

Analisa Tegangan Mooring pada Floating Breakwater Tipe Gergaji dengan Pemodelan Fisik

Sujantoko^(*)

Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
E-mail: sujantoko@oe.its.ac.id

Eko Budi Djatmiko

Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
E-mail: ebdjatkiko@oe.its.ac.id

Wisnu Wardhana

Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
E-mail: wisnu@oe.its.ac.id

Aditya Hidayatullah

Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
E-mail: adityahid1997@gmail.com

Abstrak

Floating breakwater dapat diaplikasikan sebagai alternatif dari fixed breakwater di perairan pantai dengan kondisi tertentu secara efisien dan efektif, desainnya dapat dielaborasi dengan fleksibel, dan instalasinya lebih mudah. Salah satu aspek dasar dalam desain floating breakwater adalah sistem mooring yang baik, sehingga struktur tersebut dapat berada pada posisinya dan kinerjanya meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya tegangan mooring maksimum melalui eksperimen pada model floating breakwater tipe gergaji dan ponton. Model floating breakwater dibuat dari bahan polylactic acid dan model tali mooring digunakan jenis polyethylene. Pengujian fisik dilakukan dengan gelombang irregular dan spektrum JONSWAP di wave flume. Selama pengujian dilakukan berbagai variasi input tinggi gelombang (H_s), periode gelombang (T), kedalaman air (d), dan sudut mooring (q). Hasil penelitian ini menunjukkan nilai tegangan mooring maksimum baik floating breakwater tipe gergaji dan ponton terjadi pada sudut mooring 30° dan kedalaman air 45 cm secara berturut turut sebesar 5.28 N dan 4.91 N, sedangkan tegangan terkecil terjadi pada sudut mooring 60° dan kedalaman air 41 cm yaitu 1,03 N dan 1,27 N. Perbandingan nilai tegangan mooring tipe gergaji pada sudut mooring (30° , 45° , 60°) adalah lebih besar 10.82%-19.71%, 24.00-40.94%, dan 22.2%-39.42% dari tipe ponton pada kedalaman air 41cm, 43cm dan 45cm.

Kata-kata kunci: Floating breakwater, model fisik, sudut mooring, tegangan mooring.

Abstract

Floating breakwater can be applied as an alternative to the fixed breakwater in coastal waters with certain conditions efficiently and effectively, the design can be elaborated flexibly, and the installation is easier. One of the basic aspects in the design of a floating breakwater is a good mooring system so that the structure can be in position and its performance is increased. This study aims to determine the maximum mooring tension through experiments on the saw and pontoon-type floating breakwater models. The floating breakwater model is made of polylactic acid and the mooring rope model is made of polyethylene. Physical testing was carried out with irregular waves and the JONSWAP spectrum in the wave flume. During the test, various input variations of wave height (H_s), wave period (T), water depth (d), and mooring angle (q) were carried out. The results of this study indicate that the maximum mooring tension value for both saw and pontoon floating breakwater occurs at a mooring angle of 30° and a water depth of 45 cm respectively 5.28 N and 4.91 N, while the smallest tension occurs at a mooring angle of 60° and a water depth of 41 cm, namely 1.03 N and 1.27 N. Comparison of saw-type mooring tension values at mooring angles (30° , 45° , 60°) were 10.82%-19.71%, 24.00-40.94%, and 22.2%-39.42% higher than the pontoon type at water depth 41cm, 43cm and 45cm.

Keywords: Floating breakwater, physical model, mooring angle, mooring tension.

1. Pendahuluan

Penjalaran gelombang menuju pantai akan mengalami proses refraksi, shoaling, difraksi, transmisi dan

refleksi yang akan mempengaruhi perubahan energi gelombang di pantai. Energi gelombang mempunyai spektrum yang lebar, sehingga penanganannya secara komprehensif seringkali sulit dilaksanakan dimana hal

**Penulis Korespondensi*

ini merupakan aspek yang paling menantang bagi para ahli rekayasa pantai. Banyak garis pantai di dunia menghadapi masalah *de-stabilisasi* pantai akibat erosi maupun sedimentasi. Kedua faktor ini merupakan ancaman bagi potensi daerah pantai akibat terganggunya sumberdaya dan kekayaan pesisir, serta aktivitas komersial di daerah pesisir seperti pariwisata, aquakultur, perumahan, bakau, pantai berpasir, infrastruktur, tambak dan lain-lain. Selain itu penjalaran gelombang yang tinggi juga dapat mempengaruhi tambat kapal dan aktivitas bongkar muat di pelabuhan. Kondisi gelombang laut yang tenang sangat dibutuhkan agar aktivitas di pelabuhan dapat berjalan dengan lancar.

Breakwater tipe *rubblemound* atau *caisson* menawarkan keunggulan dalam meredam energi gelombang yang sangat baik dan telah banyak digunakan (Rose, 2016). Meskipun demikian, tipe perlindungan pantai ini menjadi tidak ekonomis untuk kondisi perairan pantai yang relatif curam, dalam, dan berombak besar karena biaya konstruksinya akan naik secara drastis (Fousert, 2016). Di samping itu, pantai yang curam rata-rata mempunyai kondisi dasar laut tidak rata dan jelek sehingga mempengaruhi stabilitas struktur, serta terjadi perubahan sirkulasi aliran air yang dapat mengakibatkan erosi dan sedimentasi di daerah sekitarnya. Proyek rekayasa pantai seringkali berdampak terhadap ekosistem alami dan kerusakan lingkungan yang mungkin akan memperburuk keadaan bagi generasi mendatang. Kondisi ini membutuhkan revolusi solusi teknis yang lebih ramah dengan mendorong penyediaan teknis, lingkungan dan ekonomi yang sehat dan berkelanjutan.

Floating Breakwater (FBW) menawarkan tingkat perlindungan yang dibutuhkan saat bekerja di perairan yang lebih dalam dengan terpaan daya alam yang lebih kuat daripada jenis *breakwater konvensional*. FBW menggunakan konsep refleksi, disipasi dan transformasi untuk mengurangi energi gelombang, sehingga dapat melemahkan gelombang datang ke tingkat yang dapat diterima (Morey, 1998). FBW adalah struktur terapung pada sarat terbatas dan bergantung pada interaksi struktur bangunan di bagian atas kolom air. FBW mempunyai beberapa keuntungan (McCarney, 1985; Fousert, 2006), yakni: a) FBW dapat dengan mudah dipindahkan dan layoutnya dapat diatur ulang karena kemampuan transportasi dan fleksibilitas dalam desain, b) FBW dapat diaplikasikan untuk kondisi tanah di dasar laut yang jelek dengan sistem *mooring*, c) FBW tidak mengganggu sirkulasi air, transportasi sedimen dan migrasi ikan, d) Sirkulasi arus yang rendah di *breakwater konvensional* akan mengakibatkan akumulasi konsentrasi sedimen pada daerah tersebut, dan e) waktu konstruksi relatif singkat. FBW juga menawarkan alternatif biaya konstruksi yang rendah dan ekonomis jika dibandingkan dengan *breakwater konvensional*, terutama pada kedalaman perairan lebih dari 3.05m (Hales, 1981). Terlepas dari fungsi utama sebagai peredam gelombang, FBW dapat digunakan untuk berfungsi sebagai *walkway*, habitat laut, tembok laut dan dermaga kapal. Selain keuntungan FBW juga menimbulkan beberapa kelemahan yang membutuhkan pertimbangan evaluasi yang akurat.

Desain dan pengembangan FBW untuk wilayah pesisir merupakan tantangan besar bagi insinyur teknik. Disain FBW harus diaplikasikan secara hati-hati sesuai kondisi lokasi dengan analisis perubahan gelombang. Beberapa kelemahan termasuk keterbatasan untuk panjang *fetch* yang pendek, umur struktur 10-20 tahun dan ada sebagian dari gelombang datang yang ditransmisikan (Morey, 1998). Hales (1981) menyatakan bahwa ketidakpastian dalam besarnya dan jenis yang diterapkan pada sistem, dan kurangnya informasi biaya perawatan. Hal ini dalam praktik desain akan meningkatkan biaya proyek. Kelemahan utama FBW adalah struktur ini selalu bergerak sebagai respons terhadap aksi gelombang, sehingga akan lebih rentan terhadap kelelahan struktur.

