya Apung Breakwater A

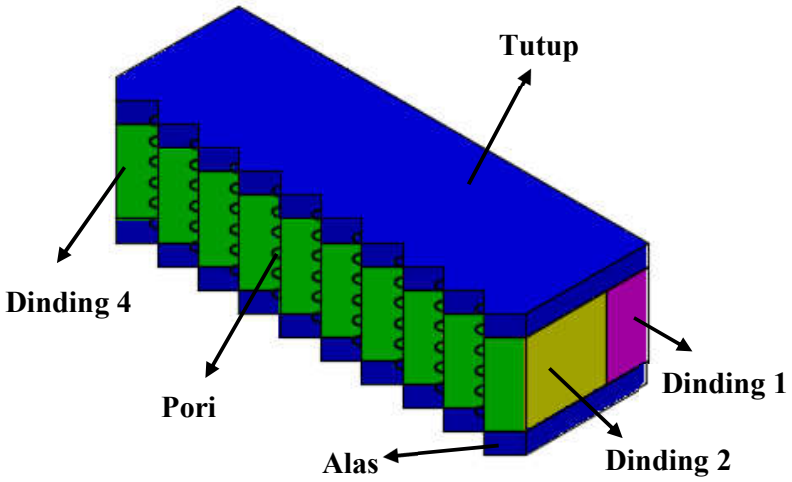
F_W = F_B

Massa Breakwater A = ρair tawar x Luas Alas x Draft

1457 = 1 x (60 x 6) x Draft

Draft = 4 cm

2. Floating Breakwater Tipe Gergaji Berpori (Breakwater C)



Gambar pembagian bentuk floating breakwater C

Parameter	Nilai	Unit	Parameter	Nilai	Unit
Panjang	20	cm	Jumlah pipa	54	
Lebar	6	cm	Tinggi silinder kecil	0.21	cm
Tinggi	6	cm	Tinggi gerigi	1	cm
Ketebalan alas/tutup	1.1	cm	Lebar gerigi	2	cm
Ketebalan dinding 1	2	cm	OD pipa	0.42	cm
Ketebalan dinding 2/ 3	7.55	cm	ID pipa	0.38	cm
ρ HDPE	0.96	g/cm³	Panjang pipa	20	cm

Dimensi Udara	Nilai	Unit
Panjang	14.7	cm
Lebar	4	cm
Tinggi	3.8	cm
ρ udara	0.0012	g/cm³
Volume udara	223.44	cm³

Volume Breakwater C	Nilai	Unit
Volume alas dan tutup	792.00	cm³
Volume dinding 1	456.00	cm³
Volume dinding 2 dan 3	688.56	cm³
Volume dinding 4	114.00	cm³
Volume total 1	2050.56	cm³

Volume Rongga Breakwater C	Nilai	Unit
Volume rongga dinding 1	49.85	cm^3
Volume rongga dinding 2 dan 3	418.75	cm^3
Volume rongga dinding 4	15.84	cm^3
Volume rongga total	484.44	cm^3

Volume Pipa Breakwater C	Nilai	Unit
Volume silinder luar	179.46	cm^3
Volume silinder dalam	146.91	cm^3
Volume pipa total	32.56	cm^3

Volume Breakwater C= Volume total 1 + Volume udara

= 2050.56 + 223.44

= 2274 cm^3

Massa Breakwater C = ((Vol. total 1 – Vol. rongga total + Vol. pipa total) x ρ HDPE) + (Vol. Udara x ρ udara)

= ((2050.56 - 484.44 + 32.56) x 0.96 + (223.44 x 0.0012)

