

## PEMODELAN FISIK 3-D PADA *FLOATING – TYPE BREAKWATER*

### 3-D PHYSICAL MODELLING ON *FLOATING - TYPE BREAKWATER*

**Harman Ajiwibowo**

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB, Bandung  
E-mail: [harman.ajiwibowo65@gmail.com](mailto:harman.ajiwibowo65@gmail.com)

#### ABSTRACT

*BP Tangguh has port facilities in Bintuni Bay, West Papua, with a water depth of about 6 to 9 m. To secure the port activities and facilities, a floating-type breakwater was proposed. Three-dimensional physical modeling was conducted in a wave basin to determine its effectiveness against environmental conditions in Bintuni Bay by quantifying the transmission coefficient ( $K_T$ ). The basin was equipped with pistons to generate a monochromatic wave, four wave probes, and an eight-channel DAS (Data Acquisition System). Wave height ( $H$ ) and period ( $T$ ) data were recorded by the wave probes and validated by peilschaal observation. The incoming ( $H_i$ ) and transmitted wave heights ( $H_t$ ) before and after the breakwater, respectively, were measured and processed to obtain  $K_T$ . The relationships between  $K_T$  and non-dimensional variables were analyzed. The proposed floating-type breakwater was found to be effective for intermediate and short waves but not for long waves. Meanwhile, configuration 1 was chosen since the smaller structure still resulted in similar transmission waves compared to configuration 2. For the short waves, the floating-type breakwater resulted in transmission coefficients ranging from 0.5 to 0.7. The value of  $K_T$  declined when the wave period became smaller.*

**Keywords:** 3-D physical modeling, floating-type breakwater, non-dimensional variables

#### ABSTRAK

BP Tangguh memiliki fasilitas pelabuhan di Teluk Bintuni, Papua Barat dengan kedalaman perairan 6 m hingga 9 m. Pada kasus ini direncanakan suatu *breakwater* terapung untuk melindungi aktivitas dan fasilitas pelabuhan. Pengujian model fisik 3-D dilakukan di kolam gelombang untuk menentukan efektivitas terhadap kondisi lingkungan perairan Teluk Bintuni dengan mengukur koefisien transmisi ( $K_T$ ). Kolam gelombang dilengkapi dengan piston pembangkit gelombang monokromatik, 4 *wave gauge* dan DAS (*Data Acquisition System*) 8 kanal. Data tinggi ( $H$ ) dan periode gelombang ( $T$ ) diperoleh dari rekaman sensor gelombang dan divalidasi dengan pengamatan pada *peilschaal*. Tinggi gelombang datang di depan *breakwater* ( $H_i$ ) dan tinggi gelombang transmisi di belakang *breakwater* ( $H_t$ ) diukur dan diproses untuk mendapatkan  $K_T$ . Selanjutnya, hubungan antara  $K_T$  dan bilangan tak berdimensi lainnya dianalisis. Hasil dari model fisik ini adalah *breakwater* terapung yang diajukan efektif untuk gelombang pendek dan menengah, dan tidak efektif untuk gelombang panjang. Selain itu, konfigurasi *breakwater* pada satu sisi bagian utara saja (konfigurasi 1) dipilih karena perbandingan dengan konfigurasi *breakwater* di dua sisi (utara dan barat, konfigurasi 2) dihasilkan gelombang transmisi yang tidak jauh berbeda. Bahkan konfigurasi 2 (*breakwater* di dua sisi) menghasilkan gelombang berdiri pada kolam pelabuhan dengan tinggi lebih dari tinggi gelombang datang. Pada gelombang pendek, *breakwater* terapung menghasilkan koefisien transmisi sebesar 0,5 hingga 0,7. Koefisien transmisi mengecil apabila gelombang datang dengan periode yang lebih kecil lagi.

**Kata kunci:** pemodelan fisik 3-D; pemecah gelombang tipe terapung, bilangan tak berdimensi

## I. PENDAHULUAN

Fasilitas eksplorasi *Liquefied Natural Gas* (LNG) di Teluk Bintuni, Provinsi Papua

Barat memiliki fasilitas pelabuhan untuk memuat LNG yang berasal dari kilang LNG. Gambar 1 memperlihatkan lokasi pelabuhan pada Teluk Bintuni. Pada kondisi eksisting

gelombang laut dapat mencapai fasilitas kolam pelabuhan pada musim tertentu. Aktivitas berlabuh memerlukan kondisi gelombang yang tenang, dimana kondisi tersebut dapat dicapai dengan membangun *breakwater* di depan pelabuhan. Kedalaman air di sekitar pelabuhan adalah 6 m - 9 m. Studi mengenai kondisi lingkungan di sekitar pelabuhan juga pernah dilakukan oleh Rositasari *et al.* (2013). Rositasari *et al.* (2013) menunjukkan bahwa kolam Pelabuhan Tanjung Mas mempunyai kadar Pb, Zn, dan total komponen organik yang terbesar dibanding Kanal Banjir Timur dan Barat, Kota Semarang.

Bila menggunakan *rubble mound breakwater* di perairan yang tidak dangkal (seperti pada kasus ini) diperlukan volume bangunan yang besar dan berakibat biaya investasi yang tinggi (tidak ekonomis). Salah satu alternatif desain *breakwater* yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *breakwater* terapung (*floating-type breakwater*).