FBW diusulkan, dirancang dan dibangun dalam berbagai bentuk, pada tahun 1970-an: Jones (1971), Nece dan Richey (1972), Richey dan Nece (1974) dan Adey dkk (1976) mencatat lebih dari 60 konfigurasi FBW berbeda telah dirancang. Hales (1981) mengklasifikasikan FBW ini berdasarkan kesamaan geometris dan fungsionalnya menjadi 11 kategori. Kemudian, McCartney (1985) memisahkan mereka menjadi 4 kategori umum berdasarkan bentuk dan kinerjanya terhadap redaman tinggi gelombang, yakni: tipe *box*, *pontoon*, *mat*, dan *tethered float*. Selanjutnya PIANC (1994) mengklasifikasikan FBW berdasarkan karakteristik refleksi dan disipasi menjadi 4 konfigurasi, yakni *pontoon*, *mat*, *frame* dan *tethered*. Sistem refleksi akan berkontribusi paling dominan dalam meredam gelombang, sedangkan sistem disipasi akan menghancurkan energi gelombang melalui efek *viscous* dan *turbulensi*. Ruol (1984) meneliti elastisitas tali *mooring* untuk ponton dengan kemiringan kabel 1:1 sampai 1:5. Blumber dan Cox (1988) melakukan eksperimen di *wave flume* dengan berbagai konfigurasi (bentuk *box*, T dan *catamaran*). Berdasarkan penelitiannya diperoleh kurva koefisien transmisi dan beban gelombang horizontal maksimum. Sannasiraj dkk (1996) menyatakan bahwa konfigurasi tali *mooring* pada elevasi muka air menghasilkan gaya *mooring* lebih rendah daripada konfigurasi *mooring* di bawah struktur dengan susunan tali menyilang. Bhat (1998) melakukan eksperimen tentang tegangan *mooring* pada FBW tipe ponton ganda dengan menggunakan *load cell*. Neelamani dan Rajendran (2002a, 2002b), fokus meneliti FBW berbentuk tipe-T dan tipe- \wedge . Karakteristik transmisi, refleksi dan disipasi energi diuji dengan eksperimen model fisik pada gelombang reguler dan gelombang acak. Koefisien transmisi secara umum menurun dengan meningkatnya kecuraman gelombang dan meningkatnya kedalaman air relatif d/L. Kedua FBW ditemukan perbedaan disipasi yang sangat efisien dari energi gelombang datang. Perbandingan kinerja hidrodinamis tipe- \wedge dan tipe-T menunjukkan bahwa FBW tipe-T lebih baik daripada tipe- \wedge sekitar 20-30%. Dong dkk (2008) melakukan studi eksperimen pada 3-tipe FBW, yakni bentuk *box*, *double-box* dan *board-net*. Koefisien transmisi gelombang diuji pada 3-tipe FBW pada gelombang reguler dengan dan tanpa kecepatan arus. Hasilnya menunjukkan bahwa FBW tipe *board-net* adalah tipe struktur yang sederhana dan murah dan dapat diaplikasikan untuk aquakultur di perairan

dalam. Koutandos dkk (2005) menguji 4 buah konfigurasi FBW, yakni tipe *single-fixed*, tipe *single fixed* pada gerakan *heave*, tipe *single fixed* FBW dengan plat di depannya (kedap dan berpori) dan tipe *double fixed*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa plat yang terpasang di depan FBW secara signifikan meningkatkan efisiensi struktur. Sujantoko dkk (2019a) menguji tegangan mooring pada FBW bentuk gergaji berpori, ternyata diketahui tegangan mooring berbanding lurus dengan sudut *mooring* dan tegangan mooring pada FBW tipe ini nilainya lebih kecil terhadap tipe ponton. Pada tahun yang sama Sujantoko dkk (2019b) juga mengalisis gerakan FBW jenis ini, diperoleh Respons Amplitude Operators (RAO) *surge*, *pitch* dan *yaw* sangat kecil bahkan hampir mendekati nol. Alternatif pengembangan FBW yang lain yakni tipe tambat dan terpancang telah dilakukan eksperimen oleh sujantoko dkk (2021), transmisi dan refleksi gelombang dipengaruhi oleh konfigurasi, lebar struktur FBW, dan sudut *mooring*.

Pengujian FBW selain secara ekperimental, perilaku FBW juga telah diteliti secara numerik. Beberapa peneliti diantaranya: Fuguzza dan Natale (1988) membangun *model linier* gabungan, yakni pergerakan struktur dan difraksi gelombang untuk menggambarkan FBW tipe *box* pada gelombang *reguler*. Hasil model numerik menunjukkan kesesuaian dengan uji model fisik. Sannasiraj dkk (1998) menguji model numerik 2-D untuk mengevaluasi koefisien dan gaya hidrodinamis pada gelombang datang dari berbagai arah pada FBW tipe ponton. Hasilnya didapatkan bahwa model 2-D dapat diaplikasikan untuk menguji masalah interaksi gelombang dan struktur. Rahman dkk (2006) melakukan verifikasi model numerik dengan eksperimen untuk FBW tipe *rectangular*. Hasilnya merepresentasikan elevasi muka air di lokasi yang berbeda pada sisi *offshore* dan *onshore*, displasemen dinamis pada struktur terapung. Gaya yang terjadi pada *mooring line*, koefisien hidrodinamis struktur (transmisi, refleksi dan disipasi) dibandingkan dengan hasil eksperimen. Gesraha (2006) membuktikan studi numerik dan eksperimen pada FBW *rectangular* dengan dua sisi vertikal ke bawah (FBW tipe-II) dan dapat ditunjukkan pada gelombang menyudut terhadap struktur, transmisi gelombang tertinggi terjadi jika dibandingkan dengan FBW *rectangular*. Kajian beban ekstrem yang terjadi di lautan pada FBW juga telah diteliti oleh Cox dkk (2007) untuk menguji kinerja FBW tipe *box* pada gelombang reguler dan acak, yakni transmisi, refleksi dan disipasi gelombang, gerakan dan stabilitas struktur akibat gaya gelombang. Ruol dan Martinelli (2007) meneliti perbedaan tipe *mooring line* pada FBW tipe-II, yakni perbedaan tegangan dan pile pada rantai. Observasi difokuskan pada transmisi gelombang, beban *mooring line* dan beban kejut pada rantai. Martinelli dkk (2008) menguji kinerja FBW tipe-II pada gelombang datang dengan berbagai arah. Semakin meningkat sudut datang gelombang akan menurunkan transmisi, gaya *mooring* akibat beban kejut/hentakan pada rantai menurun, dan gaya ikatan akan sedikit meningkat.

Secara umum FBW mereduksi gelombang melalui mekanisme refleksi, menghancurkan gerakan partikel air dan redaman viskositas. Ketika gelombang mengenai struktur, energi akan dipantulkan, dihamburkan dan

menyebabkan gerakan struktur tersebut. Gerakan struktur yang diinduksi tersebut akan menghasilkan gelombang dan gerakannya akan ditentukan oleh sistem *mooring*. Menurut Tsinker (1995), aspek fundamental dari desain FBW ada empat jenis, yakni daya apung dan stabilitasnya, koefisien transmisi, gaya *mooring*, dan desain struktural itu sendiri. Sebagai struktur terapung, FBW membutuhkan sistem *mooring* untuk menjaga struktur agar tetap pada posisinya. Oleh karena itu, perhitungan yang akurat terhadap gaya ini adalah aspek penting dalam perancangan. Bahkan fungsi dari *breakwater* akan tidak bekerja apabila sistem *mooring* gagal untuk menjaga FBW bekerja tetap pada tempatnya. Selain itu, karakteristik sistem *mooring* memiliki dampak langsung pada kinerja transmisi gelombang dan desain struktur *breakwater*. Pada penelitian ini akan diteliti pengaruh tali *mooring* pada FBW tipe gergaji dan ponton dengan eksperimen. Permukaan FBW studi ini dirancang berbentuk gergaji yang berfungsi untuk menghancurkan gelombang datang sehingga dapat meredam energi gelombang secara signifikan. Pengujian FBW dilakukan dengan skenario: tinggi gelombang (H_s), periode gelombang (T), kedalaman air (d), dan sudut *mooring* (θ).