= 1535 g

Gaya Apung Breakwater A

F_W = F_B

Massa Breakwater C = ρair tawar x Luas Alas x Draft

1535 = 1 x ((60 x 6)+(10 x 0.5 x 2 x 1)) x Draft

Draft = 4 cm

LAMPIRAN B

TABEL *RESPONS AMPLITUDE OPERATOR*

Frekuensi	Surge		Sway		Heave	
	Ponton	Gergaji Berpori	Ponton	Gergaji Berpori	Ponton	Gergaji Berpori
0.010	0.043	0.035	0.790	0.580	1.111	1.220
0.139	0.002	0.005	0.027	0.015	1.081	1.045
0.268	0.014	0.003	0.015	0.013	1.382	0.897
0.396	0.021	0.003	0.020	0.016	2.457	2.039
0.525	0.000	0.001	0.006	0.003	0.593	0.532
0.654	0.002	0.001	0.001	0.009	0.298	0.284
0.783	0.000	0.000	0.004	0.008	0.164	0.181
0.911	0.000	0.000	0.013	0.002	0.095	0.035
1.040	0.000	0.001	0.036	0.006	0.056	0.036
1.169	0.001	0.000	0.106	0.004	0.033	0.021
1.298	0.000	0.000	0.023	0.002	0.021	0.011
1.426	0.000	0.000	0.011	0.003	0.012	0.013
1.555	0.000	0.000	0.006	0.002	0.008	0.001
1.684	0.000	0.000	0.002	0.007	0.005	0.002
1.813	0.000	0.000	0.018	0.002	0.004	0.001
1.941	0.000	0.000	0.005	0.001	0.002	0.000
2.070	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.000
2.199	0.000	0.000	0.002	0.003	0.001	0.000
2.328	0.000	0.000	0.005	0.009	0.000	0.000
2.456	0.000	0.000	0.002	0.005	0.000	0.000

Frekuensi	Roll		Pitch		Yaw	
	Ponton	Gergaji Berpori	Ponton	Gergaji Berpori	Ponton	Gergaji Berpori
0.010	2.928	2.383	0.032	0.026	0.076	0.051
0.139	2.672	2.304	0.040	0.035	0.003	0.002
0.268	2.371	2.142	0.051	0.038	0.001	0.001
0.396	9.641	7.270	0.013	0.037	0.001	0.001
0.525	0.804	0.902	0.004	0.003	0.001	0.000
0.654	0.073	0.572	0.002	0.002	0.001	0.000
0.783	0.125	0.565	0.000	0.000	0.001	0.000
0.911	0.236	0.544	0.000	0.000	0.001	0.000
1.040	0.583	0.111	0.000	0.000	0.001	0.000
1.169	0.147	0.098	0.000	0.000	0.003	0.000
1.298	0.236	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000
1.426	0.035	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000
1.555	0.097	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
1.684	0.215	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000
1.813	0.500	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000
1.941	0.043	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000
2.070	0.088	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000
2.199	0.111	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000
2.328	0.088	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
2.456	0.045	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN PANJANG TALI TAMBAT DAN JARAK *ANCHOR* HORIZONTAL

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

h = 0.41 m

Tmax = 0.7 (kN)

w = 0.07 kg/m

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

Th = 0.07 (kN)

a = 1 (kNm/kg)

$$\frac{L}{h} = \sqrt{2\frac{Tmax}{w.h} - 1}$$

L = 0.9940321 m

L ~ 1 m

$$L_s^2 = h^2 + 2ha$$

Ls = 0.9940321 meter

Ls ~ 1 meter (PE)

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

X = 0.87890 m

X ~ 0.88 m

VARIASI											
41 cm				43 cm				45 cm			
X	=	0.88	m	X	=	0.90	m	X	=	0.91	m
L	=	0.9940	m	L	=	1.0222	m	L	=	1.050	m
L	~	1.00	m	L	~	1.03	m	L	~	1.05	m