Efektivitas *breakwater* apung dianalisa terhadap kondisi perairan di Teluk Bintuni. Adapun jenis pemodelan yang cukup akurat untuk memodelkan kondisi

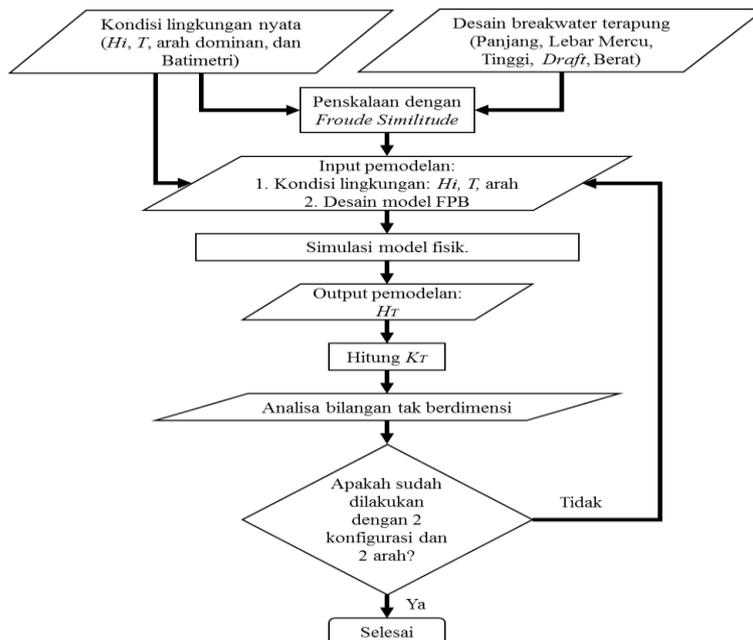
tersebut adalah pemodelan fisik 3-D pada kolam pelabuhan, dimana tidak hanya kondisi gelombang dan dimensi *breakwater* saja yang dapat dimodelkan, tetapi juga batimetri atau kontur dasar perairan laut yang dapat dimodelkan pada kolam gelombang.



Gambar 1. Lokasi Teluk Bintuni, Provinsi Papua Barat, Indonesia.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yaitu dari pendefinisian kondisi lingkungan dan desain *breakwater* terapung, penskalaan, analisa bilangan tak berdimensi dan pemodelan fisiknya itu sendiri. Diagram alir tahapan penelitian diberikan pada Gambar 2.

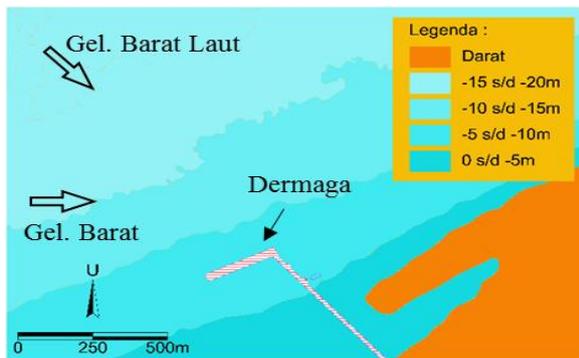


Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian.

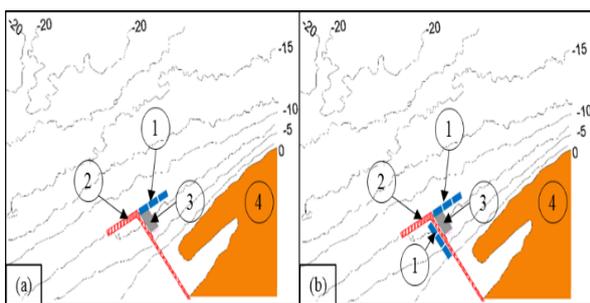
## 2.1. Lokasi Studi dan Konfigurasi *Breakwater* Terapung

Lokasi studi terletak di Teluk Bintuni, Provinsi Papua Barat seperti yang diberikan pada Gambar 1. Layout prototipe fasilitas pelabuhan milik British Petroleum (BP) Tangguh beserta kondisi lingkungannya diberikan pada Gambar 3.

Angin dan gelombang datang dominan dari arah Barat dan Barat Laut seperti diberikan pada Gambar 3. Pada studi ini ingin didapatkan efektivitas *breakwater* pada kondisi ekstrem, maka dari itu model disimulasikan pada kondisi angin dominan dengan tinggi dan periode gelombang yang sesuai kasus ekstrem di lapangan.



Gambar 3. Layout prototipe yang akan dimodelkan dengan gelombang datang dari Barat dan Barat Laut.



Gambar 4. Ilustrasi (a) konfigurasi 1: *Breakwater* terapung pada 1 sisi dan (b) konfigurasi 2: *breakwater* terapung pada 2 sisi. Keterangan (1) *Breakwater* terapung, (2) Dermaga, (3) Area berlabuh, (4) Darat (Evaluasi dalam m).