2. Metodologi

2.1 Persiapan percobaan

Penelitian ini dilakukan dalam *wave flume* dua dimensi di Laboratorium energi dan lingkungan laut, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. *Wave flume* memiliki ukuran panjang 20.0m, lebar 2.0m dan kedalaman 1.5m (Gambar 1). Dalam penelitian ini, ketinggian air diatur untuk menyesuaikan dengan skala model yang dipilih. Pembangkit gelombang tipe *plunger* dipasang di salah satu ujung *wave flume*, berfungsi membangkitkan gelombang *irregular* atau *regular* yang diatur oleh komputer kendali untuk merekam data dari *wave probe* dan untuk mengatur *input* data tinggi dan periode gelombang sebelum *wave generator* mulai bekerja. Agar tidak terjadi gelombang pantul, di ujung *wave flume* dipasang *asorber* untuk menyerap energi gelombang.

Pada saat eksperimen alas dasar diset setinggi 35 cm dengan *slope* 1:7, agar ketinggian air sesuai rencana pengujian sehingga gelombang tidak pecah ketika mengenai alas tersebut. Berdasarkan dimensi fasilitas *wave flume* dan kondisi gelombang yang diuji, digunakan skala 1:50 agar tercapai kesamaan secara



Gambar 1. Wave flume

Tabel 1. Dimensi model FBW

Dimensi FBW	Prototipe	Model
Panjang, L (m)	10	0.20
Lebar, B (m)	3	0.06
Tinggi, H (m)	3	0.06
Draft, d_f (m)	2	0.04
Freeboard, h_f (m)	1	0.02

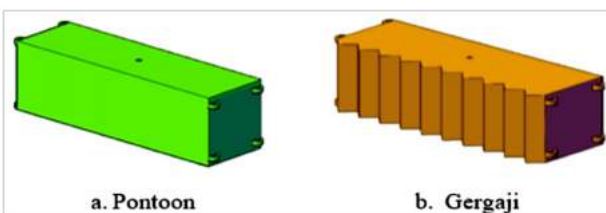
Tabel 2. Variabel data lingkungan

Dimensi	Prototipe	Model
Tinggi gelombang, H_s (m)	1.5, 2.0, 2.5	0.03, 0.04, 0.05
Periode gelombang, T(det)	7.8, 9.2, 11.3	1.1, 1.3, 1.6
Kedalaman air, h (m)	2.05, 2.15, 2.25	0.41, 0.43, 0.45
Sudut Mooring, q (deg)	30, 45, 60	30, 45, 60

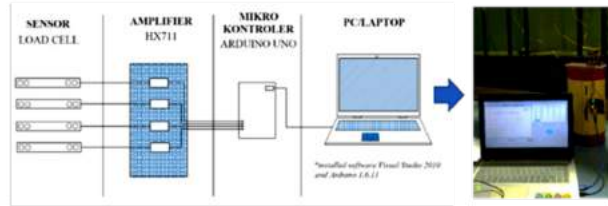
geometrik dengan *prototipe*. Hasil penskalaan model secara lengkap seperti terlihat pada **Tabel 1**.

Model FBW tipe ponton dan gergaji dalam pengujian ini seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**, dibuat dari material *polylactic acid*, dengan memperhatikan kekuatan, proses pembuatannya, dan ketersediaan di pasaran. Model dibuat dengan skala yang telah ditetapkan sebelumnya dan kalibrasi dilakukan untuk mengecek distribusi massa pada model tersebut. Jari-jari girasi dan pusat massa (*centre of gravity*) struktur digunakan sebagai acuan untuk menentukan distribusi massa tersebut. Selain itu daya apung (*bouyancy*) yang diukur dengan ukuran *draft* (0.04m) juga ditinjau untuk mengetahui seluruh massa model. Model akurat jika telah terkalibrasi dengan batas toleransi 5 persen. Material tali *mooring* digunakan jenis yang sama dengan *prototipe* yaitu *polyethylene*. Jenis tali ini mempunyai sifat elastis, kuat dan lebih ringan daripada rantai baja. Tali *Mooring* pada pengujian ini berdiameter 1.0 mm berdasarkan skala model dan ketersediaan jenis tersebut di pasaran dengan spesifikasi berat 0.07 kg/100m, *breaking strength* 0.7 kN (Van Der Lee, 2018).

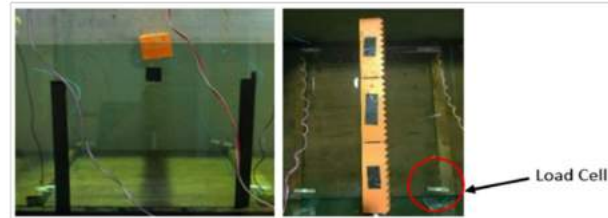
Peralatan pengujian *wave probe* ditempatkan minimal satu kali panjang gelombang dari ujung struktur agar tidak terpengaruh oleh gelombang refleksi (Goda, 1985). Tegangan *mooring* diukur dengan menggunakan *load cell* yang dilengkapi dengan *strain gauge*. Apabila *load cell* diberikan tarikan sesuai arah kerja, *load cell* akan terjadi deformasi secara mikroskopis pada *strain gauge*. Deformasi ini menyebabkan tegangan listrik yang berubah-ubah dan dapat dibaca dengan modul elektronik HX711. Tegangan tadi akan diterima oleh *microcontroller*



Gambar 2. Desain model *floating breakwater* tipe: a) pontoon dan b) gergaji



Gambar 3. Rangkaian sistem pengukur tegangan mooring



Gambar 4. Posisi *load cell*

Arduino UNO dan diterima oleh PC/Laptop (**Gambar 3**). Peralatan *load cell* diletakkan di bawah menyatu dengan *anchor* (**Gambar 4**).

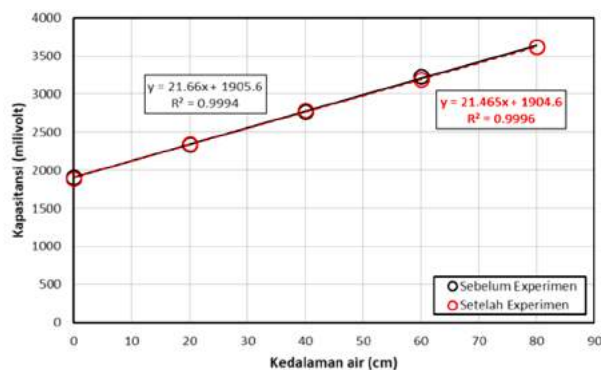
2.2 Kalibrasi Alat Uji

2.2.1 Kalibrasi wave probe

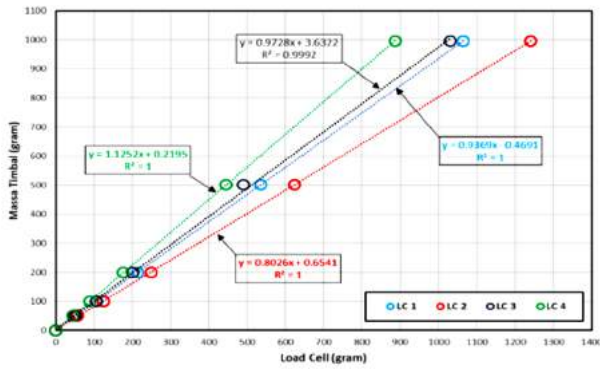
Kalibrasi dikerjakan dengan mendata letak titik nol pada *wave probe* di beberapa titik pada kondisi air tenang. Langkah pertama kalibrasi adalah menempatkan ujung *wave probe* ke dalam *wave flume* pada kondisi air tenang hingga menyentuh permukaan air, sehingga pada komputer kendali akan muncul angka yang berubah-ubah. Berdasarkan angka yang berubah-ubah tersebut, diambil rata-rata angka yang sering muncul, kemudian catat angka tersebut untuk mewakili titik 0 (ujung *wave probe*). Langkah selanjutnya yaitu ulangi seperti langkah pertama, namun penempatan *wave probe* pada beberapa kedalaman dari ujung *wave probe* ke permukaan air. Angka kalibrasi pada *wave probe* yang didapatkan dari percobaan ini ditunjukkan pada **Gambar 5**. Proses ini dilakukan sebelum dan sesudah eksperimen.