LAMPIRAN D

TABEL HASIL TEGANGAN MOORING FLOATING BREAKWATER TIPE GERGAJI BERPORI DAN PONTON

1. Floating Breakwater Tipe Gergaji Berpori (Breakwater C)

Kedalaman (cm)	Data Lingungan		Hs/(gT²)	Sistem *Catenary*		Sistem Taut
	Hs	Tp		Teoritis (N)	Numerik (N)	Percobaan (N)
41	3.7420	1.0619	0.0016	2.048	2.081	0.3500
41	3.5210	1.0619	0.0025	2.053	2.259	0.3100
41	4.1000	1.6216	0.0032	1.942	2.102	0.5100
41	3.7870	1.0591	0.0034	2.062	2.529	0.4300
41	4.9680	0.953	0.0034	2.296	2.727	0.3600
41	5.2590	0.9091	0.0047	2.525	2.676	0.6400
41	5.1980	1.0619	0.0056	2.419	3.342	0.7500
41	6.6190	1.0619	0.0060	2.784	3.396	1.0500
41	6.3720	1.6216	0.0065	3.064	3.660	1.4100
43	3.7940	0.9091	0.0019	2.362	2.023	0.7500
43	3.7220	1.0619	0.0032	2.165	2.182	1.1100
43	4.0890	1.6173	0.0035	2.122	2.346	1.1300
43	3.8780	1.0619	0.0044	2.414	3.178	1.2200
43	5.4770	1.0619	0.0049	2.477	3.010	1.7300
43	5.5360	1.0619	0.0049	2.553	3.412	1.6100
43	5.5040	1.1321	0.0051	2.889	3.260	2.3200
43	6.7710	1.0619	0.0069	3.138	3.570	2.1100
43	7.3710	1.0619	0.0084	3.232	3.839	2.7500
45	4.1210	0.9836	0.0025	2.062	2.041	1.9100
45	3.9920	0.9091	0.0030	2.265	2.444	2.5000
45	3.9788	1.111	0.0035	2.222	2.257	2.6100
45	4.1170	1.153	0.0047	2.514	2.746	2.8200
45	5.2330	1.0619	0.0049	2.677	3.215	2.4300
45	5.5920	1	0.0051	2.753	3.393	3.2100
45	5.5880	0.9091	0.0056	2.989	3.840	3.2000
45	7.0570	0.9091	0.0081	3.738	4.342	3.3400
45	7.3090	0.9091	0.0089	3.132	4.237	3.9900

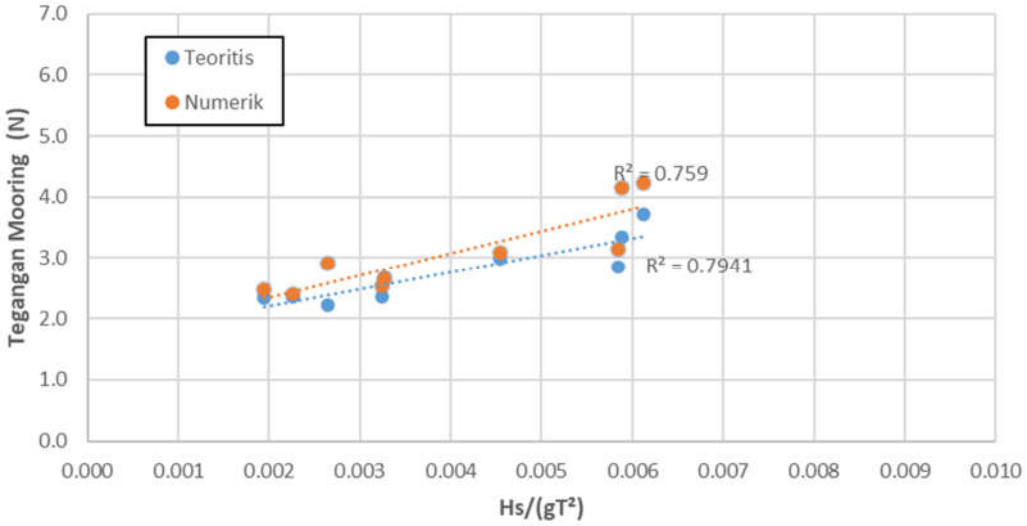
2. Floating Breakwater Tipe Ponton (Breakwater A)