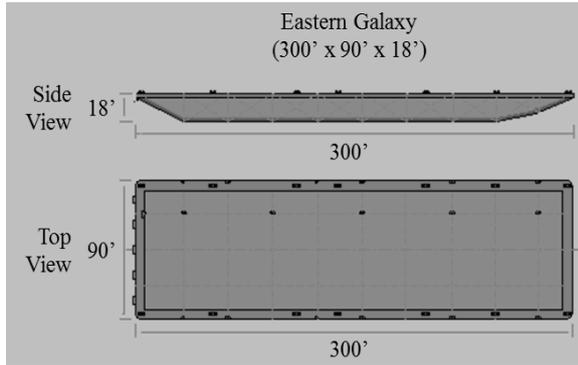
Penelitian ini, model pelabuhan dan letak *breakwater* terapung dibuat dengan dua konfigurasi. Ilustrasi konfigurasi 1 dan 2 diberikan pada Gambar 4a dan 4b. Pada konfigurasi 1, *breakwater* terapung hanya terdapat di 1 sisi dermaga (lihat kotak biru pada Gambar 4a). Sedangkan pada konfigurasi 2, *breakwater* terapung terdapat di 2 sisi (lihat kotak biru Gambar 4b). Gambar 5 menunjukkan visualisasi *breakwater* yang dimaksud.



Gambar 5. Visualisasi *breakwater* yang dimaksud. *Breakwater* terapung berada pada bagian tengah dengan *frame* tiang pancang yang membatasinya agar tetap berada di tempat.

## 2.2. Desain Prototipe *Breakwater* Terapung

Prototipe *breakwater* terapung yang akan dimodelkan mengikuti standar ukuran ponton jenis *Eastern Galaxy* dengan dimensi diberikan pada Gambar 6. Model *breakwater* terapung terbuat dari plat baja berbentuk wadah yang di dalamnya diisi campuran semen (lihat Gambar 7a) sebagai pemberat untuk mengontrol kedalaman (draft) *breakwater* terapung, sesuai dengan skala perhitungan skala berat pada keserupaan berat. Parameter draft ( $S$ ) merupakan parameter penting untuk *breakwater* terapung ini. Dokumentasi *breakwater* terapung yang sedang diuji dapat dilihat pada Gambar 7b.



Gambar 6. *Breakwater* tipe ponton *Eastern Galaxy*.

$$[F_r]_m = [F_r]_p ; \left[ \frac{v}{\sqrt{gL}} \right]_m = \left[ \frac{v}{\sqrt{gL}} \right]_p \dots\dots\dots(1)$$

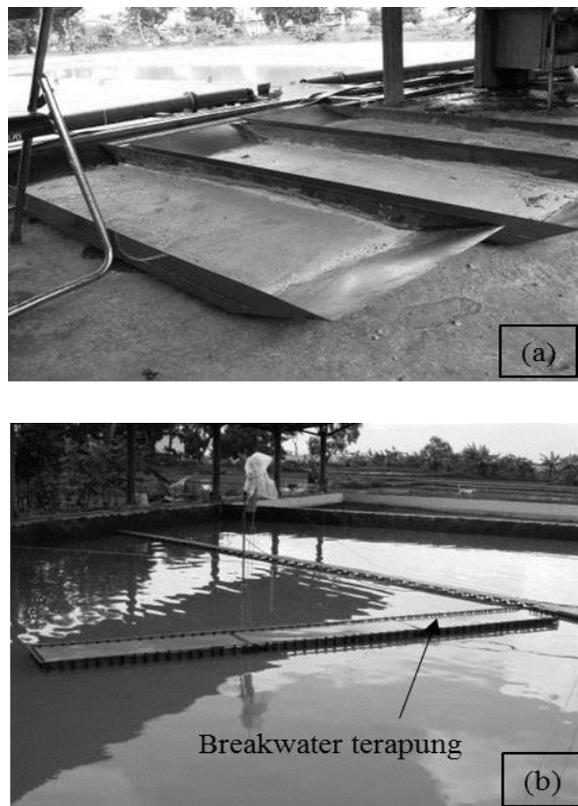
Keterangan:  $F_r$  = bilangan Froude, *Subscript m* = model, *Subscript p* = prototype,  $v$  = kecepatan fluida;  $g$  = percepatan gravitasi, dan  $L$  = karakteristik panjang.

Nisbah skala geometri didefinisikan sebagai  $N_L = L_p/L_m$  dan penentuan skala geometri disesuaikan dengan kemampuan dan kapasitas kolam gelombang yang dibandingkan dengan ukuran prototipe. Setelah mempertimbangkan luas daerah yang ingin dimodelkan dan disesuaikan dengan kemampuan kolam gelombang, maka penskalaan yang digunakan yaitu 1:50. Hughes (1993) menyatakan untuk skala model gelombang pendek untuk penetrasi gelombang pada pelabuhan adalah antara 1:50 sampai dengan 1:150.

Menggunakan keserupaan *Froude*, diturunkan jenis penskalaan lainnya yaitu penskalaan waktu dan berat. Skala skala tersebut dapat ditulis sebagai skala panjang =  $N_L = 50$ ; skala waktu =  $\sqrt{N_L} = 7,07$  dan skala berat =  $N_L^3 = 50^3 = 125.000$ . Berdasarkan penskalaan ini, dimensi dan parameter model lainnya dapat dilihat pada Tabel 1 dengan kondisi batimetri pada model sesuai dengan kondisi prototipe di lapangan, namun berbeda ukuran (skala 1:50).

Tabel 1. Dimensi model.

