

Pemodelan Fisik 2-D untuk Mengukur Tingkat Efektivitas Perforated Skirt Breakwater pada Kategori Gelombang Panjang

Andojo Wurjanto

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
E-mail: wurjanto@bdg.centrin.net.id

Harman Ajiwibowo

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
E-mail: ajiwibowoh@yahoo.com

Rahmat Zamzami

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
E-mail: rzamzami@yahoo.com

Abstrak

Efektifitas pemecah gelombang dapat diukur dengan mengukur koefisien transmisi (K_T). Semakin kecil koefisien transmisi maka semakin efektif pemecah gelombang ini. Pengujian model fisik dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien transmisi dari Perforated Skirt Breakwater (PSB). Model PSB diuji dalam saluran gelombang 2-D di Laboratorium Gelombang Teknik Kelautan FTSL ITB, untuk mengetahui keefektifannya terhadap kategori gelombang panjang (periode prototipe, $T_p = 7$ detik). Penskalaan untuk model PSB menggunakan prinsip Keserupaan Froude dimana bilangan Froude model setara dengan bilangan Froude prototipe ($Fr_m = Fr_p$). Saluran gelombang dilengkapi dengan 5 sensor gelombang tipe tahanan listrik dan 8 saluran DAS (Data Acquisition System). Data tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) diamati secara manual melalui pengamatan visual dan diperoleh melalui rekaman sensor gelombang (yang selanjutnya diproses menggunakan metode "zero mean up-crossing"). Tinggi gelombang datang di depan PSB (H_i) dan tinggi gelombang transmisi di belakang PSB (H_t) diukur dan diproses untuk mendapatkan koefisien transmisi (K_T). Selanjutnya, hubungan antara K_T dan bilangan tak-berdimensi, kedalaman sirip / tinggi gelombang datang (S/H_i) dianalisis dan nilai koefisien transmisi (K_T) untuk berbagai kondisi lingkungan diperoleh.

Kata-kata Kunci: Gelombang panjang, perforated skirt breakwater, hubungan bilangan tak-berdimensi, koefisien transmisi.

Abstract

The effectiveness of a breakwater can be measured by quantifying the transmission coefficient (K_T). The smaller the coefficient, more effective the performance of the breakwater. A physical modeling on the proposed breakwater was conducted to identify the coefficient of Perforated Skirt Breakwater (PSB). The PSB model was tested in 2-D wave flume at Ocean Wave Research Laboratory FTSL ITB, to obtain the effectiveness of PSB for long-period waves (prototype periods, $T_p = 7$ second). The scaling of PSB models applies the principle of Froude Similarity, where the Froude number in the model equals to the Froude number in prototype ($Fr_m = Fr_p$). The wave flume is equipped with 5 resistance-type wave probes and 8-channels of DAS (Data Acquisition System). Wave heights (H) and wave periods (T) data were observed both manually by visual observation and from wave probes record (processed later with method of "zero mean up-crossing" technique). The incoming wave heights (H_i) and transmitted wave heights (H_t) - before and after PSB, respectively - were measured and processed to obtain the transmission coefficient (K_T). The relationships between K_T and non-dimensional variables (skirt draft / incident wave height, S/H_i) are analyzed and the calculated K_T for varied environmental condition are obtained.

Keywords: Long-period waves, non-dimensional quantity relationship, perforated skirt breakwater, transmission coefficient.

1. Pendahuluan

Fasilitas eksplorasi LNG di Teluk Bintuni memiliki fasilitas pelabuhan yang memungkinkan kapal berlabuh untuk memuat LNG yang berasal dari kilang minyak. Kegiatan berlabuh membutuhkan kondisi gelombang yang tenang, dimana kondisi ini akan dapat dicapai dengan membangun breakwater di depan pelabuhan. Kedalaman air di sekitar pelabuhan tersebut adalah sekitar 6 m - 9 m.

Bila menggunakan *breakwater rubble mound* di perairan dalam tentu akan menghabiskan biaya yang sangat tinggi (tidak ekonomis). Sehingga untuk mengatasi permasalahan biaya ini, desain *breakwater* yang diusulkan adalah *Perforated Skirt Breakwater* (PSB). PSB merupakan *breakwater* yang dimodifikasi. Untuk mengurangi biaya, PSB menggunakan tiang pancang untuk mendukung bagian atas struktur. Bagian atas struktur khusus dirancang untuk menghancurkan energi gelombang air laut dan didesain untuk menciptakan kondisi perairan yang tidak terlalu bergejolak di bagian depan struktur sehingga kapal masih dapat berlabuh. Pada bagian atas struktur, ada beberapa bagian penting yang membedakan PSB dengan *breakwater* jenis lainnya. Bagian-bagian tersebut yaitu tirai, *chamber*, dan portal. Tirai pada PSB dirancang (dapat dinaik-turunkan terpisah dari struktur utama PSB) untuk mempengaruhi besarnya nilai *draft breakwater* S . Ilustrasi dan tirai, *chamber*, portal, dan beberapa parameter PSB dapat dilihat pada **Gambar 2** hingga **Gambar 5**.

Efektivitas dari *breakwater* tergantung dari koefisien transmisi (K_T) yang dipengaruhi oleh beberapa parameter fisik *breakwater* seperti tirai *breakwater* (yang mempengaruhi *draft breakwater* S) dan lebar *chamber* (L_c). Semakin kecil nilai K_T maka fungsi *breakwater* juga semakin baik. Model PSB didesain dan diuji di dalam saluran gelombang 2-D di Laboratorium Gelombang Teknik Kelautan ITB, Bandung. Saluran gelombang berukuran panjang 40 meter, lebar 1,5 meter dan tinggi 1,4 meter. Gelombang dibangkitkan oleh pembangkit gelombang tipe piston yang dapat membangkitkan gelombang hingga tinggi gelombang = 30 cm. Saluran gelombang juga

dilengkapi oleh 5 *wave probe* dan 8-saluran DAS (Data Acquisition System). Investigasi terbatas pada gelombang biasa (*regular waves*).

Sejak diusulkan pertama kalinya oleh Jarlan (1961), *perforated breakwater* telah banyak digunakan untuk mengurangi gaya gelombang yang mengenai bagian depan dari *vertical wall breakwater* (Quinn, 1972). Salah satu karakteristik penting dari *perforated breakwater* adalah energi gelombang akan terpecah ketika mengenai dinding bagian depan yang permeabel dan berpori. Selain itu, gelombang yang datang akan terus melewati perforasi yang ada, hal ini akan mengurangi terjadinya pantulan / refleksi gelombang di depan struktur *breakwater*. *Perforated breakwater* adalah suatu struktur *breakwater* dengan mengambil bentuk *breakwater* jenis *caisson*. Bagian dinding depan yang menghadap ke lautan lepas diberi perforasi dan dinding bagian belakang dibuat agar impermeabel. Kinerja dari jenis pemecah gelombang sangat tergantung pada porositas dinding luar dan lebar relatif *chamber* terhadap panjang gelombang. Parameter lain seperti gelombang tinggi, periode, tingkat keteraturan gelombang (*regularity of waves*), arah gelombang dan kedalaman perairan juga ikut mempengaruhi.

Tekanan ombak pada dinding berlubang (*perforated wall*) lebih sedikit dari dinding yang solid, sebagaimana yang telah ditemukan oleh Bergmann dan Oumeraci (1998). Investigasi penelitian dilakukan oleh Armono dan Hall (2002) untuk gelombang transmisi pada *breakwater* terendam yang terbuat dari terumbu karang buatan / Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs (HSAR). Investigasi mengenai *perforated breakwater* juga dilakukan oleh Ariyaratne (2007), yang sejalan dengan hasil penelitian oleh Kondo (1979), Suh, dkk. (2001) dan Hagiwara (1984).

Sebagai contoh penggunaan *perforated breakwater* yang telah dibangun yaitu Raffles Marina wharf / *breakwater* di pantai barat Singapura, 2002. *Breakwater* ini terbukti dapat melumpuhkan energi gelombang dengan efektif, dimana efek gelombang refleksi dapat dikurangi. *Breakwater* ini menciptakan kondisi perairan yang cukup tenang sehingga kapal-kapal kecil pun dapat berlabuh dengan tenang.



Gambar 1. Contoh aplikasi penggunaan *perforated breakwater* (Raffles Marina Wharf / *Breakwater* Singapura) (Bloxam, M., 2003)

Ada beberapa modifikasi dimana di dalam ruang (*chamber*) diberi tambahan dinding dengan perforasi, tanpa adanya dinding impermeabel di bagian belakang. Dinding tambahan ini akan menyebabkan *perforated breakwater* yang tadinya hanya terdiri dari satu *chamber* menjadi dua hingga tiga *chamber*. *Perforated breakwater* ini selanjutnya akan disebut *Perforated Skirt Breakwater*.

Kehadiran *Perforated Skirt Breakwater* dirasakan sangat bermanfaat dalam dunia Teknik Kelautan. PSB memberikan tambahan alternatif jenis *breakwater*. Adapun berbagai manfaat *Perforated Skirt Breakwater* (PSB) yaitu:

1. PSB bernilai ekonomis untuk perairan dalam.
2. PSB dapat mengurangi efek gelombang refleksi.
3. PSB dapat digunakan sebagai alternatif *breakwater* pada daerah yang kesulitan menemukan material batu sebagai penyusun utama *breakwater*, seperti yang terjadi di Pulau Kalimantan, Indonesia.