Kedalaman (cm)	Data Lingungan		Hs/(gT²)	Sistem *Catenary*		Sistem Taut
	Hs	Tp		Teoritis (N)	Numerik (N)	Percobaan (N)
41	3.7046	1.0591	0.0019	2.343	2.4680	0.5000
41	3.4801	1.0619	0.0023	2.350	2.3900	0.4000
41	4.1501	1.4634	0.0026	2.227	2.9100	1.0000
41	3.7119	1.0619	0.0032	2.362	2.5300	0.6500
41	5.1042	1.0619	0.0033	2.677	2.6500	0.6500
41	5.3216	0.9677	0.0045	2.980	3.0800	1.2500
41	5.3085	1.0619	0.0058	2.845	3.1500	1.5000
41	6.6542	1.0591	0.0059	3.340	4.1500	1.3000
41	6.7535	1.6216	0.0061	3.721	4.2400	1.5000
43	4.0979	1.0619	0.0019	2.565	2.5875	0.7500
43	3.9718	1.0619	0.0032	2.446	2.6975	1.1000
43	4.0500	1.4634	0.0036	2.455	3.0030	1.2000
43	4.0030	1.1215	0.0037	2.932	3.6375	1.3000
43	5.5022	1.0619	0.0039	2.872	3.7635	1.7500
43	5.3104	1.0619	0.0048	2.960	3.5935	1.6000
43	5.4875	1.0619	0.0050	3.359	3.8075	2.1000
43	6.5997	0.9302	0.0050	3.972	4.1820	2.3000
43	7.3751	1.3953	0.0078	4.092	4.6620	2.8000
45	3.9205	0.9091	0.0020	2.718	2.8940	3.1200
45	3.9198	0.8696	0.0033	2.762	2.8440	2.9800
45	4.0656	1.4286	0.0036	2.498	3.0140	3.2200
45	4.0029	1.1111	0.0048	2.478	3.2142	3.4100
45	5.6110	1.0526	0.0052	3.121	3.5223	3.7300
45	5.4488	0.9091	0.0053	2.922	3.2430	3.5400
45	5.7999	0.9449	0.0062	3.912	3.9762	4.2200
45	6.8111	1.0619	0.0066	4.261	4.4900	4.6300
45	7.1403	1.4286	0.0067	3.716	4.8930	4.8900