Parameter	Prototipe	Model
Panjang	91,44 m	182,88 cm
<i>Breadth</i>	27,43 m	54,86 cm
Tinggi	5,48 m	10,96 cm
<i>Draft (S)</i>	2,89 m	5,78 cm
Berat ( <i>W</i> )	8.500.000 kg	68 kg



Gambar 7. Rangka model *breakwater* terapung dan posisi *breakwater* terapung saat simulasi.

### 2.3. Penskalaan dan Analisa Dimensi

#### 2.3.1 Penskalaan

Penskalaan model menggunakan prinsip keserupaan *Froude*, dimana skala dan penentuan keserupaan model mengikuti keserupaan *Froude* yang didefinisikan seperti pada Persamaan 1 (Ajiwibowo, 2016).

Skenario percobaan untuk berbagai kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Skenario percobaan berdasarkan parameter keadaan lingkungan pada percobaan dengan gelombang datang dari arah Barat (d = detik).

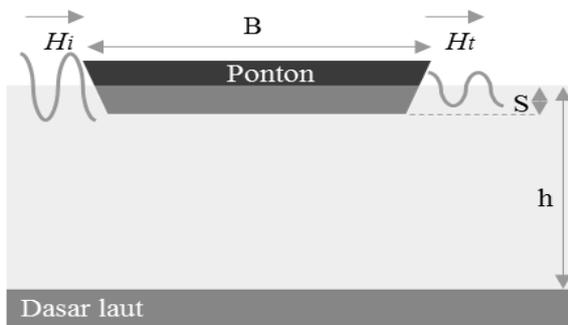
Parameter	Prototipe		Model	
Tinggi Gelombang ( $H_i$ )	1,5	m	3	cm
	2,6	m	5,2	cm
	4	m	8	cm
Periode Gelombang ( $T$ )	20,5	d	2,9	d
	14,8	d	2,1	d
	8,5	d	1,2	d

Tabel 3. Skenario percobaan berdasarkan parameter keadaan lingkungan pada percobaan dengan gelombang datang dari arah Barat Laut (d = detik).

Parameter	Prototipe		Model	
Tinggi Gelombang ( $H_i$ )	1,5	m	3	cm
	2,6	m	5,2	cm
	4	m	8	cm
Periode Gelombang ( $T$ )	29,7	d	4,2	d
	17,0	d	2,4	d
	8,5	d	1,2	d

**2.3.2 Analisa Dimensi**

Analisa dimensi dilakukan untuk mendapatkan parameter tak berdimensi yang akan dikontrol dan berpengaruh pada hasil pada eksperimen ini. Gambar 8 menunjukkan sketsa definisi dari prototipe dan model



Gambar 8. Sketsa definisi.

Parameter yang berpengaruh dalam percobaan ini dalam metoda *Buckingham Pi* adalah:

$$Pi = f(H_i, H_T, g, h, S, B, T, \theta) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:  $H_i, H_T$  adalah tinggi gelombang datang dan transmisi,  $g$  gravitasi,  $h$  adalah kedalaman perairan,  $S$  draft ponton,  $B$  lebar dari ponton dalam arah gelombang datang,  $T$  adalah perioda gelombang datang dan  $\theta$  adalah sudut gelombang datang. Menggunakan metoda *Buckingham  $\pi$* , bilangan tak berdimensi didapat sebagai berikut:

$$Pi = f\left(\frac{H_T}{H_i}, \frac{S}{H_i}, \frac{B}{H_i}, \frac{h}{H_i}, \frac{H_i}{gT^2}, \theta\right) \dots\dots\dots(3)$$

Parameter kedalaman perairan  $h/H_i$  dan kecuraman gelombang datang  $H_i/gT^2$  dapat dikombinasikan menjadi parameter bilangan gelombang  $kh$  dimana:

$$k = \frac{2\pi}{L} \dots\dots\dots(4)$$

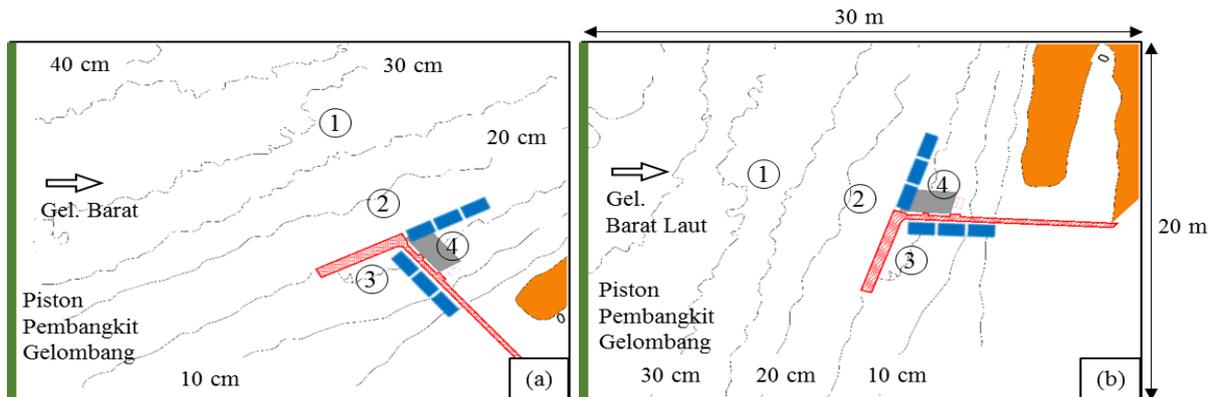
dan sudut gelombang datang  $\theta$  tidak akan dirubah dalam pemodelan fisik ini sehingga komponen sudut ini dapat dihilangkan. Koefisien Transmisi  $K_T$ , dengan merubah bentuk persamaan 3, dapat dituliskan kembali sebagai:

$$\frac{H_T}{H_i} = K_T = f\left(\frac{S}{H_i}, \frac{B}{H_i}, kh\right) \dots\dots\dots(5)$$