2. Bahan, Model, dan Metode

2.1 Bahan

Model terbuat dari bahan kayu kamper dengan luas penampang 5 cm x 5 cm, untuk skirt menggunakan papan berbahan kamper dengan tebal 15 mm.

2.2 Model

PSB adalah *breakwater* yang dimodifikasi. Untuk mengurangi biaya karena pengaruh kedalaman, PSB menggunakan tiang pancang yang dipancang ke dasar perairan untuk mendukung bagian atas struktur. Bagian atas struktur adalah struktur utama dari PSB. Bagian atas struktur khusus dirancang untuk menghancurkan energi gelombang air laut dan didesain untuk menciptakan kondisi perairan yang tidak terlalu bergejolak di bagian depan struktur sehingga kapal masih dapat berlabuh. Pada bagian atas struktur, ada beberapa bagian penting yang membedakan PSB dengan *breakwater* jenis lainnya. Bagian-bagian tersebut yaitu tirai, *chamber*, dan portal. Tirai pada PSB dirancang (dapat dinaik-turunkan terpisah dari struktur utama PSB) untuk mempengaruhi besarnya nilai *draft breakwater* S. *Draft breakwater* yaitu jarak dari permukaan air hingga bagian tirai yang paling bawah (lihat **Gambar 4**). Ilustrasi dari tirai, *chamber*, portal, dan beberapa parameter PSB dapat dilihat pada **Gambar 2** hingga **Gambar 6**.

PSB yaitu jenis *breakwater* yang memiliki beberapa portal filter dengan *skirt* (tirai) yang berlapis (lihat **Gambar 3**) dimana posisi tirai saling zig – zag antar baris portal filter. Bagian penghalang (a) pada portal kedua akan menutupi bagian perforasi (b) pada portal pertama, sehingga konfigurasi posisi tirai pada portal

pertama sama dengan portal ketiga, sedangkan konfigurasi posisi tirai pada portal kedua sama dengan portal keempat.

Dalam pengujian di laboratorium, *draft* dari *breakwater* (S) dapat disesuaikan dengan menurunkan atau menaikkan tirai. Ilustrasi dari penyesuaian *draft breakwater* oleh tirai dapat dilihat pada **Gambar 4**.

2.3 Metode

2.3.1 Penskalaan

Penskalaan dari model *Perforated Skirt Breakwater* models menggunakan prinsip keserupaan Froude, dimana skala dan penentuan keserupaan model mengikuti keserupaan Froude yang didefinisikan sebagai berikut:

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

dimana :

F_r = bilangan Froude

Subscript m = model

Subscript p = prototipe

v = kecepatan fluida

g = percepatan gravitasi

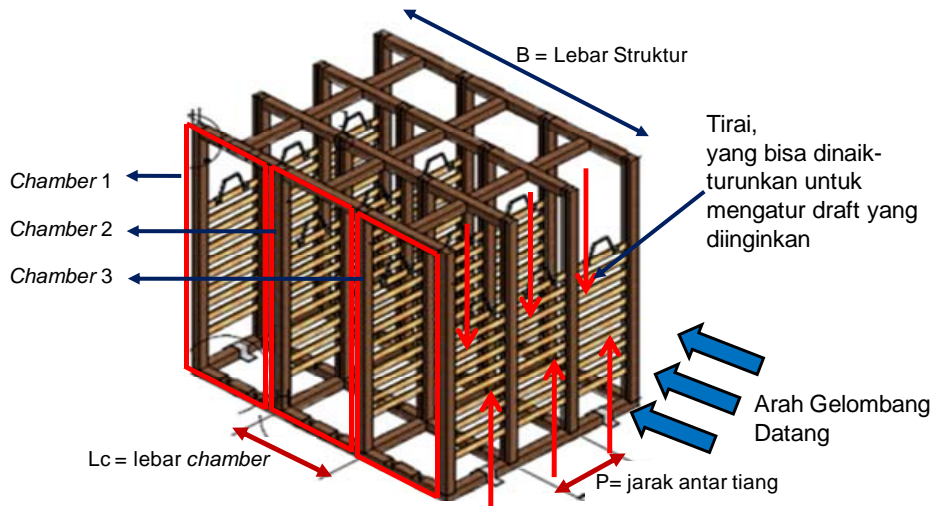
L = karakteristik panjang

Rasio skala geometri didefinisikan sebagai $N_L = L_p/L_m$ dan penentuan skala geometri disesuaikan dengan kemampuan dan kapasitas saluran gelombang yang dibandingkan dengan ukuran prototipe. Kedalaman perairan maksimum yaitu 9 m dan kedalaman maksimum yang dapat dioperasikan secara optimal di dalam saluran gelombang yaitu 75 cm, sehingga skala percobaan yaitu 75 cm : 900 cm atau 1:12. Dengan menggunakan skala ini, jika tinggi gelombang prototipe adalah 2,6 m, maka tinggi gelombang model yaitu $2,6 / 12 = 21,7$ cm. Dengan menggunakan keserupaan Froude, jenis penskalaan lainnya yaitu penskalaan waktu dan penskalaan berat yang dapat ditulis sebagai skala panjang = $N_L = 12$; skala waktu =

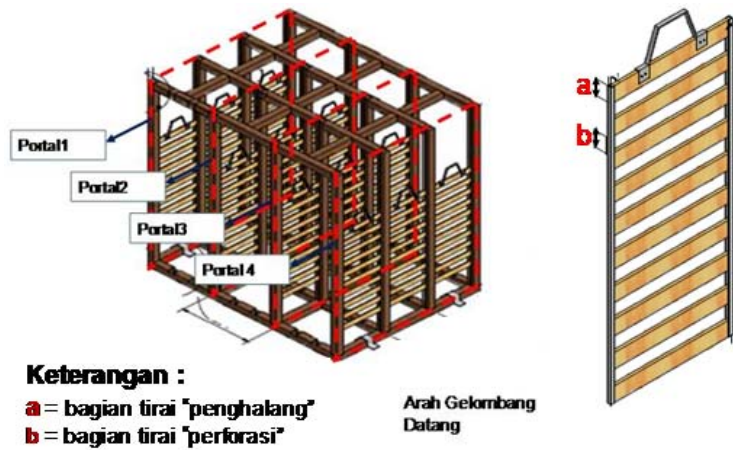
$$\sqrt{N_L} = 3,5 \text{ dan skala berat} = (N_L)^3 = 12^3 = 1728.$$

Berdasarkan penskalaan ini, dimensi dan parameter model lainnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

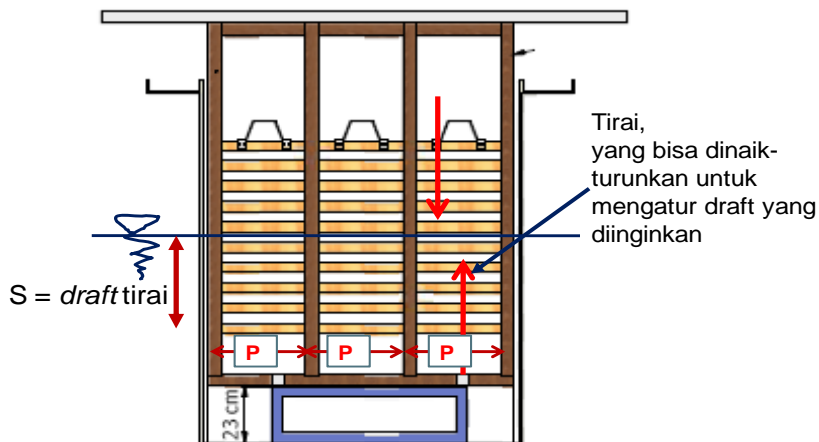
Lebar model terbatas pada lebar saluran gelombang yaitu 120 cm. Oleh karena itu, hanya ada tiga kolom dengan jarak antar tiang (P) pada bagian lebar model (lihat **Gambar 4**). Adapun jarak total lebar model yaitu 116 cm. Berbagai kondisi dan skenario percobaan (**Tabel 1** dan **Tabel 2**) diuji di dalam laboratorium.