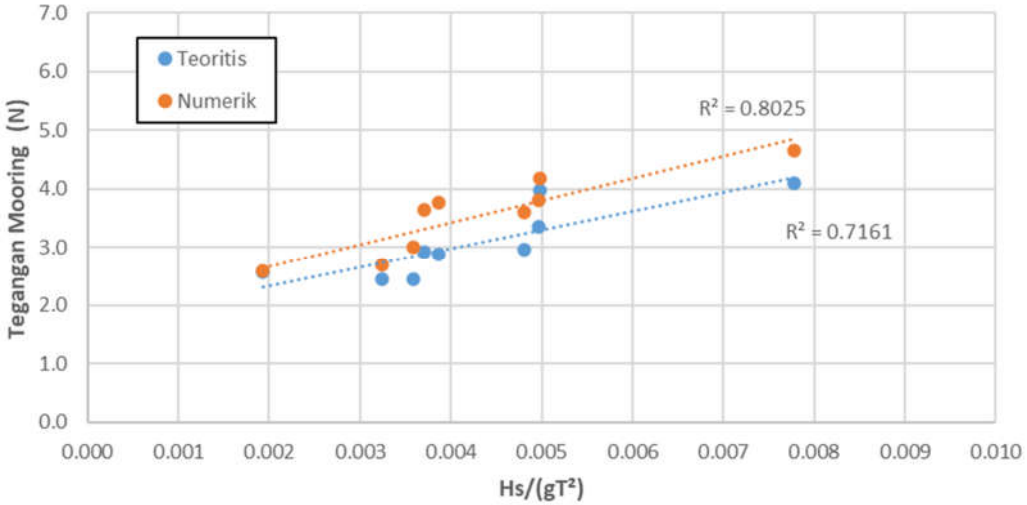
LAMPIRAN E

GRAFIK TEGANGAN TALI TAMBAT FLOATING BREAKWATER TIPE PONTON

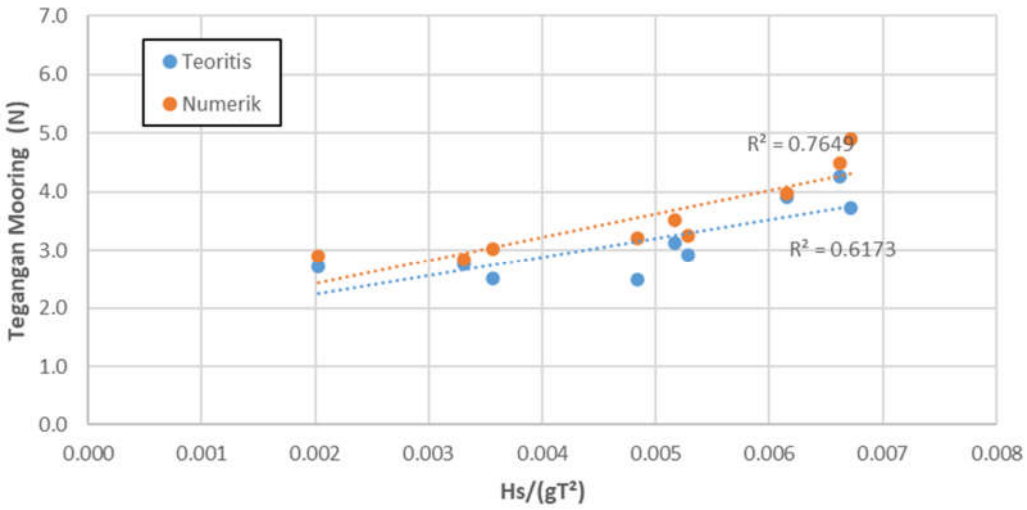
1. Grafik perbandingan hasil tegangan tali tambat FB tipe ponton perhitungan teoritis dan pemodelan numerik



Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik FB Tipe Ponton; d = 41 cm

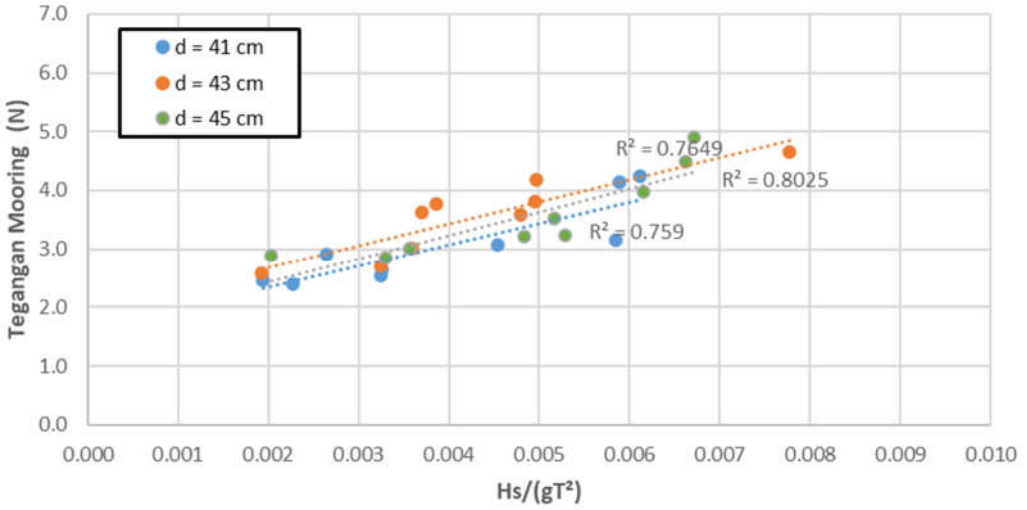


Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik FB Tipe Ponton; d = 43 cm