**2.4. Pemodelan**

**2.4.1. Laboratorium Pemodelan Fisik 3-D**

Pemodelan fisik 3-D dilakukan di Balai Pantai, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Rencana untuk konfigurasi prototipe *breakwater* terapung adalah dengan bentuk konfigurasi 1 dan konfigurasi 2, seperti



Gambar 9. Ilustrasi domain pemodelan fisik 3-D untuk gelombang datang dari arah (a) Barat dan (b) Barat Laut, 1–4 menandakan lokasi *wave gauge* dan garis hijau adalah pembangkit gelombang tipe piston.

seperti yang diberikan pada Gambar 4.

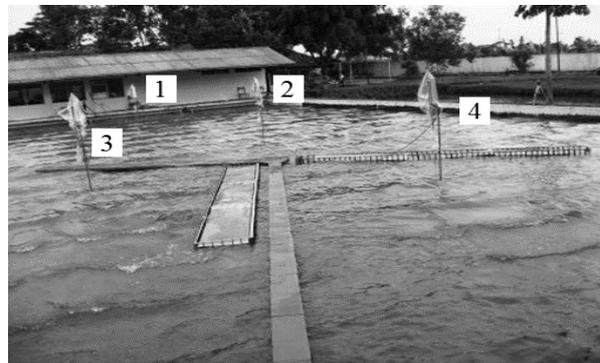
Gambar 9 menunjukkan sketsa *set-up* kolam gelombang dimana kolam gelombang berukuran 30 m x 20 m dengan kedalaman maksimal 1m. Pembangkit gelombang tipe piston terletak pada sisi kiri pada Gambar 9 dengan ditandai garis hijau. Posisi *wave gauge* atau pencatat/perekam tinggi gelombang tipe *resistance wave gauge* diletakkan pada posisi yang ditandai dengan lingkaran 1-4 seperti terlihat pada Gambar 9a dan 9b.

#### 2.4.2. Pengaturan Model

Model *breakwater* terapung diletakkan di dalam kolam gelombang, seperti yang terlihat pada Gambar 10. Terdapat 4 unit *wave gauge* diletakkan di dalam kolam gelombang, yang kemudian diberi nama *wave gauge* 1 hingga 4. *Wave gauge* yang digunakan untuk menghitung koefisien transmisi gelombang  $K_T$  adalah *wave gauge* 2 (untuk gelombang datang) dan *wave gauge* 4 (untuk gelombang transmisi). Alasan pemilihan *wave gauge* 4 (bukan *wave gauge* 3) sebagai gelombang transmisi yaitu karena daerah yang ingin diproteksi yaitu daerah yang terdapat pada lokasi *wave gauge* 4 (bukan lokasi pada *wave gauge* 3). Pada Gambar 10, terlihat model diletakkan di antara *wave gauge* 2 dan *wave gauge* 4.

Terdapat 2 (dua) arah gelombang dominan dan 2 konfigurasi peletakan

*breakwater* terapung, maka disusun skenario: Skenario 2 arah gelombang datang: dari arah Barat (Gambar 9a), dari arah Barat Laut (Gambar 9b). Skenario 2 macam konfigurasi *breakwater*: Konfigurasi 1, yaitu konfigurasi dengan *breakwater* terapung pada 1 sisi pelabuhan (Gambar 4a). Konfigurasi 2, yaitu konfigurasi dengan *breakwater* terapung pada 2 sisi pelabuhan (Gambar 4b).



Gambar 10. Tata letak model di kolam gelombang dengan penomoran *wave gauge*.

### 2.5. Analisa Tinggi, Periode, dan Transmisi Gelombang

#### 2.5.1. Memperoleh Tinggi ( $H$ ) dan Periode Gelombang ( $T$ )

Data tinggi gelombang ( $H$ ) dari *wave gauge* 2 adalah tinggi gelombang datang  $H_i$ , sedangkan data *wave gauge* 4 digunakan untuk gelombang transmisi  $H_T$ . Data mentah

diperoleh dalam bentuk voltase, dan dikonversi menjadi runtu waktu dari elevasi muka air. Berikut prosedur untuk memperoleh data tinggi dan periode gelombang: Mengolah data dari *wave gauge*, dan mengkonversinya ke dalam runtu waktu elevasi muka air, melakukan *zero mean* data, mengamati runtu waktu elevasi muka air untuk menentukan rentang waktu yang terbaik, dimana belum ada pengaruh dari gelombang refleksi, *Up-crossing* data runtu waktu elevasi muka air untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang, diperoleh rata-rata tinggi gelombang datang  $H_i$  dan periode gelombang  $T_i$  untuk rentang waktu seperti yang telah ditentukan pada langkah 3, lakukan prosedur yang sama untuk memperoleh tinggi  $H_T$  dan periode gelombang transmisi  $T_T$ .