Gambar 2. Beberapa parameter penting PSB (Model Tiang Pancang Tangguh : LAB Kelautan ITB)

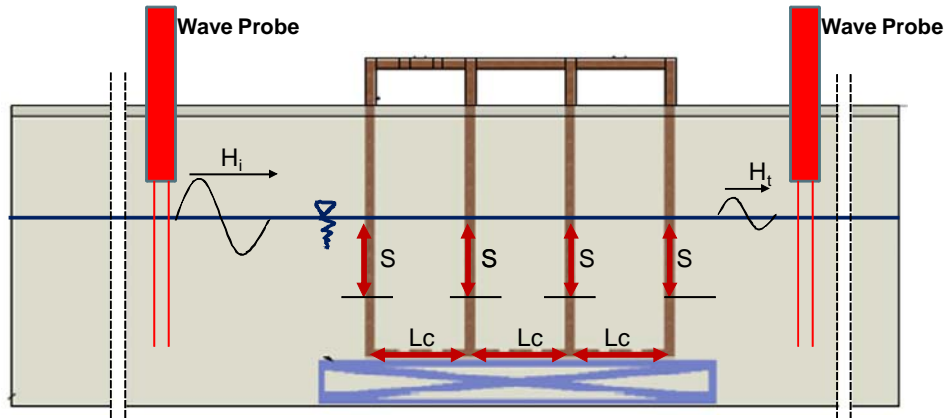


Gambar 3. Definisi parameter portal di PSB (Model Tiang Pancang Tangguh: LAB Kelautan ITB)



Gambar 4. Sketsa ilustrasi pengaturan draft (Tampak depan) (Model Tiang Pancang Tangguh: LAB Kelautan ITB)

Berikut adalah sketsa PSB di dalam saluran gelombang (tampak samping).



Gambar 5. Sketsa posisi model dan *wave probe* di dalam pengujian di dalam saluran gelombang (Tampak samping)

Model PSB yang diuji di Laboratorium Gelombang Teknik Kelautan ITB, dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Model PSB di dalam saluran gelombang di Laboratorium Gelombang Teknik Kelautan ITB

Skenario penelitian terdiri dari 2 bagian utama (berdasarkan jumlah *chamber* N_c), sebagai berikut:

1. Eksperimen dengan jumlah *chamber* (N_c) = 3 *chamber*

Pada skenario ini, semua parameter pada dimensi fisik model PSB diujikan di laboratorium.

2. Eksperimen dengan jumlah *chamber* (N_c) = 2 *chamber*

Pada skenario ini, parameter pada dimensi fisik model PSB dipilih dan hanya terbatas pada kondisi tertentu saja untuk diujikan pada $N_c = 2$ *chamber*. Parameter fisik model PSB tersebut yaitu hanya terbatas pada L_c prototipe = 5 m atau L_c model = 41,7 cm dan hanya menggunakan tirai jenis 2 pada penelitian.

Di dalam percobaan yang dilakukan di Laboratorium Gelombang, ada dua jenis tirai yang diuji:

1. Tirai jenis 1

a = lebar penghalang = 0,5 m pada ukuran prototipe ($a = 4,2$ cm pada ukuran model)

b = lebar perforasi = 0,5 m pada ukuran prototipe ($b = 4,2$ cm pada ukuran model)

2. Tirai jenis 2

a = lebar penghalang = 0,7 m pada ukuran prototipe ($a = 6,0$ cm pada ukuran model)

b = lebar perforasi = 0,3 m pada ukuran prototipe ($b = 2,4$ cm pada ukuran model)

Sedangkan skenario percobaan untuk berbagai kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan skenario percobaan, dimana lebar *chamber* (L_c), tirai, tinggi gelombang datang (H_i), *draft breakwater* (S) yang divariasikan terhadap nilai periode gelombang yang tetap ($T_p = 7$ detik) yang digolongkan sebagai gelombang panjang.

Tabel 1. Dimensi model

Dimensi	Simbol	Prototipe (m)	Model (cm)
Lebar Chamber	Lc	2,0	16,7
		4,0	33,3
		6,0	50,0
Jumlah Chamber	Nc	3 (tidak berdimensi)	3 (tidak berdimensi)
		2 (tidak berdimensi)	2 (tidak berdimensi)
Jarak Antar Tiang	P	5,0	38,7
Tirai Jenis 1	a	0,5	4,2
		0,5	4,2
Tirai Jenis 2	a	0,7	6,0
		b	0,3

Tabel 2. Skenario percobaan berdasarkan parameter keadaan lingkungan

Parameter Eksperimen	Simbol	Prototipe	Model
Kedalaman Perairan	h	9,0 m	75,0 cm
Tinggi Gelombang Datang	H_i	1,5 m	12,5 cm
Periode Gelombang	T	2,0 m	16,7 cm
Draft Breakwater	S	2,6 m	21,7 cm
		7,0 s	2,0 s
		1,0 m	8,3 cm
		2,0 m	16,7 cm
		4,0 m	33,3 cm

2.3.2 Model set-up

Model PSB diletakkan di dalam saluran gelombang 2-D di Laboratorium Gelombang Teknik Kelautan ITB. Terdapat 5 unit *wave probe* diletakkan di dalam saluran gelombang. Model PSB diletakkan di antara *wave probe* 3 dan *wave probe* 4 (lihat **Gambar 7**).

2.3.3 Memperoleh tinggi (H) dan periode gelombang (T)

Data gelombang diambil dari *wave probe* 1, *wave probe* 2, *wave probe* 3, *wave probe* 4, dan *wave probe* 5 (**Gambar 8**). Data dari *wave probe* 1 adalah tinggi gelombang datang (H_i), data *wave probe* 2 dan *wave probe* 3 digunakan untuk menganalisa gelombang refleksi (H_r), sedangkan data *wave probe* 4 dan *wave probe* 5 digunakan untuk gelombang transmisi (H_t). Namun, koefisien refleksi (K_r) tidak dibahas di dalam paper ini. Data tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) diperoleh dengan 2 metode (1.secara manual dengan pengamatan visual, 2.menggunakan software, yang diperoleh dari *wave probe* dan DAS untuk kemudian diproses lebih lanjut dengan metode *zero mean up-crossing*).

Data mentah diperoleh dalam bentuk voltase, dan dengan menggunakan program software kemudian dikonversi ke dalam bentuk *time series* dari elevasi muka air. Berikut prosedur untuk memperoleh data tinggi dan periode gelombang:

1. Mengolah data dari *wave probe*, dan mengkonversinya ke dalam *time series* elevasi muka air.
2. *Zero mean data*.

3. Mengamati *time series* elevasi muka air untuk menentukan rentang waktu yang terbaik, dimana belum ada pengaruh dari gelombang refleksi
4. *Up-crossing* data *time series* elevasi muka air untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang.
5. Diperoleh rata-rata tinggi gelombang datang (H_i) dan periode gelombang (T) untuk rentang waktu seperti yang telah ditentukan pada langkah 3.
6. Lakukan prosedur yang sama untuk memperoleh tinggi (H_t) dan periode (T) gelombang transmisi.

2.3.4 Memperoleh koefisien transmisi (K_T)

Koefisien transmisi (K_T) adalah rasio antara tinggi gelombang transmisi (H_t , yang berasal dari *wave probe* 4- **Gambar 7**) dan tinggi gelombang datang (H_i , yang berasal dari *wave probe* 1- **Gambar 7**) atau dapat dituliskan sebagai:

$$K_T = \frac{H_T}{H_I} \tag{2}$$

3. Analisa Dimensi

Di dalam merencanakan pengujian model dan untuk menyajikan hasil eksperimen, sangat berguna untuk melakukan analisis dimensi terhadap permasalahan eksperimen tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi parameter-parameter penting sehingga dapat mengatur variabel-variabel model yang diuji dengan sesuai.

Berikut produk non-dimensional hasil analisa dimensi:

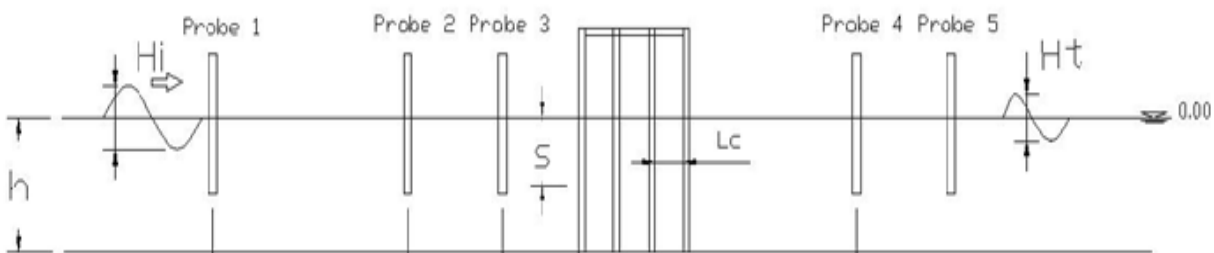
$$K_T = f\left(\frac{H_i}{gT^2}, \frac{h}{gT^2}, \frac{S}{gT^2}, \frac{Lc}{gT^2}, \frac{b}{gT^2}, \frac{P}{gT^2}\right) \tag{3}$$

dimana H_i adalah tinggi gelombang datang, h adalah kedalaman perairan, S adalah *draft breakwater*, Lc adalah lebar *chamber*, b adalah lebar perforasi, dan P adalah jarak antara tiang.