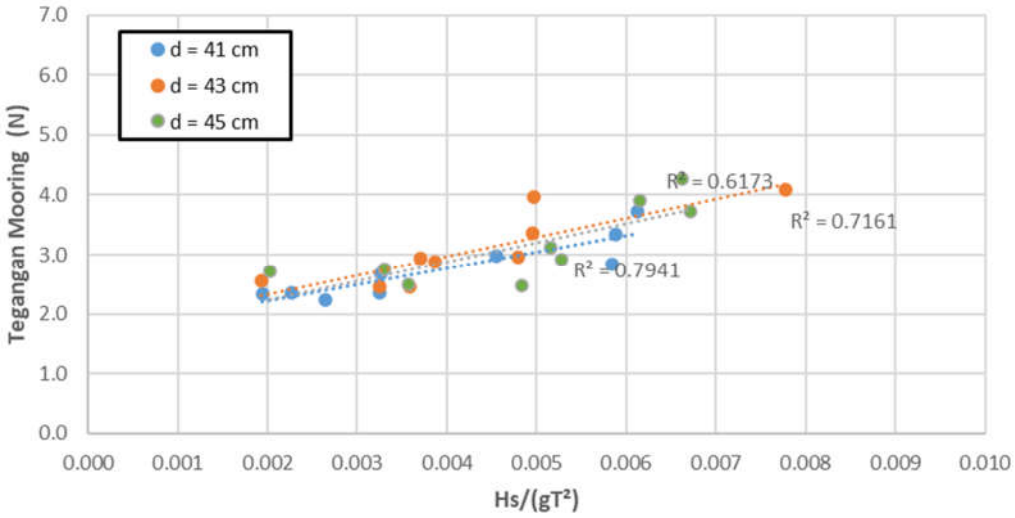


Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Perhitungan Teoritis dan Pemodelan Numerik FB Tipe Ponton; d = 45 cm

2. Grafik pengaruh elevasi muka air terhadap tegangan mooring ponton

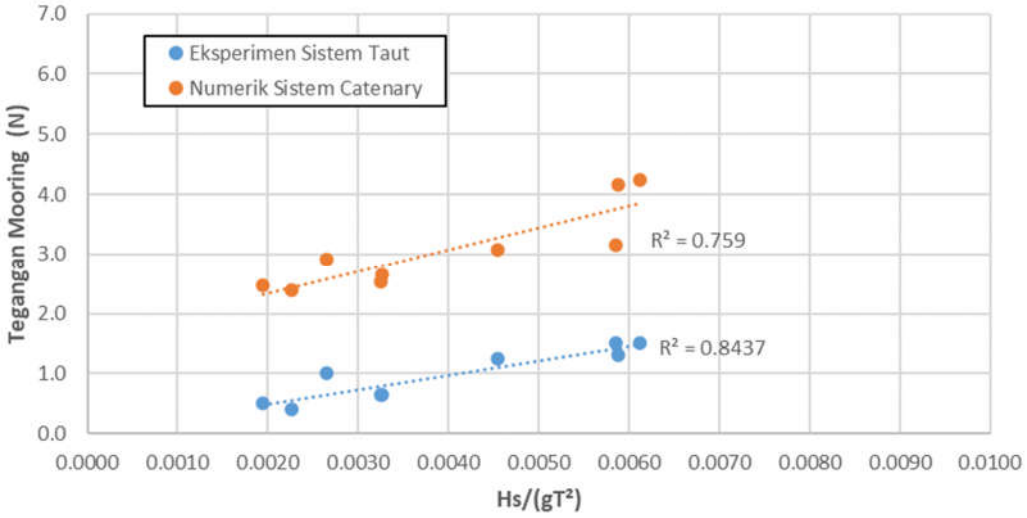


Grafik Hasil Numerik Perbandingan Tegangan Tali Tambat FB Tipe Ponton Sistem *Catenary*