2.2.2 Kalibrasi load cell

Eksperimen model FBW ini menggunakan 4 buah *load cell* untuk mengukur tegangan *mooring*. *Load cell*



Gambar 5. Regresi linear kalibrasi *wave probe*

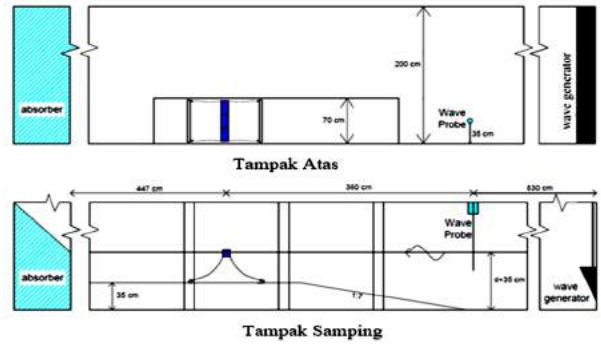


Gambar 6. Regresi linear kalibrasi load cell

mempunyai kemampuan beban maksimum 5 kg. Langkah awal perlu dilakukan dengan mengukur ulang beban dari timbal (50 gr, 100gr, 500gr, dan 1000 gr) menggunakan timbangan elektronik dan neraca ohaus untuk memastikan besar massa pada tiap timbal. Untuk mengetahui berat beban riil tersebut, hasil pengukuran timbal tersebut yang akan dijadikan acuan. Timbal diikat dan digantungkan pada posisi bebas terhubung ke *load cell* dan hasilnya akan terbaca pada layar. Setiap *load cell* diuji sebanyak 3 kali dan rata-rata hasil uji tersebut mewakili hasil kalibrasinya. Angka kalibrasi pada *load cell* yang didapatkan dari percobaan ditunjukkan pada Gambar 6, berdasarkan persamaan regresi linier yang diperoleh, besar beban yang dibaca oleh *load cell* dimasukkan kedalam persamaan tersebut sebagai x , sehingga diketahui nilai y (beban sebenarnya).

2.2.3 Pelaksanaan pengujian

Tahapan pelaksanaan pengujian model FBW dilakukan sesuai dengan rencana yang telah dibuat, pengujian dilakukan satu kali untuk setiap jenis variasi dalam satu kali *running* selama 120 detik. Model FBW diuji dengan variasi sudut *mooring* (30° - 60°), kedalaman air (41 - 45 cm), tinggi gelombang (3 - 5 cm) dan periode gelombang (1.1 - 1.6 det) seperti dinyatakan pada Tabel 2 diatas. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas FBW pada setiap tipe pada berbagai data lingkungan diatas terhadap besarnya tegangan *mooring*, sehingga dapat diketahui variasi yang memberikan tegangan terkecil akibatnya jenis tali *mooring* yang



Gambar 7. Layout pengujian FBW dalam wave flume

diperlukan akan semakin efektif dan efisien. Jenis gelombang yang digunakan adalah *irregular* dengan spektrum *JONSWAP* dan menggunakan konfigurasi FBW satu lapis. Model FBW disusun dan ditempatkan dalam *wave flume* seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

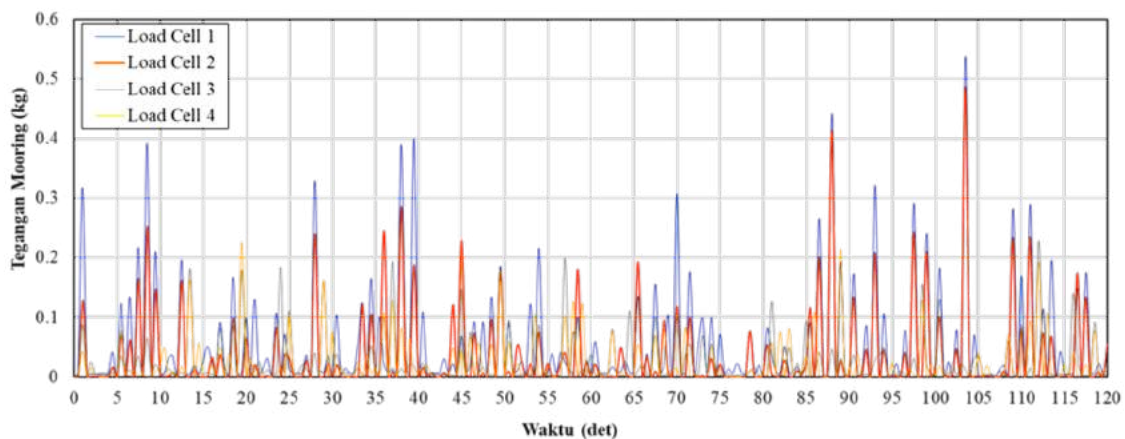
3. Hasil Ekperimen

3.1 Analisa dimensi

Analisa dimensi digunakan acuan untuk menyederhanakan dalam proses analisis data dari hasil eksperimen. Hasil dari analisa dimensi adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan sebagai acuan dalam menampilkan hasil eksperimen. Analisis tegangan *mooring* FBW dipengaruhi oleh beberapa variabel, yaitu:

$$T_m = \phi [H_s, T, d_f, h, \theta, \rho, g] \quad (1)$$

Dimana: T_m tegangan tali *mooring* (N), H_s tinggi gelombang signifikan (m), T periode gelombang (det), d_f draft (m), h kedalaman air (m) dan θ sudut *mooring*. Analisis dimensi untuk pengujian model ini digunakan adalah metode *matrix*. Pada metode ini pemilihan variabel yang mewakili tiap dimensi sebagai variabel independen, yakni dimensi panjang [L] diwakili oleh H_s , dimensi waktu [T] diwakili oleh T periode gelombang, dan [M] diwakili oleh ρ . Sehingga T_m, T, d_f, d sebagai variabel dependen pada π_1, π_2, π_3 , dan π_4 dan diperoleh bilangan tak berdimensi :



Gambar 8. Tegangan tali pada model FBW tipe gergaji : $d=45$ cm, $q=30^{\circ}$

$$\frac{T_m T^2}{H_s^4 \rho} = \phi \left[\frac{df}{H_s}, \frac{gT^2}{H_s}, \frac{d}{H_s} \right] \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan sistem *compounding* pada bilangan tak berdimensi, sehingga menghasilkan persamaan tak berdimensi baru seperti berikut yang menjadi parameter yang diuji dalam penelitian ini, yakni:

$$\frac{T_M T^2}{H_s^4 \rho} = \phi \left[\frac{H_s}{gT^2}, \theta \right] \quad (3)$$

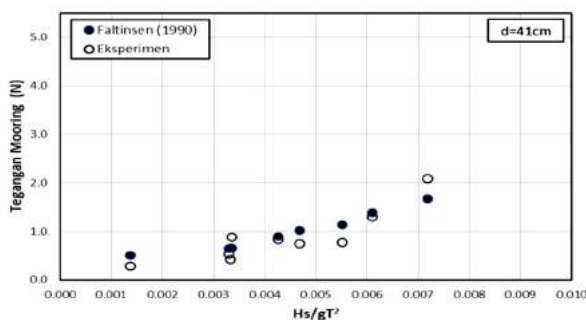
3.2 Analisis hasil pengujian

Berdasarkan pengujian model FBW tipe gergaji didapatkan nilai tegangan yang dicatat tiap data selama 0.5 detik. Data yang dihasilkan berupa data tegangan yang telah dikonversi ke dalam satuan kilogram (kg) dengan *software* Elcdhoom LC Monitor yang dibuat dengan *open source Visual Studio 2010*. Ada empat *load cell* yang digunakan sehingga terdapat empat kolom data tegangan *mooring* secara bersamaan untuk waktu perekaman data setiap 0.5 detik. Contoh rekaman data tegangan *mooring* terlihat pada dalam **Gambar 8**.