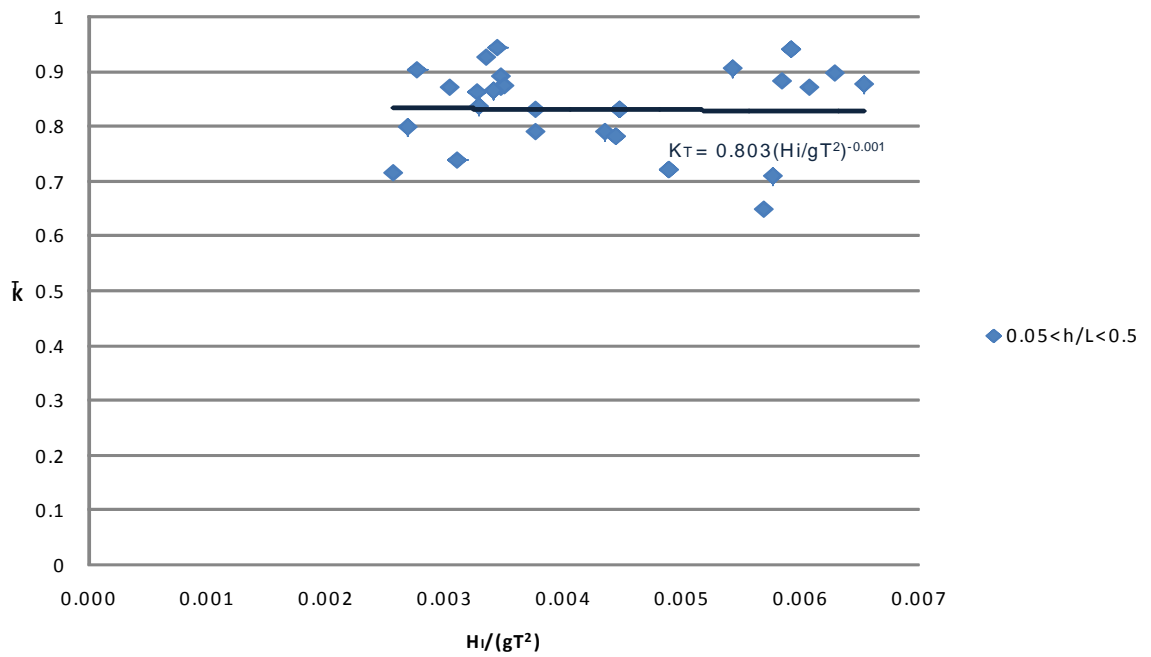
4. Hasil dan Diskusi

4.1 Hubungan non-dimensional

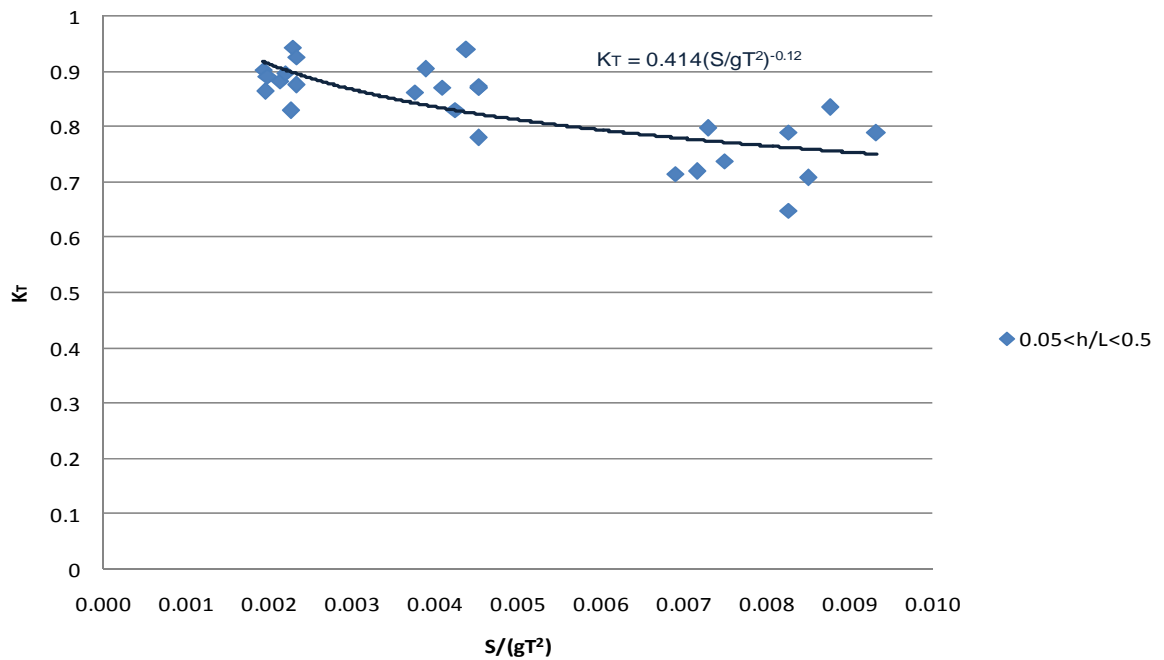
Gambar 8 hingga **13** menunjukkan hubungan non-dimensional untuk tiap – tiap jenis tirai (tirai jenis 1 dan tirai jenis 2).



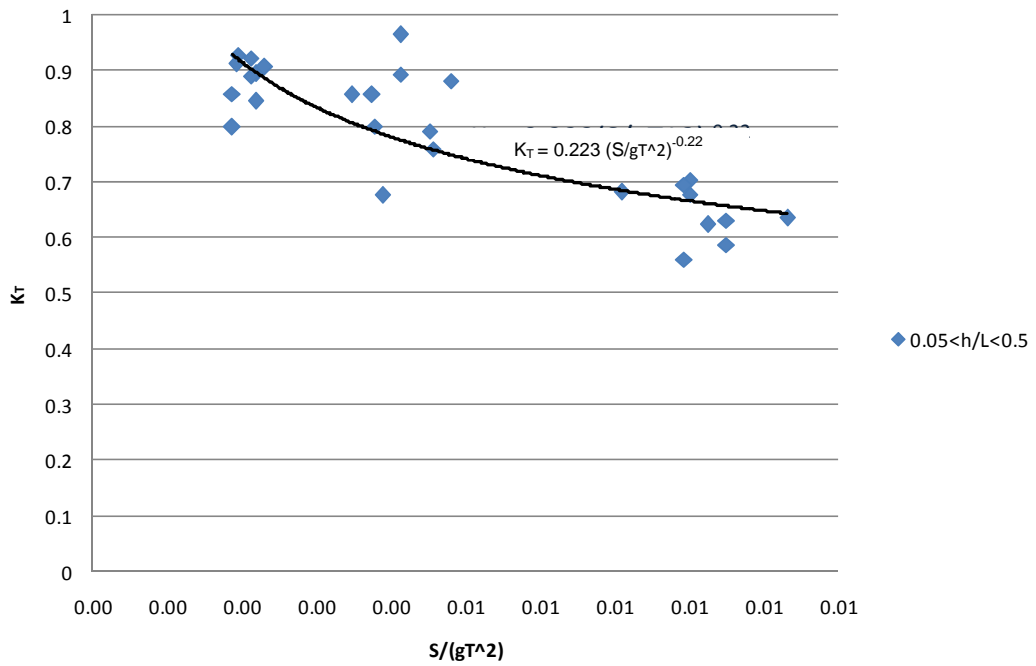
Gambar 7. Sketsa ilustrasi penempatan model PSB di saluran gelombang 2-D



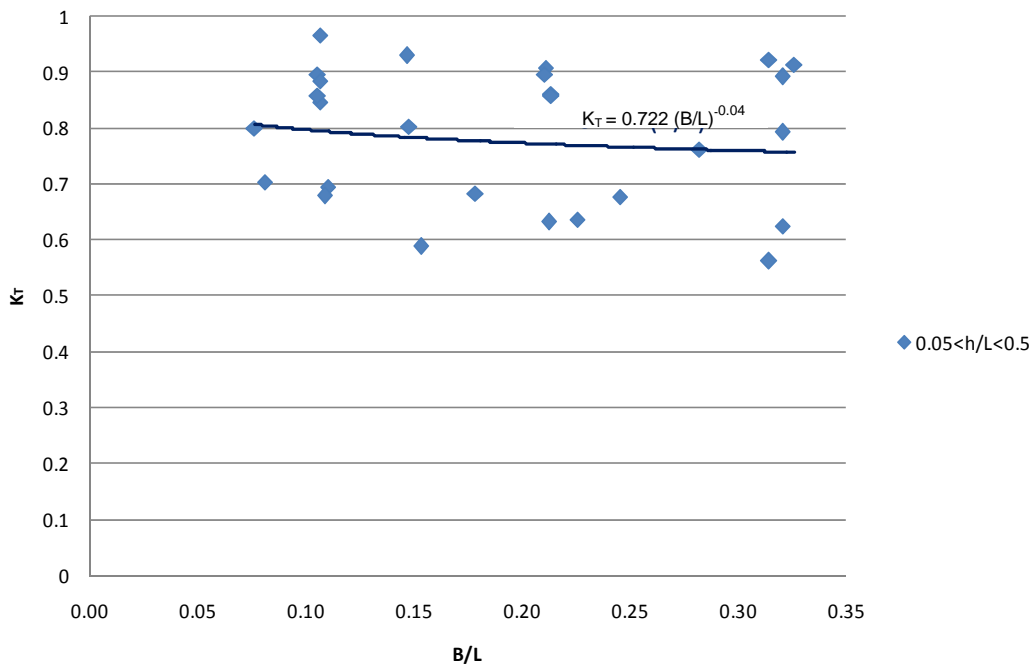
Gambar 8. K_T vs $H_i/(gT^2)$ untuk kriteria kedalaman menengah pada penelitian tirai jenis 1