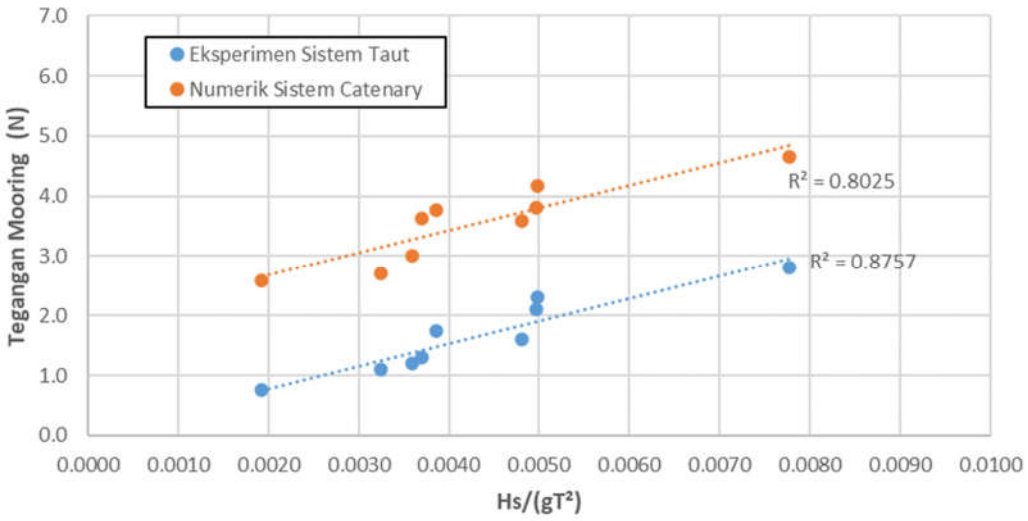


Grafik Hasil Perhitungan Teoritis Perbandingan Tegangan Tali Tambat FB Tipe Ponton Sistem *Catenary*

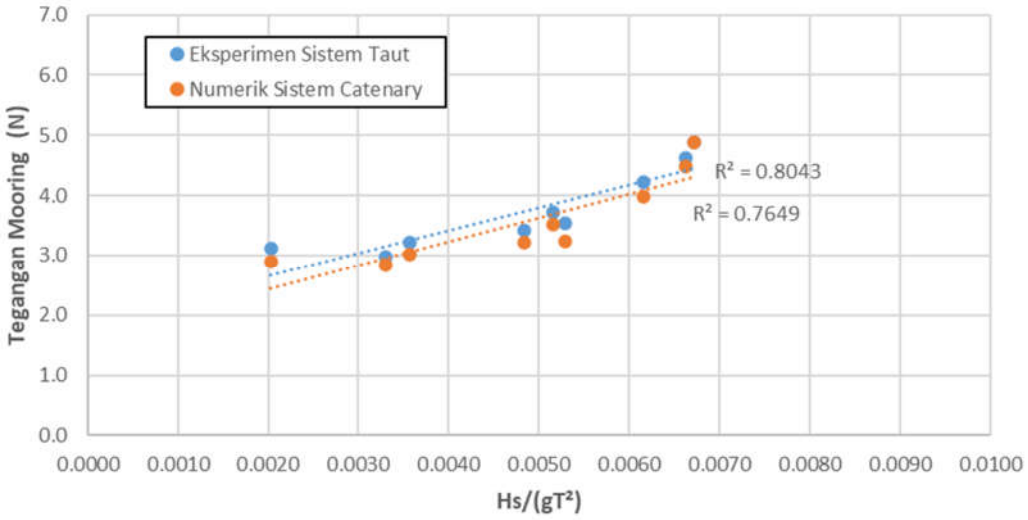
3. Grafik perbedaan tegangan FB tipe Ponton dengan perbedaan sistem tali tambat



. Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Ponton: d = 41 cm



Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Ponton: d = 43 cm



Grafik Hasil Tegangan Tali Tambat Pada FB Tipe Ponton: d = 45 cm

BIODATA PENULIS

Brilliyan Prasetyo Azis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir di DKI Jakarta pada tanggal 22 Desember 1997. Penulis mulai menempuh pendidikan formal pada jenjang sekolah dasar di SDN 13 Rawamangun, Jakarta Timur. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 99 Jakarta. Pada jenjang sekolah menengah atas, penulis menempuh pendidikan di SMAN 21 Jakarta. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan jenjang perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil program studi S-1 Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan. Selama menjadi mahasiswa aktif, penulis telah mengikuti berbagai organisasi dan kepanitiaan di lingkungan ITS. Organisasi dan kepanitiaan yang pernah diikuti penulis antara lain Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai staff dan kepala departemen di Departemen Inovasi Karya, Lembaga Dakwah Departemen sebagai staff Kaderisasi dan staff ahli Pembinaan, Badan Semi Otonom Ocean Oil Rig Club sebagai staff dan kepala divisi Training, kepanitiaan OCEANO 2018 sebagai tim divisi FSC dan ORDC Competition. Pada tahun 2019, penulis melaksanakan kerja praktek di ZEE Engineering Consultants. Demikian biodata penulis yang dapat disampaikan, terima kasih atas perhatian pembaca.

Email : brilliyanprasetyo@gmail.com