**2.5.2. Memperoleh Koefisien Transmisi**

Koefisien transmisi adalah nisbah antara tinggi gelombang transmisi  $H_T$  yang berasal dari bacaan *wave gauge* 4 dan tinggi gelombang datang  $H_i$  yang berasal dari bacaan *wave gauge* 2. Gelombang yang digunakan dalam eksperimen ini adalah gelombang monokromatik, maka tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang rata-rata seperti tertulis dalam persamaan.

$$K_T = \frac{\overline{H_T}}{\overline{H_i}} \dots\dots\dots(6)$$

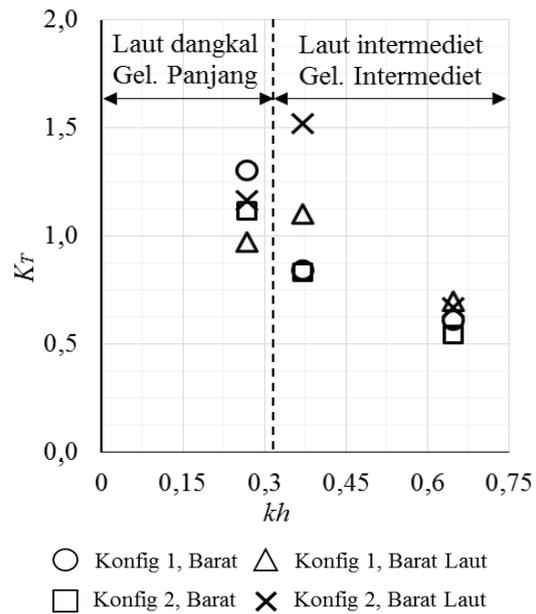
Keterangan:  $\overline{H_i}$  dan  $\overline{H_T}$  adalah rata-rata dari tinggi gelombang pada *wave gauge* 2 dan 4.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Output**

Mengevaluasi konfigurasi yang dipilih, koefisien transmisi yang dihasilkan pada seluruh konfigurasi dengan berbagai arah gelombang dapat dilihat pada Gambar 11. Koefisien transmisi  $K_T$  dinyatakan dalam fungsi  $kh$ . Nilai  $kh < 0,15$  adalah kondisi

lautan dangkal, dan  $kh > 0,5$  adalah kondisi perairan dalam.



Gambar 11. Koefisien Transmisi pada seluruh konfigurasi dan arah gelombang datang.

Terdapat beberapa nilai  $K_T > 1,0$ , pada kondisi  $0,25 < kh < 0,4$ . Pada kondisi ini terjadi gelombang berdiri pada kolam pelabuhan yang merupakan interaksi antara gelombang datang dan transmisi, sehingga tinggi gelombang pada kolam pelabuhan menjadi lebih tinggi dari gelombang datang. Hal ini terjadi pada kondisi lautan menengah. Sedangkan pada kondisi  $kh > 0,5$ , nilai  $K_T$  seperti yang diharapkan yakni dengan kisaran 0,6.

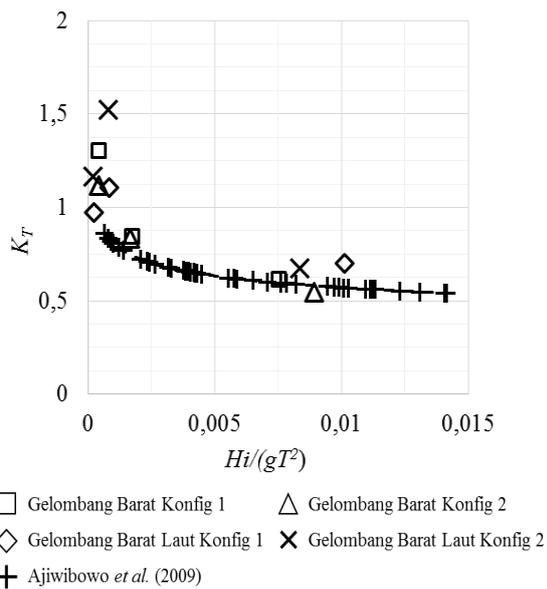
**3.2. Perbandingan dengan Eksperimen Sejenis**

Hasil eksperimen ini dibandingkan dengan hasil pemodelan fisik 2 dimensi yang dilakukan oleh Ajiwibowo *et al.* (2009), Ajiwibowo *et al.* (2010), dan Yuanita *et al.* (2010) dimana model ponton diuji pada saluran gelombang (model fisik 2D). Pada pemodelan 2D ini kondisi benar-benar dikendalikan dimana tidak ada gelombang lain selain gelombang transmisi yang masuk

ke dalam kolam pelabuhan. Gambar 12 menunjukkan ponton yang diuji dalam saluran gelombang.