Gambar 9. K_T vs $S/(gT^2)$ untuk kriteria kedalaman menengah pada penelitian tirai jenis 1



Gambar 12. K_T vs $S/(gT^2)$ untuk kriteria kedalaman menengah pada penelitian tirai jenis 2



Gambar 13. K_T vs B/L untuk kriteria kedalaman menengah pada penelitian tirai jenis 2, dimana B adalah lebar struktur dan L adalah panjang gelombang

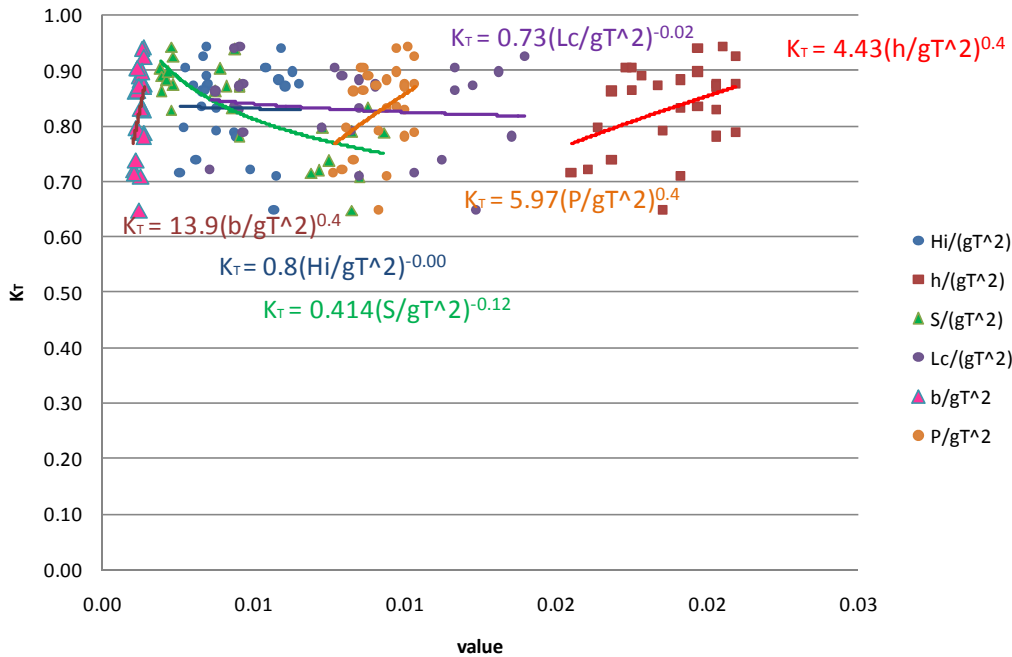
Berdasarkan analisis dimensi untuk PSB, K_T dapat ditulis dalam bentuk **Persamaan (3)**. **Gambar 14** dan **15** menunjukkan hubungan non-dimensional untuk *Perforated Skirt Breakwater*.

4.2 Koefisien transmisi (K_T) vs draft breakwater / tinggi gelombang datang (S/H_i)

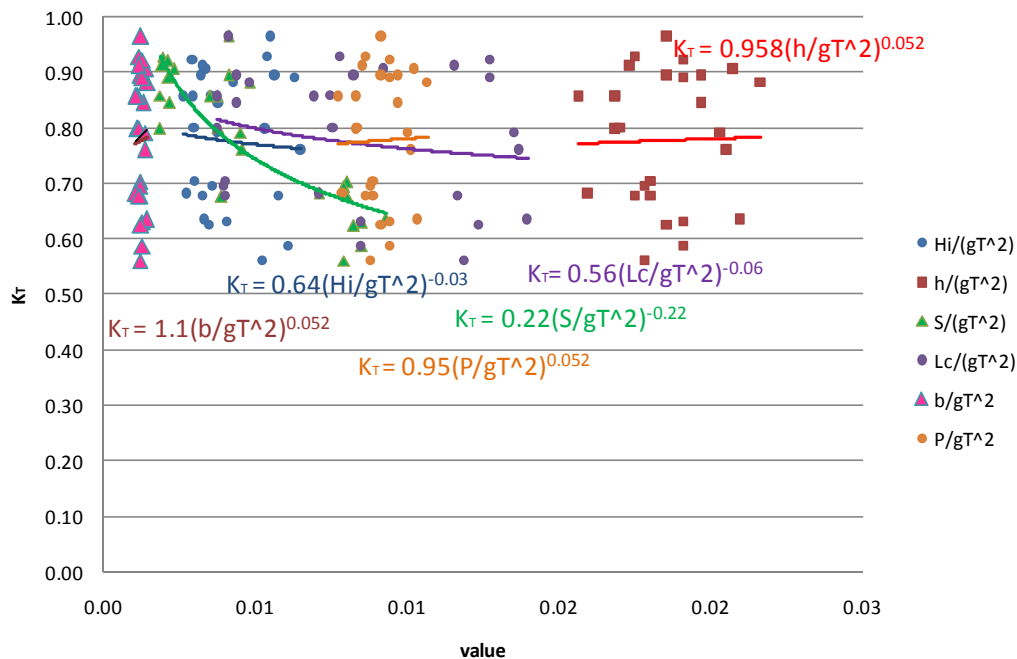
Gambar 16 hingga **Gambar 18** menunjukkan plot K_T terhadap draft breakwater / tinggi gelombang datang

(S/H_i) untuk eksperimen *Perforated Skirt Breakwater*, untuk berbagai skenario eksperimen (**Tabel 1** dan **Tabel 2**).

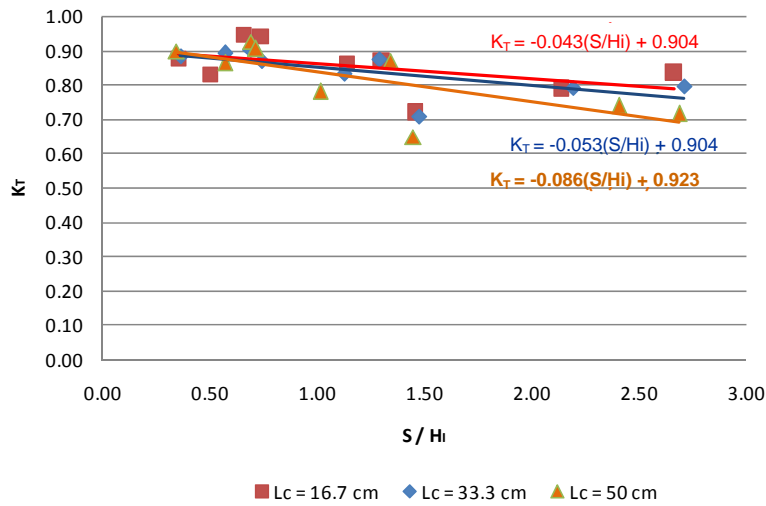
Berdasarkan perbandingan antara **Gambar 16** dan **17**, dapat disimpulkan bahwa tirai jenis 2 lebih efektif dari tirai jenis 1. **Gambar 18** merupakan review untuk semua percobaan (termasuk jumlah chamber $N_c = 3$ dan $N_c = 2$ chamber).



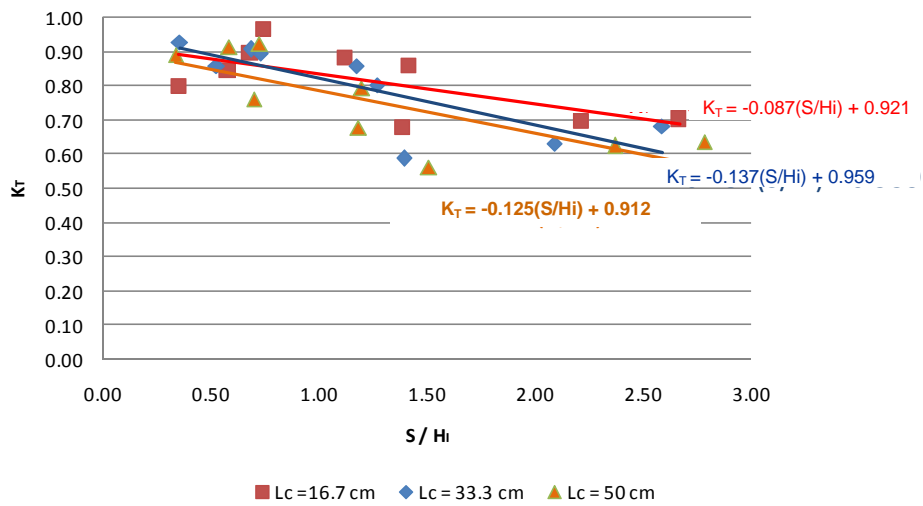
Gambar 14. Hubungan Non-dimensional untuk PSB (tirai jenis 1)