Berdasarkan data hasil pengujian model fisik FBW terekam data tegangan mooring, data tersebut disajikan dengan grafik yang dibagi berdasarkan beberapa kriteria, yaitu pengaruh kedalaman air, pengaruh sudut mooring, dan juga perbandingan model FBW tipe gergaji dan ponton. Data yang tercatat pada grafik adalah rata-rata dari tegangan *mooring* maksimum pada *load cell* 1 dan 2 yang berada pada posisi depan struktur (*offshore*), karena tali *mooring* ini akan menerima gaya gelombang yang paling besar.

3.2.1 Perbandingan tegangan mooring eksperimen dengan teoritis

Perhitungan secara teoritis dilakukan untuk melihat apakah hasil dari pengujian yang dilakukan sudah tepat. Perhitungan ini dilakukan sebagai perbandingan hasil eksperimen yang telah dilakukan. Pengecekan teoritis dilakukan pada tipe ponton. Menurut Faltinsen (1990) diperlukan komponen horizontal dari tegangan *mooring* untuk mengetahui tegangan totalnya. Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa komponen horizontal berupa gaya gelombang. Gaya gelombang sebagai komponen horizontal dalam perhitungan tegangan mooring digunakan persamaan Morison, yakni total gaya gelombang sebagai jumlah dari dua

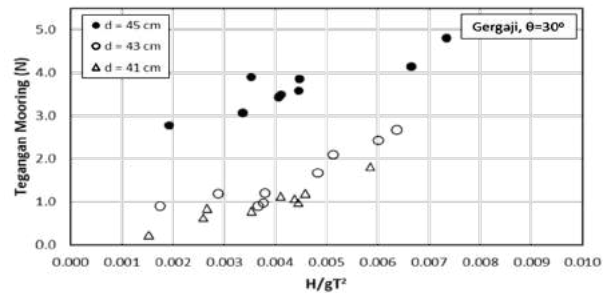


Gambar 9. Perbandingan model FBW eksperimen dan teoritis pada kedalaman air, d=41 cm

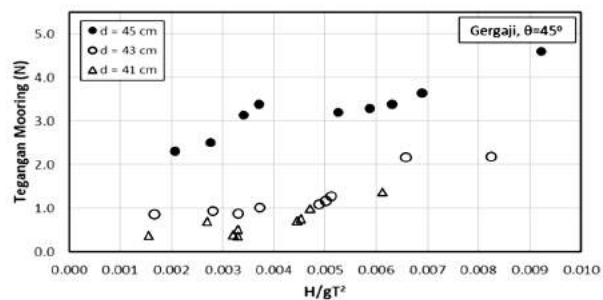
gaya yakni gaya *drag* dan gaya inersia (Dean dan Dalrymple, 1991). Berdasarkan standar desain pelabuhan OCDI (2002), besar koefisien *drag* dan koefisien inersia adalah 2 dan 2.19. Pada studi ini perbandingan teoritis sebagai contoh studi hanya dilakukan pada FBW tipe ponton dengan sudut *mooring* 60° dan hasilnya ditampilkan pada **Gambar 9**. Berdasarkan gambar tersebut terlihat eksperimen pada kedalaman air 41 cm bersesuaian dengan perhitungan teoritis Faltinsen (1990) dengan *mooring* jenis *catenary*, karena pada kedalaman air tersebut tegangan *mooring* lebih *loose* dibandingkan saat kondisi *mooring* sistem *taut*. Pada *mooring* kondisi *taut* (d= 43 cm dan 45 cm) perlu dilakukan pemodelan numerik, sehingga lebih menggambarkan fenomena yang terjadi.

3.2.2 Pengaruh kedalaman air

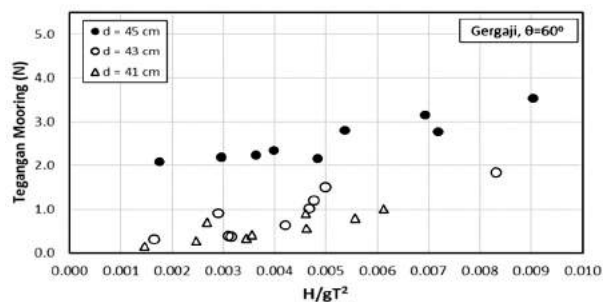
Data yang telah terekam dari hasil uji model fisik yang dilakukan dengan beberapa variasi kedalaman air, menghasilkan nilai tegangan *mooring* yang cukup



Gambar 10. Tegangan *mooring* FBW dengan variasi kedalaman air pada q=30°



Gambar 11. Tegangan *mooring* FBW dengan variasi kedalaman air pada q=45°



Gambar 12. Tegangan *mooring* FBW dengan variasi kedalaman air pada q=60°

bervariasi. Pengujian ini sebagai simulasi pasang dan surut air laut. Saat pengujian panjang tali *mooring* yang digunakan tetap mengikuti panjang tali saat kondisi pasang ($d=45$ cm). Panjang tali hanya berubah ketika terjadi perubahan sudut *mooring* saja. Panjang tali yang tidak dirubah mengikuti variasi kedalaman ini menyebabkan ketegangan tali ikut berubah menyesuaikan kedalaman air yang digunakan. Dapat dikatakan, kedalaman air 45 merupakan kondisi dimana terjadi tali *mooring* sistem *taut*, dan kedalaman air 41 cm merupakan kondisi dimana *mooring* paling *loose*. Grafik perbandingan hubungan tegangan *mooring* dan *wave steepness* (H_s/gT^2) terhadap variasi kedalaman air dari FBW tipe gergaji ditunjukkan pada **Gambar 10-12**.

Kondisi perbedaan ketegangan tali ini membuat tegangan yang dialami juga berbeda. Kondisi tali *mooring* yang lebih kaku akan memberikan respon tegangan yang lebih besar karena gerakan FBW lebih terbatas sehingga gaya gelombang yang menghantam struktur sepenuhnya ditahan oleh tali *mooring*. Sedangkan pada kondisi *mooring* yang lebih *loose* (surut), gaya gelombang akan terlebih dahulu membuat FBW bergerak sebelum akhirnya tertahan oleh tali *mooring*. Kondisi tersebut juga didukung oleh hasil pengujian dimana kedalaman air 45 cm memiliki tegangan yang lebih tinggi daripada kedalaman air 43 cm dan 41 cm.

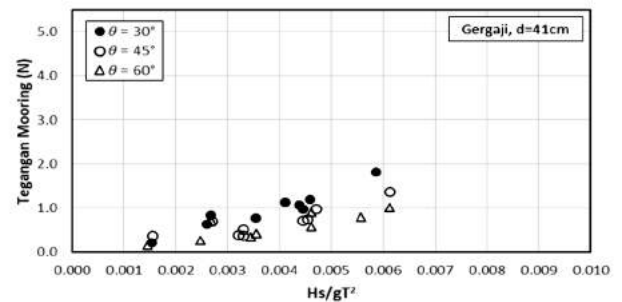
Pada pengujian FBW tipe gergaji didapatkan tegangan *mooring* terbesar terjadi pada kedalaman air 45 cm pada sudut *mooring* 30° , 45° , dan 60° secara berturut turut adalah 5.28 N, 4.86 N, dan 3.69 N. Berdasarkan perbandingan ketiga grafik tersebut, didapatkan bahwa pada kedalaman air 43 cm memiliki nilai tegangan lebih kecil daripada nilai tegangan pada kedalaman air 45 cm pada sudut *mooring* 30° , 45° , dan 60° adalah sebesar 60.44%, 61.56%, dan 65.13%. Sedangkan, pada kedalaman air 41 cm juga memiliki nilai tegangan lebih kecil daripada nilai tegangan pada kedalaman air 45 cm pada sudut *mooring* 30° , 45° , dan 60° secara berturut turut adalah 71.93%, 75.52%, dan 75.85%, sehingga berdasarkan ketiga grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan *mooring* dan *wave steepness* saling berbanding lurus. Selain itu, kedalaman air juga saling berbanding lurus terhadap nilai tegangan *mooring*, semakin besar kedalaman air, semakin besar juga nilai tegangan *mooring* yang terjadi. Artinya pada kondisi laut sebenarnya, saat pasang maka tegangan *mooring* akan mengalami tegangan terbesar. Sebaliknya pada kondisi surut, FBW akan mengalami tegangan *mooring* yang lebih kecil. Namun kondisi pasang surut ini juga akan mempengaruhi posisi FBW secara horizontal, maka perlu analisa lebih lanjut dengan model numerik atau eksperimen untuk mengetahui besar perpindahan posisi FBW secara horizontal. Sehingga analisa tegangan *mooring* dapat secara menyeluruh dilakukan baik perpindahan vertikal dan horizontal.