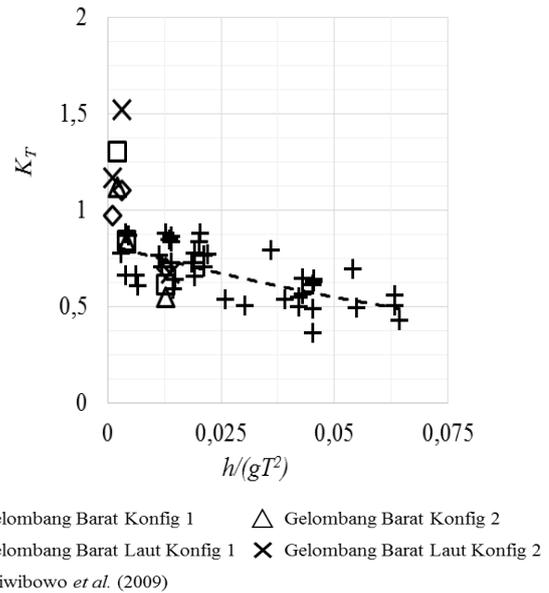
Gambar 12. Pemecah gelombang terapung yang diuji dalam saluran gelombang (Ajiwibowo *et al.*, 2009).



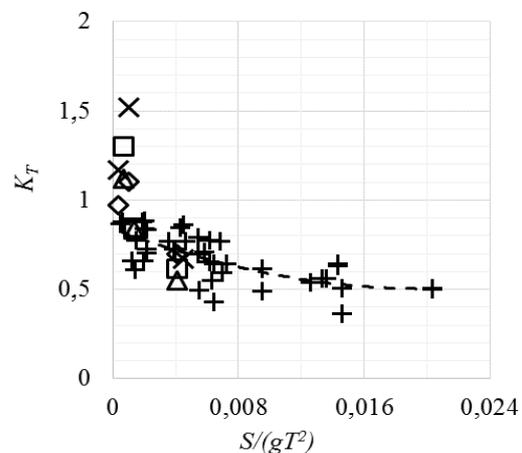
Gambar 13. Hubungan  $K_T$  dengan kecuraman gelombang.

Gambar 13, 14, 15, dan 16 menunjukkan hubungan antara  $K_T$  dengan kecuraman gelombang  $H_i/(gT^2)$ , draft relatif  $S/H_i$ , kedalaman relatif  $h/H_i$ , lebar *breakwater* terapung relatif  $B/H_i$  antara eksperimen 3D di kolam gelombang (studi ini) dengan eksperimen 2D di saluran gelombang yang dilakukan oleh Ajiwibowo

*et al.* (2009), Ajiwibowo *et al.* (2010), dan Yuanita *et al.* (2010).



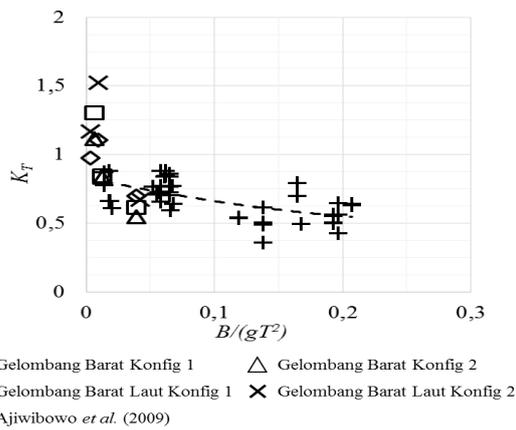
Gambar 14. Hubungan  $K_T$  dengan kedalaman perairan relatif.



Gambar 15. Hubungan  $K_T$  dengan draft *breakwater* relatif.

Gambar 13 – 16 di atas, terlihat bahwa pada eksperimen 3D dapat menghasilkan fenomena atenuasi tinggi gelombang yang diakibatkan oleh gelombang

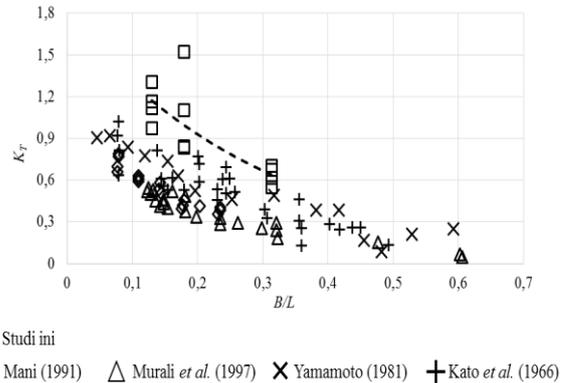
berdiri yang terbentuk pada kolam pelabuhan, yakni pada kecuraman gelombang yang sangat kecil yakni  $H_i/(gT^2) < 0,001$ , pada kedalaman relatif  $h/(gT^2) < 0,005$ , pada draft relatif  $S/(gT^2) < 0,002$ , dan pada lebar mercu *breakwater*  $B/(gT^2) < 0,025$ . Sedangkan pada eksperimen 2D oleh Ajiwibowo *et al.* (2009), Ajiwibowo *et al.* (2010) dan Yuanita *et al.* (2010), tidak didapatkan  $K_T > 1$ , dikarenakan eksperimen 2D tidak mengakomodasi efek 3D yang merupakan keadaan realistis. Hal ini harus dijadikan perhatian pada perencanaan *breakwater* tipe apung ini. Ratio lebar *breakwater* terapung  $B$  terhadap  $(gT^2)$  agar dapat bekerja efektif adalah antara 0,04 sampai dengan 0,2.



Gambar 16. Hubungan  $K_T$  dengan lebar mercu relatif.