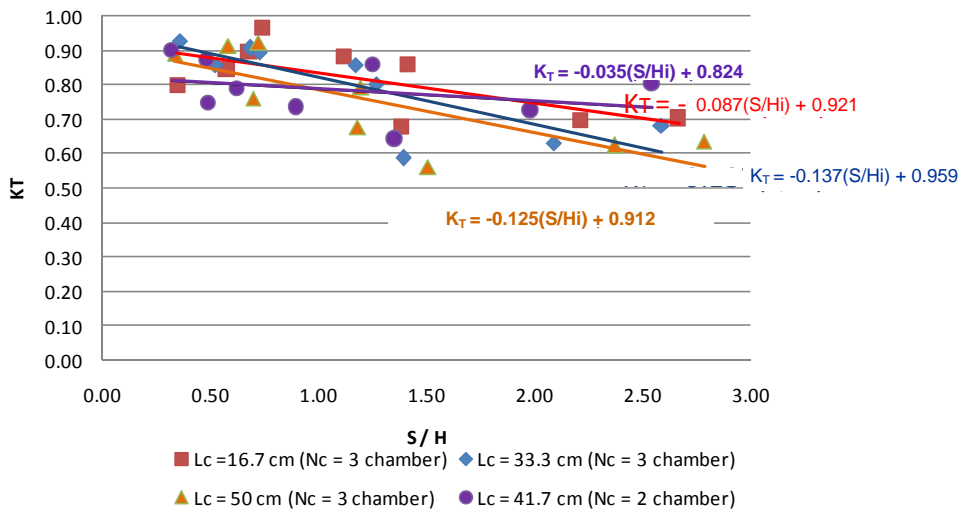
Gambar 15. Hubungan Non-dimensional untuk PSB (tirai jenis 2)



Gambar 16. Koefisien Transmisi (K_T) vs S/H_i untuk PSB tirai jenis 1, $T_p = 7$ s or $T_m = 2,0$ s untuk $N_c = 3$ chamber



Gambar 17. Koefisien Transmisi (K_T) vs S/H_i untuk PSB tirai jenis 2, $T_p = 7$ s or $T_m = 2,0$ s untuk $N_c = 3$ chamber



Gambar 18. Koefisien Transmisi (K_T) vs S/H_i untuk PSB tirai jenis 2, $T_p = 7$ s or $T_m = 2,0$ s untuk $N_c = 3$ chamber dan $N_c = 2$ chamber

Berdasarkan **Gambar 18** dapat disimpulkan bahwa jumlah chamber (N_c) = 3 lebih baik (ditinjau dari nilai K_T) daripada $N_c = 2$ chamber.

5. Perbandingan dengan Penelitian Sejenis

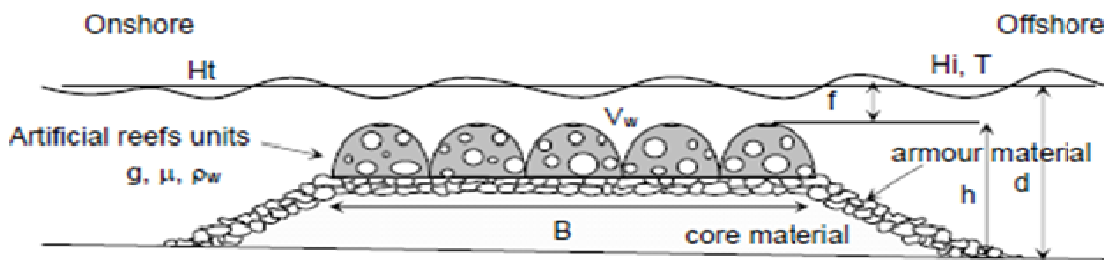
K_T hasil penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sejenis yang telah dilakukan (Armono and Hall 2002; Ariyaratne 2007).

1. Penelitian pada *breakwater* terendam yang terbuat dari terumbu karang buatan yang berongga / *Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs* (HSAR) oleh Armono dan Hall (2002).

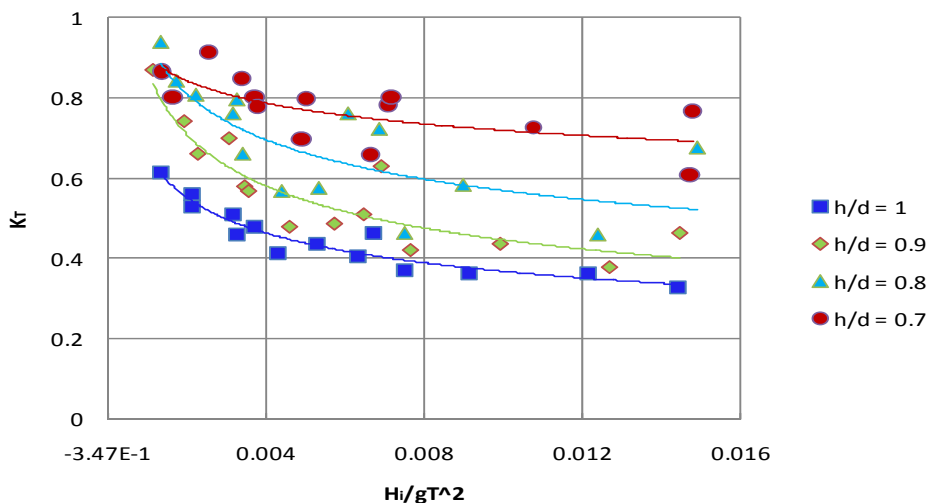
Pengaruh dari kedalaman air, tinggi gelombang datang, periode gelombang dan konfigurasi terumbu karang terhadap gelombang transmisi diselidiki. Ditemukan bahwa pengurangan tinggi gelombang dipengaruhi oleh kecuraman gelombang (*wave steepness*), kedalaman struktur yang terendam, dan geometri karang. Hasil penelitian menunjukkan sekitar 60% dari energi gelombang datang dapat dikurangi.

Konfigurasi penelitian oleh Armono dan Hall dapat dilihat pada **Gambar 19** beserta dengan parameter penelitian, dimana B adalah lebar total dari beberapa terumbu karang, h adalah jarak dari dasar perairan hingga bagian teratas dari terumbu karang, dan d adalah kedalaman perairan. Adapun dalam penelitian tersebut, Armono dan Hall meletakkan terumbu karang buatan berongga di atas struktur solid (seperti yang terlihat pada **Gambar 19**).

Berdasarkan perbandingan data penelitian pada **Gambar 23**, diperoleh informasi informasi bahwa nilai K_T hasil investigasi oleh Armono dan Hall lebih kecil dari K_T pada PSB. Hal ini dikarenakan struktur solid yang digunakan sebagai tempat penempatan HSAR (**Gambar 20**) juga ikut berperan dalam menghancurkan energi gelombang, sedangkan pada struktur PSB tidak terdapat struktur solid pada bagian bawahnya. Ketidakterdapatnya struktur solid pada bagian bawah PSB dimaksudkan untuk mengurangi biaya karena pembuatan struktur masif tentu akan sangat tidak ekonomis bila ditempatkan pada perairan dalam.



Gambar 19. Sketsa konfigurasi penelitian *Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs* (HSAR) oleh Armono dan Hall



Gambar 20. Koefisien transmisi (K_T) vs $H_i/(gT^2)$ untuk model HSAR, oleh Armono dan Hall, 2002 untuk tiap nilai h/d

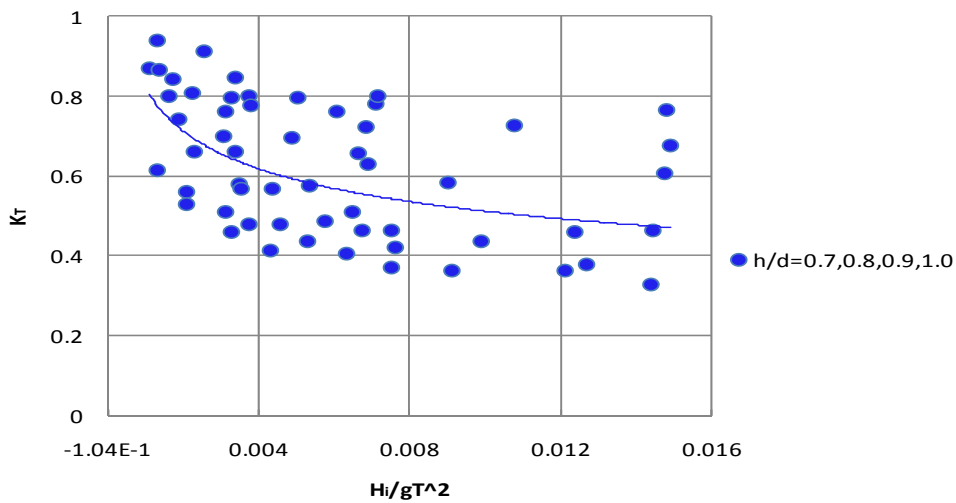
2. Penelitian *perforated breakwater* oleh Ariyaratne (2007).

Ariyaratne menguji *perforated breakwater*, dimana struktur *breakwater* terdiri dari struktur masif dari dasar hingga ke bagian atas *breakwater* dengan bagian perforasi pada bagian atas (lihat **Gambar 23**).