3.2.3 Pengaruh sudut *mooring*

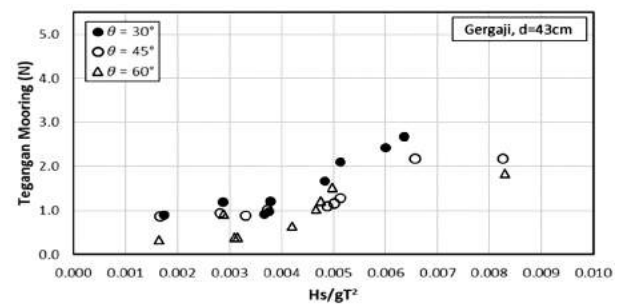
Selain pengaruh kedalaman air, pada uji model fisik ini juga dilakukan variasi sudut *mooring*. Grafik perbandingan hubungan nilai tegangan *mooring* dan parameter tak berdimensi, *wave steepness* terhadap variasi sudut *mooring* dari FBW tipe gergaji ditunjukkan

pada **Gambar 13-15**. Berdasarkan ketiga grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan *mooring* terbesar terjadi pada sudut *mooring* 30° pada semua variasi kedalaman air. Pada sudut *mooring* 45° memiliki nilai tegangan lebih kecil daripada nilai tegangan pada sudut *mooring* 30° sebesar 27.95%, 16.85%, dan 15.50% pada kedalaman air 41 cm, 43 cm, dan 45 cm. Pada sudut *mooring* 60° juga memiliki nilai tegangan lebih kecil daripada nilai tegangan pada sudut *mooring* 30° pada kedalaman air 41 cm, 43 cm, dan 45 cm adalah 39.78%, 40.52%, dan 33.11% secara berturut turut. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa besar sudut *mooring* saling berbanding terbalik terhadap nilai tegangan *mooring*, artinya semakin besar sudut *mooring*, maka semakin kecil nilai tegangan *mooring* yang terjadi.

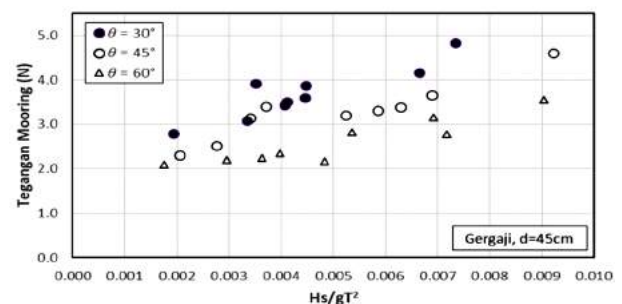
Hal penelitian ini sejalan dengan eksperimen yang dilakukan oleh Wei dkk (2011) pada berbagai sudut mulai dari sudut 10° , 20° , 30° , dan hingga sudut 90° . Dari pengujian tersebut diketahui bahwa terjadi peningkatan tegangan *mooring* ketika sudut *mooring*



Gambar 13. Hubungan tegangan *mooring* FBW dengan parameter gelombang pada $d=41$ cm



Gambar 14. Hubungan tegangan *mooring* FBW dengan parameter gelombang pada $d=43$ cm



Gambar 15. Hubungan tegangan *mooring* FBW dengan parameter gelombang pada $d=45$ cm

berkurang dari 90° hingga 0° khususnya pada saat sudut *mooring* dibawah 30°. Menurut Tsinker (1995) meskipun sudut 60° menghasilkan hasil terbaik dengan nilai tegangan *mooring* paling kecil, namun perlu dilihat lagi dari aspek penting lainnya yaitu dari segi stabilitas, kemampuan FBW meredam gelombang, bahkan hingga aspek ekonomi. Sudut 60° mungkin dapat memberikan nilai tegangan *mooring* terendah, namun disisi lain juga menghasilkan gerakan struktur yang kurang stabil. Hal ini sesuai dengan kajian Wei dkk. (2011), dimana gerakan *sway*, *heave*, dan *roll* cenderung tinggi ketika sudut *mooring* besar digunakan, terutama ketika sudutnya mencapai 60°. Berdasarkan uji model ini dapat dirangkum bahwa walaupun sudut *mooring* yang kecil dapat mengontrol gerakan struktur dengan lebih baik, namun tegangan *mooring* yang dihasilkan besar. Selain itu, dari segi peredaman gelombang perlu dikaji lagi karena bagaimanapun tujuan utama FBW adalah untuk meredam gelombang dan melindungi daerah di belakangnya dari serangan gelombang.

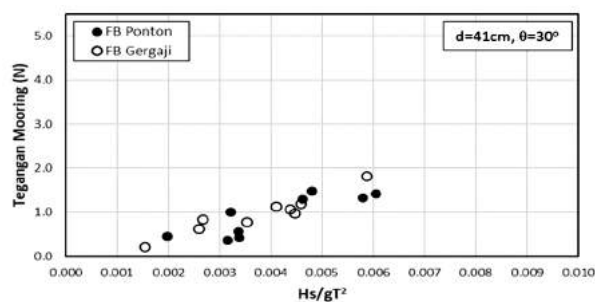
3.2.4 Perbandingan tipe FBW

Hasil uji model fisik FBW dilakukan pada tipe gergaji dan ponton sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 16-24. Pada kedua tipe FBW tersebut terdapat perbedaan tegangan pada setiap skenario pengujian. Hasil lengkap perbandingan ditampilkan dalam Tabel 3.

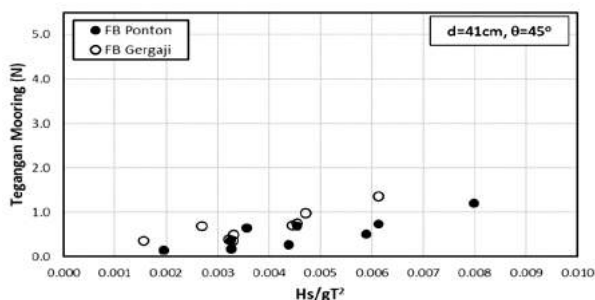
Hasil ini menunjukkan nilai tegangan *mooring* FBW tipe gergaji pada kedalaman air 41 cm, 43 cm, dan 45 cm, memiliki tegangan terkecil terhadap tipe *pontoon*, yakni pada kondisi sudut *mooring* 30°, dengan persentase berturut turut sebesar 12.62%, 10.82%, dan 19.71%. Sedangkan, pada sudut *mooring* 45° dan 60° di setiap kedalaman air, memiliki persentase yang berbeda-beda. Pada kedalaman air 41 cm dan 45 cm, persentase perbedaan tegangan *mooring* terbesar terjadi pada sudut *mooring* 45°, sedangkan pada kedalaman air 43 cm, persentase perbedaan tegangan *mooring* terbesar terjadi pada sudut *mooring* 60°.

FBW tipe gergaji pada setiap skenario pengujian selalu memiliki nilai tegangan *mooring* yang lebih besar daripada tipe *pontoon* karena luas permukaan bidang tipe gergaji lebih luas daripada tipe *pontoon*. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian Dean dan Dalrymple

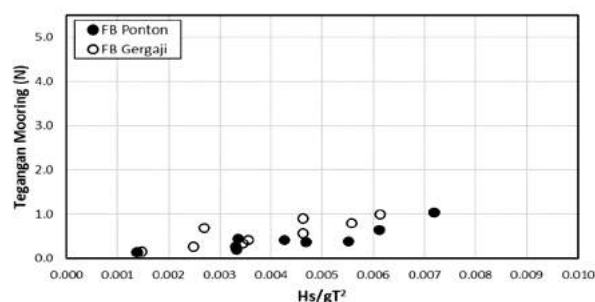
(1991) dimana luas permukaan bidang struktur sangat berpengaruh terhadap gaya *drag* yang terjadi dan berbanding lurus terhadap besarnya tegangan *mooring*. Bhat (1998) juga menyatakan bahwa 72.37% dari total skenario pengujian, model bentuk *rectangular* dengan luas permukaan tercelup 0.3748 m² memiliki tegangan lebih besar daripada bentuk *circular* dengan luas permukaan tercelup 0.2574 m².