Gambar 17 memperlihatkan perbandingan studi ini dengan studi terdahulu tentang *breakwater* terapung oleh Kato *et al.* (1966), Mani (1991) dan Murali *et al.* (1997). Mani (1991) melakukan eksperimen 2D pada *breakwater* terapung tipe *Y-frame*, sedangkan Murali *et al.* (1997) melakukan eksperimen pada *breakwater* apung tipe *cage* (kurungan) yang di-*mooring*-kan ke dasar laut. Menurut Mani (1991) dan Murali *et al.* (1997) agar peredaman gelombang maksimal maka rasio antara lebar mercu dan panjang gelombang adalah di sekitar 0,14 – 0,18. Sedangkan Kato *et al.* (1966) melakukan eksperimen

*break-water* tipe ponton tanpa prategang *mooring* didapat bahwa agar peredaman gelombang maksimal, maka rasio lebar ponton dan panjang gelombang adalah 0,28. Yamamoto (1981) melakukan eksperimen dengan ponton yang di-*mooring*-kan ke dasar laut menghasilkan kesimpulan yang identikal dengan Kato *et al.* (1966).



Gambar 17. Perbandingan hubungan  $K_T$  dengan lebar mercu *breakwater* apung pada hasil eksperimen 3D terhadap eksperimen 2D.

Eksperimen penulis (lihat Gambar 17) memperlihatkan bahwa eksperimen 3D menghasilkan koefisien transmisi yang lebih tinggi daripada eksperimen 2D. Efek 3D terlihat pada hasil eksperimen ini. Dari Gambar 17 dapat dilihat bahwa untuk keadaan realistis lapangan untuk di Teluk Bintuni, agar efek peredaman gelombang menjadi maksimal, maka ratio lebar mercu *breakwater* terhadap panjang gelombang ( $B/L$ ) harus didesain  $> 0,3$ . Studi yang dilakukan oleh Kato *et al.* (1996) menunjukkan hasil serupa.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan Gambar 11, dapat dilihat bahwa *breakwater* terapung tidak efektif untuk gelombang panjang, namun efektif untuk gelombang menengah dan pendek. Semakin kecil periode gelombang, maka performa *breakwater* terapung ini semakin

baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien transmisi  $K_T$  yang semakin kecil seiring dengan nilai periode gelombang yang semakin kecil.

Tidak terlihat perubahan yang signifikan antara performa *breakwater* pada konfigurasi 1 dan performa *breakwater* pada konfigurasi konfigurasi 2 dan mempertimbangkan faktor biaya, maka penambahan *breakwater* pada posisi konfigurasi 2 tidak disarankan karena hanya akan membuat biaya menjadi berlipat dengan fungsi *breakwater* yang hampir sama.

Selain itu, semua percobaan pada percobaan dengan periode gelombang pendek, nilai koefisien transmisi  $K_T$  berkisar dari 0,5 hingga 0,7 atau dengan kata lain dapat dikatakan bahwa *breakwater* tipe apung ini dapat meredam energi gelombang sebesar 30 hingga 50%, tidak lebih dari itu.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *British Petroleum* dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia yang telah mendukung penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ajiwibowo, H. 2016. KL3202 metode eksperimen laboratorium. Penerbit ITB. Bandung, Indonesia. 111hlm.

Ajiwibowo, H. and N. Yuanita. 2009. Transmission coefficient on pontoon for damping the short waves. *In: P.F. Marzuki et al. (eds.). International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries*, Bandung, November, 2009. 105–110pp.

Ajiwibowo, H., N. Yuanita, and R. Zamzami. 2010. Physical modeling to measure the efficiency of Ponton Breakwaters. *In: J.S. Chung et al. (eds.). Proceeding of the twentieth 2010, International Offshore (Ocean) and*

*Polar Engineering Conference*, Beijing, June 2010. 995–1002pp.

Hughes, S.A. 1993. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering. World Scientific Publishing Co. Pte, Ltd. Singapore, Singapore. 73p.

Kato, J., S. Hagino, and Y. Uekita. 1966. Damping effect of floating *breakwater* to which anti-rolling system is applied. *In: ASCE. Proceedings of 10<sup>th</sup> coastal engineering conference*, Tokyo, September 1966. 1068–1078pp.

Mani, J.S. 1991. Design of y-frame floating breakwater. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(2):105-119. Doi:10.1061/(ASCE)0733-950X(1991)117:2(105).

Murali, K. and J.S. Mani. 1997. Performance of cage floating breakwater. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 123(4):172-179. Doi:10.1061/(ASCE)0733-950X(1997).

Rositasari, R. dan Lestari. 2013. Evaluasi lingkungan perairan pesisir Semarang. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1):112-121. Doi:10.28930/jitkt.v5i1.7756.

Yamamoto, K. 1981. Moored floating breakwater response to regular and irregular waves. *Applied Ocean Research*, 3(1):27-36. Doi:10.1016/0141-1187(81)90082-1.

Yuanita, N. and H. Ajiwibowo. 2009. Physical modeling of pontoon floating breakwater for long waves. *In: P.F. Marzuki et al. (eds). International conference on sustainable infrastructure and built environment in developing countries*, Bandung, Indonesia, November 2009. 118–123pp.

*Diterima* : 12 Juli 2017  
*Direview* : 02 Agustus 2017  
*Disetujui* : 23 Maret 2018