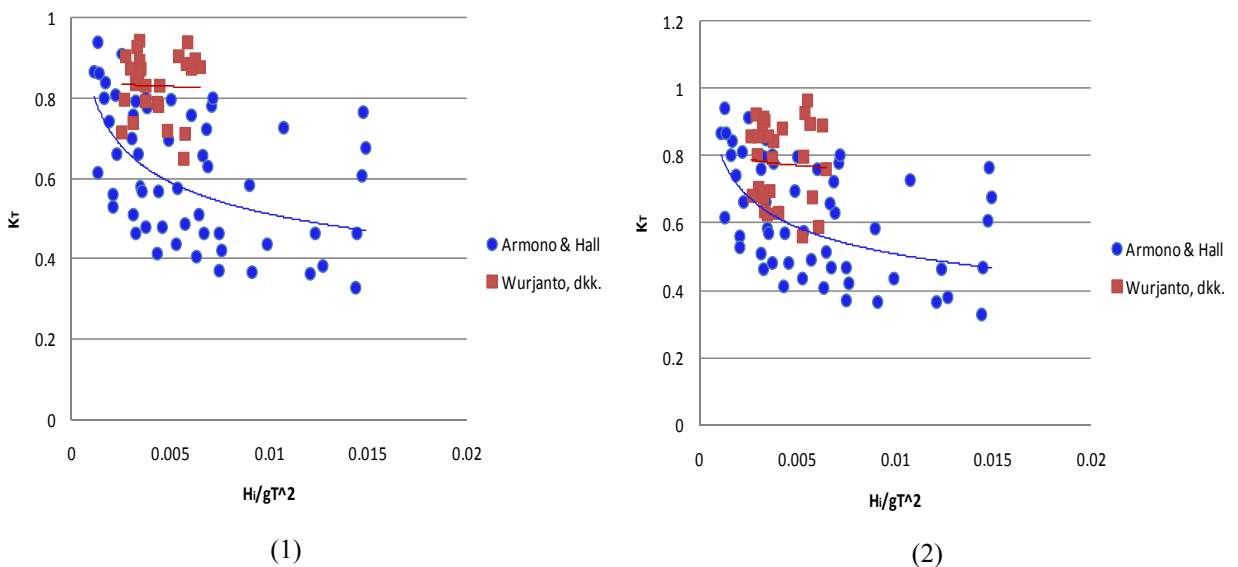
Gambar 20 menunjukkan hasil investigasi penelitian oleh Armono dan Hall (2002) untuk gelombang transmisi pada *breakwater* terendam yang terbuat dari terumbu karang buatan yang berongga / *Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs (HSAR)*.

Gambar 21 merupakan data penelitian oleh Armono dan Hall untuk semua data h/d . Perbandingan dengan data penelitian PSB dapat dilihat pada **Gambar 22** berikut untuk masing – masing jenis tirai.

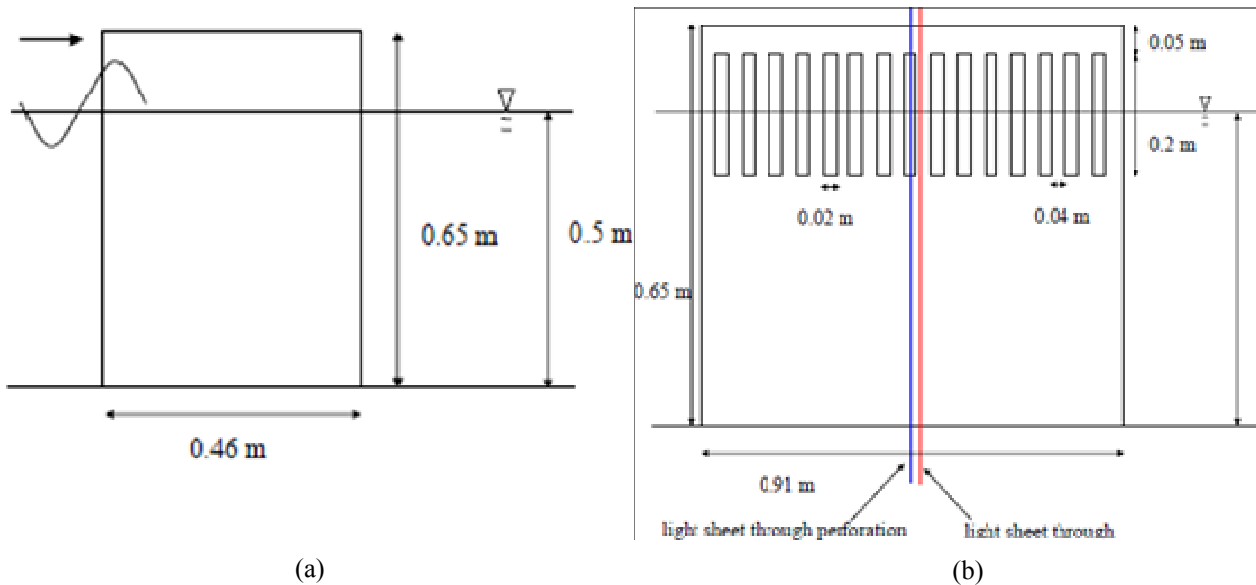
Pada **Gambar 23 b**), terlihat bahwa bagian solid *breakwater* lebih dominan dari bagian celah/perforasi *breakwater*.



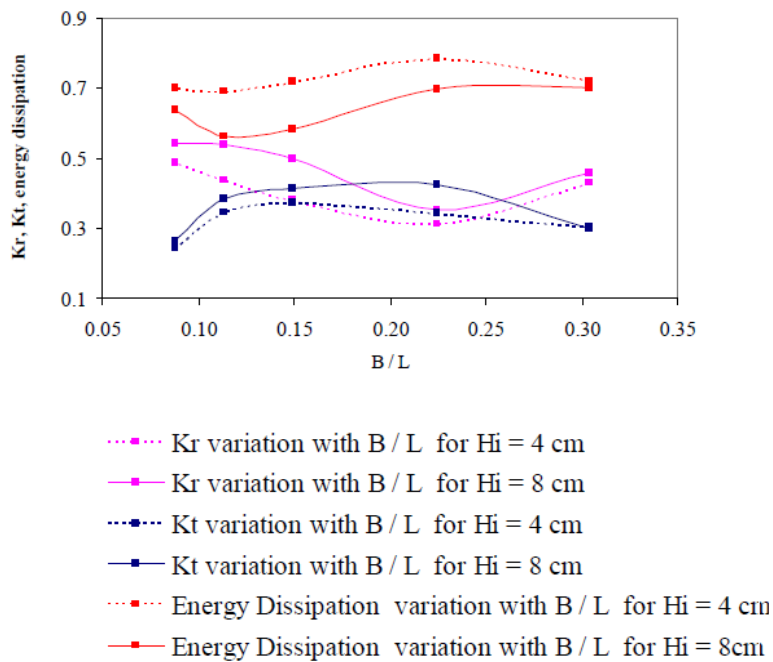
Gambar 21. Data penelitian pada investigasi HSAR untuk semua h/d



Gambar 22. Perbandingan data penelitian Armono dan Hall terhadap penelitian sekarang, untuk: a) Tirai jenis 1. b) Tirai jenis 2



Gambar 23. Sketsa percobaan *perforated breakwater* (Ariyaratne, 2007)
 (a) Tampak samping (b) Tampak depan



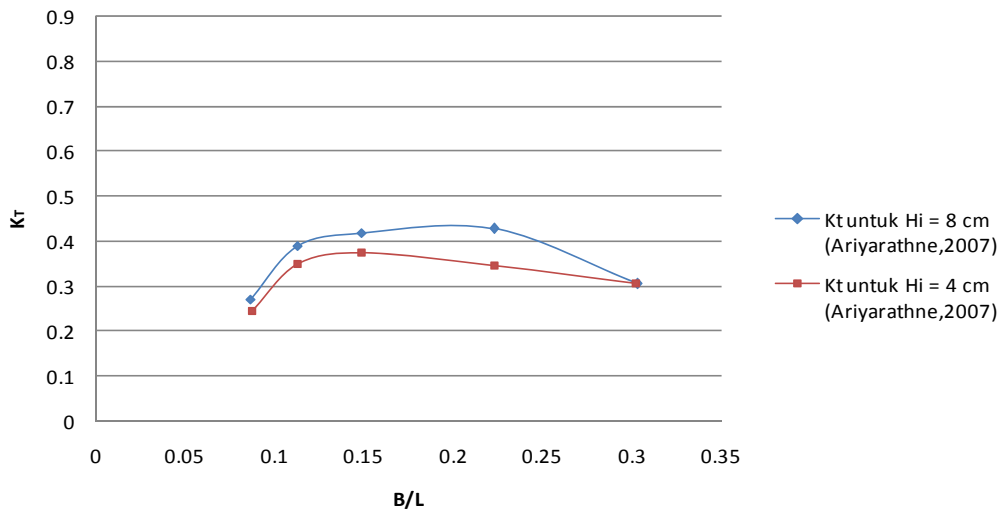
Gambar 24. K_T vs B/L , K_r vs B/L , dan energi disipasi untuk *perforated breakwater*, oleh Ariyaratne, 2007

Gambar 24 menunjukkan hasil investigasi penelitian oleh Ariyaratne (2007) pada *perforated breakwater*.