Gambar 16. Perbandingan tegangan *mooring* FBW tipe gergaji terhadap ponton: d=41cm, q=30°



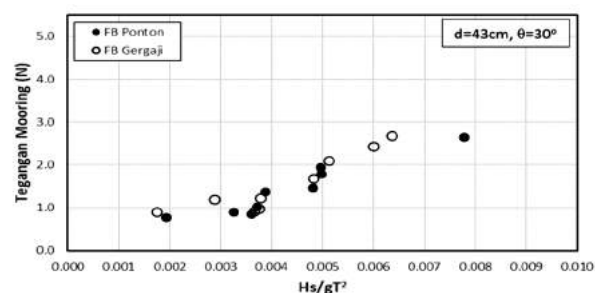
Gambar 17. Perbandingan tegangan *mooring* FBW tipe gergaji terhadap ponton: d=41cm, q=45°



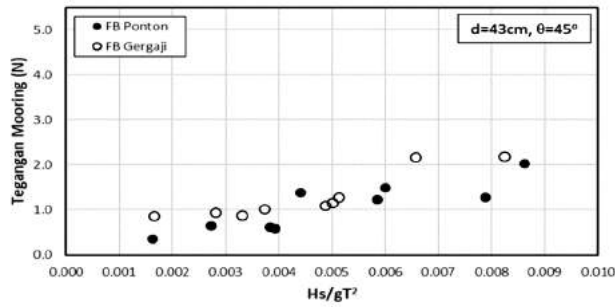
Gambar 18. Perbandingan tegangan *mooring* FBW tipe gergaji terhadap ponton: d=41cm, q=60°

Tabel 3. Persentase perbedaan tegangan *mooring* FBW tipe gergaji dan *pontoon*

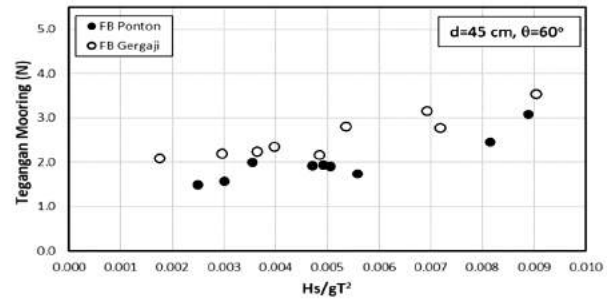
No	Kedalaman air (cm)	Sudut <i>mooring</i> (deg)	Perbedaan tegangan tipe gergaji thd ponton (%)
1		30	12,62
2	41	45	40,94
3		60	39,42
4		30	10,82
5	43	45	24,00
6		60	24,46
7		30	19,71
8	45	45	26,24
9		60	22,20



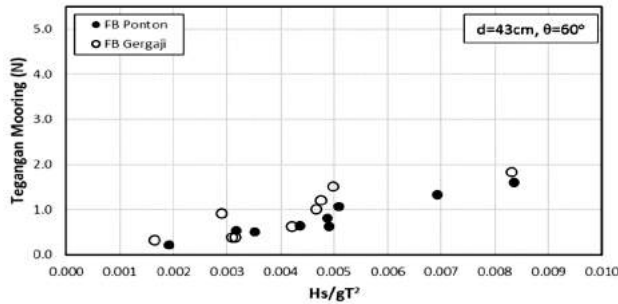
Gambar 19. Perbandingan tegangan *mooring* FBW tipe gergaji terhadap ponton: d=43cm, q=30°



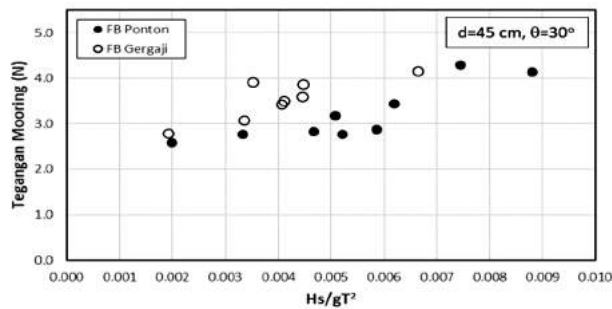
Gambar 20. Perbandingan tegangan mooring FBW tipe gergaji terhadap ponton: $d=43\text{cm}$, $q=45^\circ$



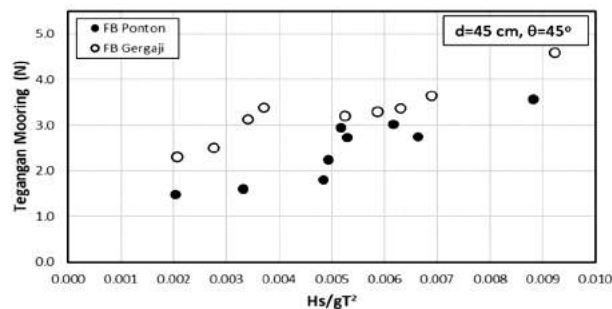
Gambar 24. Perbandingan tegangan mooring FBW tipe gergaji terhadap ponton: $d=45\text{cm}$, $q=60^\circ$



Gambar 21. Perbandingan tegangan mooring FBW tipe gergaji terhadap ponton: $d=43\text{cm}$, $q=60^\circ$



Gambar 22. Perbandingan tegangan mooring FBW tipe gergaji terhadap ponton: $d=45\text{cm}$, $q=30^\circ$



Gambar 23. Perbandingan tegangan mooring FBW tipe gergaji terhadap ponton: $d=45\text{cm}$, $q=45^\circ$

Meskipun keseluruhan hasil pengujian fisik FBW memiliki tegangan mooring yang lebih besar pada tipe gergaji, namun redaman gelombang yang terjadi juga besar, artinya gelombang transmisi semakin kecil dibandingkan dengan bentuk ponton. Hal ini, bisa menjadi suatu pertimbangan dalam desain dan pemilihan

properties dalam pembuatan FBW sesuai kebutuhan yang diinginkan.

4. Kesimpulan

Pada riset ini telah berhasil dirancang FBW bentuk gergaji untuk dilakukan experimental untuk mengetahui tegangan mooring pada struktur tersebut. Berdasarkan hasil pekperimen model fisik FBW tipe gergaji dan ponton di wave flume untuk menguji tegangan mooring pada berbagai variasi kedalaman air dan sudut mooring dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi kedalaman air maka semakin besar tegangan mooring yang terjadi. Hal ini terjadi karena perbedaan ketegangan tali ini membuat tegangan yang dialami juga berbeda. Kondisi tali mooring yang lebih kaku akan memberikan respon tegangan yang lebih besar karena gerakan FBW lebih terbatas sehingga gaya gelombang yang menghantam struktur sepenuhnya ditahan oleh tali mooring. Sedangkan pada kondisi mooring yang lebih loose (surut), gaya gelombang akan terlebih dahulu membuat FBW bergerak sebelum akhirnya tertahan oleh tali mooring. Kondisi tersebut juga didukung oleh hasil pengujian dimana kedalaman air 45 cm memiliki tegangan mooring (3.7-5.3 N) yang lebih tinggi daripada kedalaman air 43 cm dan 41 cm.
2. Semakin besar sudut mooring maka semakin kecil tegangan mooring yang terjadi. Dengan variasi sudut mooring yaitu 30° , 45° , dan 60° , diketahui bahwa tegangan mooring terbesar terjadi pada sudut mooring 30° dengan besar tegangan mooring 1.8-5.3 N. Meskipun sudut mooring yang kecil (30°) dapat mengontrol gerakan struktur dengan lebih baik, namun tegangan mooring yang dihasilkan besar. Selain itu, dari segi peredaman gelombang perlu dikaji lagi karena tujuan utama FBW adalah untuk meredam gelombang dan melindungi daerah di belakangnya dari serangan gelombang.
3. FBW tipe gergaji memiliki nilai tegangan mooring yang lebih besar daripada tipe ponton pada setiap skenario uji. hal ini terjadi karena luas permukaan bidang yang tegak lurus arah gelombang datang pada tipe gergaji lebih luas daripada tipe ponton. Pada variasi sudut mooring 30° , 45° , dan 60° FBW tipe gergaji dapat menaikkan tegangan mooring secara berturut-turut sebesar 10.82%-19.71%, 24.00-

40.94%, dan 22.2%-39.42% daripada tipe ponton pada kedalaman air 41 cm, 43 cm, dan 45 cm.