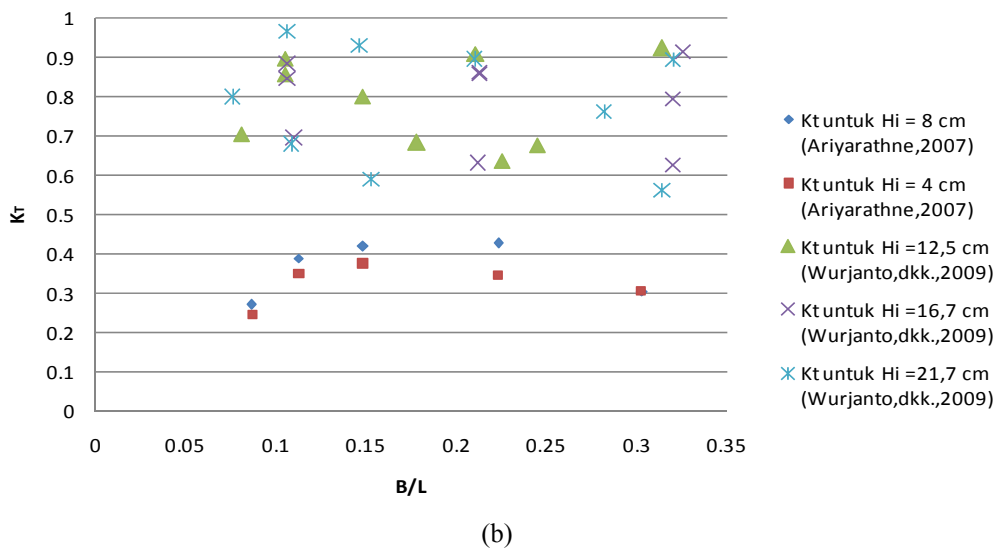
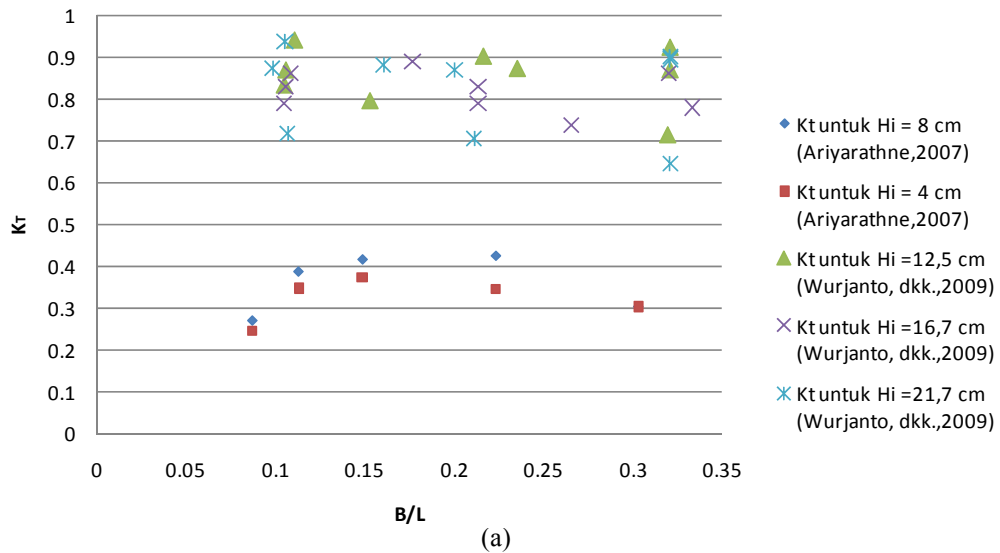
Berdasarkan hasil pada Gambar 24 diperoleh informasi bahwa bahwa refleksi, transmisi dan energi disipasi tergantung pada parameter B/L , dimana B adalah lebar struktur dan L adalah panjang gelombang. Untuk kondisi gelombang yang diuji, energi disipasi berkisar antara 56% dan 78%, dan untuk lebih dari

75% dari kasus yang diuji, energi disipasinya di atas 69%. Ini berarti struktur sangat efektif untuk energi disipasi. Sementara koefisien refleksi menurun dengan meningkatnya B/L sampai sekitar 0,225 dan nilai koefisien refleksi mulai meningkat kembali. Koefisien refleksi minimum terjadi pada $B/L \approx 0,2 - 0,25$. Hal ini sejalan dengan Kondo (1979), Suh, dkk. (2001) dan Hagiwara (1984).

Dari Gambar 24 diambil data koefisien transmisi (K_T) dan disajikan dalam Gambar 25.



Gambar 25. Koefisien transmisi (K_T) vs B/L untuk *perforated breakwater*, oleh Ariyaratne, 2007



Gambar 26. Perbandingan data penelitian Ariyaratne terhadap penelitian sekarang, untuk: a)Tirai jenis 1. b)Tirai jenis 2

Perbandingannya dengan data penelitian PSB dapat dilihat pada **Gambar 26**.

Berdasarkan perbandingan data penelitian pada **Gambar 26**, diperoleh informasi bahwa nilai K_T hasil investigasi oleh Ariyaratne lebih kecil dari K_T pada PSB. Hal ini dikarenakan pada penelitian oleh Ariyaratne menggunakan *perforated breakwater* dengan bagian breakwater solid yang jauh lebih dominan daripada bagian perforasinya (**Gambar 22**). Bagian solid dari dasar hingga bagian atas ini tentu sangat efektif dalam menghancurkan energi gelombang dan baik digunakan pada perairan dangkal, namun kurang tepat bila *perforated breakwater* jenis ini ditempatkan pada perairan dalam karena tentu saja akan sangat tidak ekonomis. Berlawanan dengan *perforated breakwater* oleh Ariyaratne, bagian perforasi pada struktur PSB jauh lebih dominan daripada bagian solid, sehingga lebih tepat bila digunakan pada perairan dalam.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan terhadap *perforated breakwater* dapat disimpulkan bahwa:

1. Dilihat dari **Gambar 16** hingga **Gambar 18**, semakin besar nilai *draft breakwater* (S), maka nilai koefisien transmisi semakin kecil (K_T) atau semakin besar energi disipasi yang terjadi. Semakin kecil nilai koefisien K_T berarti semakin baik fungsi dari *breakwater*.
2. Tirai jenis 2 lebih efektif dari tirai jenis 1.
3. PSB dengan jumlah *chamber* (N_c) = 3 buah lebih baik tingkat efektifitasnya daripada PSB dengan $N_c = 2$ *chamber*.
4. Perforated Skirt Breakwater kurang efektif untuk gelombang panjang ($T_p = 7$ s or $T_m = 2,0$ s). Untuk gelombang panjang, PSB dapat meredam gelombang dari 10% hingga 40%.
5. Lebar *chamber* (L_c) mempengaruhi fungsi *breakwater*. Bila nilai L_c semakin kecil, maka nilai K_T akan semakin besar (yang artinya fungsi *breakwater* menjadi kurang efektif). Pada penelitian ini, L_c prototipe = 6 m adalah kondisi dimana fungsi *breakwater* paling efektif dibandingkan L_c lainnya, namun secara keseluruhan PSB tetap masih kurang efektif untuk menangani masalah gelombang panjang.

Daftar Pustaka

- Ariyaratne, H.A.K.S., 2007, *Efficiency Of Perforated Breakwater And Associated Energy Dissipation*, Thesis. Civil Engineering of Texas A&M University.
- Armono, H.D., Hall, K.R., 2002, *Wave Transmission On Submerged Breakwaters Made Of Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs*, Canadian Coastal Conference.
- Bergmann, H., Kudella, M., Oumeraci, H., 1998, *Wave loads and pressure distribution on permeable vertical walls*. Copenhagen, Denmark: *Proceedings International Conference Coastal Engineering (ICCE)*, ASCE, No. 26, 2 pp.
- Bloxam, M., Maxted G., Murray J., 2003, *Wave Energy Dissipating Wharf: Raffles Marina Breakwater, Singapore*, Coasts & Ports Australasian Conference Paper No. 95.
- Hagiwara, K., 1984, *Analysis of Upright Structure for Wave Dissipation Using Integral Equation*, Proc. 19th Conf. on Coastal Engineering A.S.C.E. pp. 2810–2826.
- Jarlan, G.E., 1961, *A Perforated Vertical Wall Breakwater*. Dock Harbour Auth. XII 486 (1961), pp. 394–398.
- Kondo, K., 1979, *Analysis of Breakwaters Having Two Porous Walls*, Proc. Coastal Structures '79 Alexandria, VA, pp. 962–977.
- Quinn, A., 1972, *Design and Construction of Ports and Marine Structures*. New York: McGraw Hill.
- Suh, K.D., Choi, J.C., Kim, B.H., Park, W.S., and Lee, K.S., 2001, *Reflection of Irregular Waves From Perforated-Wall Caisson Breakwaters*, Coastal Engineering 44, pp. 141–151.