- Meskipun keseluruhan hasil pengujian fisik FBW memiliki tegangan *mooring* pada tipe gergaji yang lebih besar dari ponton, namun redaman gelombang yang terjadi juga besar, artinya gelombang transmisi semakin kecil dibandingkan dengan bentuk ponton. Hal ini, bisa menjadi suatu pertimbangan dalam desain dan pemilihan properties dalam pembuatan FBW sesuai kebutuhan yang diinginkan.
- Sebagai penyempurnaan penelitian ini perlu ditelaah perubahan posisi FBW secara horizontal baik dengan numerik maupun eksperimen, sehingga analisa tegangan *mooring* dapat dilakukan secara menyeluruh baik perpindahan vertikal dan horizontal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kemenristekdikti Indonesia dan Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) ITS yang telah memberikan bantuan pendanaan dalam studi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teknisi dan semua pihak yang berkontribusi sehingga paper ini dapat diselesaikan.

Daftar Pustaka

- Adee, B.H., Richey, E.P., Christensen, D.R., 1976. *Floating Breakwater Field Assessment Program, Friday Harbor, Washington*. Technical Report 76-17. U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir.
- Bhat, S., 1998. *Performance of Twin-Pontoon Floating Breakwaters*. Master Thesis, The University of British Columbia, Canada.
- Blumberg, G., Cox, R., 1988. *Floating Breakwater Physical Model Testing for Marina Applications*. Bulletin 63, PIANC - AIPCN
- Cox, R., Coghlan, I., Kerry, C., 2007. Floating Breakwater Performance in Irregular Waves With Particular Emphasis On Wave Transmission and Reflection, Energy Dissipation, Motion, and Restraining Forces. In: *International Conference on Coastal Structures*, Vol. 1, 351–362
- Dean, R. G. dan R. A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. New York: World Scientific.
- Dong, G.H., Zheng, Y.N., Li, Y.C., Teng, B., Guan, C.T., Lin, D.F., 2008. Experiments On Wave Transmission Coefficients of Floating Breakwaters. *Ocean Engineering*, Vol.35, 931-938.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. UK: Cambridge University Press.
- Fugazza, M., Natale, L., 1988. Energy Losses and Floating Breakwater Response. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.114, No.2, 191–205.
- Fousert, M.W., 2016. *Floating Breakwater: A Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System*. Master Thesis. Delft University of Technology
- Gesraha, M.R., 2006. Analysis of Π Shaped Floating Breakwater in Oblique Waves. *Applied Ocean Research*, Vol.28, No.5, 327- 338.
- Goda, Y., 1985. *Random Seas and Design of Maritime Structure*. University of Tokyo Press, Japan.
- Hales, L.Z., 1981. *Floating Breakwater: State of The Art Literature Review*. Technical Report No. 81 -1. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir.
- Jones, D.B., 1971. *Transportable Breakwaters - a Survey of Concepts*. Technical Report R-727. U.S. Navy Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme.
- Koutandos, E., Prinos, P., Gironella, X., 2005. Floating Breakwaters Under Regular and Irregular Wave Forcing: Reflection and Transmission Characteristics, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 43, No. 2, 174–188.
- Martinelli, L., Ruol, P., Zanuttigh, B., 2008. Wave Basin Experiments On Floating Breakwaters With Different Layouts. *Applied Ocean Research*, Vol.30, No.3, 199–207.
- McCartney, B. L., 1985. Floating Breakwater Design. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 111, No.2, 304-318.
- Morey, B., 1998. *Floating Breakwater Prediction Their Performance*, Master Thesis, Memorial University of Newfoundland, Canada.
- Nece, R. E., Richey, E. P., 1972. *Wave Transmission Tests of Floating Breakwater for Oak Harbour*. Water Resources Series Tech. Report 32, Dep. of Civil and Env. Eng., Univ. of Washington.
- Neelamani, S., Rajendran, R., 2002a. Wave Interaction With \wedge -Type Breakwaters. *Ocean Engineering*, Vol.29, No.5, 561 – 589.
- Neelamani, S., Rajendran, R., 2002b. Wave Interaction With T-Type Breakwaters. *Ocean Engineering*, Vol.29, No.2, 151–175.
- OCDI, The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2002. *Technical Standards*

and Commentaries of Port and Harbour Facilities in Japan. Japan: Daikousha Printing Co., Ltd.

- PIANC, 1994. *Floating breakwater: A practical guide for design and construction.* Report of working group no. 13 of the permanent committee II, Supplement to Buletin 85, Brussel.
- Rahman, M.A., Mizutani, N., Kawasaki, K., 2006. Numerical Modeling of Dynamic Responses and Mooring Forces of Submerged Floating Breakwater. *Coastal Engineering*, Vol.53, No.10, 799-815.
- Richey, E.P., Nece, R.E., 1974. Floating Breakwaters: State of The Art. *Proceedings of the Floating Breakwaters Conference.* University of Rhode Island, Kingston, 1-20.
- Roose, J., 2016. *Development of An Excel Based Calculation Tool to Assess The Hydraulic Performance of Rubble Mound Breakwaters and Vertical Seawalls.* Master Thesis. Ghent University.
- Ruol, P., 1984. Floating Breakwaters in Small Basins. *In: International Symposium on Maritime Structures in the Mediterranean Sea.*
- Ruol, P., Martinelli, L., 2007. Wave Flume Investigation On Different Mooring Systems for Floating Breakwaters. *In: International Conference on Coastal Structures*, No.1, 327–338.
- Sannasiraj, S. A., Sundar, V., Sundaravadivelu, R., 1996. Mooring Forces and Motion Responses of Pontoon-Type Floating Breakwaters. *Journal of Ocean Engineering*, Vol. 25, No. 1, 27–48.
- Sujantoko, Djatmiko, E.B., Wardhana, W., Armono, H.D., Sholihin, Ali, M.F, 2019a. Experimental Study on the Effect of Mooring Angle On Mooring Tension of Porous Saw Type Floating Breakwater, *Proceeding of The 7th International Seminars on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*, Surabaya, Indonesia, Nov 6-7, 94-99.
- Sujantoko, Djatmiko, E.B., Wardhana, W., Armono, H.D., Wahyudi, 2019b. Dynamic Behavior Analysis of Porous Saw Floating Breakwater Under Regular Waves, *Proceeding of The 7th International Seminars on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*, Surabaya, Indonesia, Nov 6-7, 236-241.
- Sujantoko, Wardhana, W., Djatmiko, E. B., Armono, H. D., Putro, W. S., Almuzaki, R. H., 2021. Studi Karakteristik Gelombang Pada Floating Breakwater Tipe Terpancang dan Tambat, *Jurnal Teknik Hidraulik*, Vol.12. No.1, 39-51.
- Tsinker, G. P., 1995. *Marine Structures Engineering: Specialized Application.* New York: An International Thomson Publishing Company.
- Van Der Lee, G., 2018. Mooring line - DYNEEMA® SK75 High modulus Polyethylene, Rope Factory, <https://store.mssdefence.com/ropes/482-g-van-der-lee-mooring-line-dyneemar-sk75-high-modulus-poly-ethylene-ropes.html>
- Wei, P., L. K. Ho, dan M. Norimi. 2011. Effect of Mooring Angle on the Interactions Between Waves and Floating Breakwater. *Proceedings of the 6th International Conference Coastal Structures.* Vol. 2, 903-912.

