

# Pengaruh Elevasi Muka Air Laut pada Koefisien Transmisi dan Refleksi *Composite Breakwater*

Arya Okvan Pradana Putra, Haryo Dwito Armono, dan Sujantoko  
 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: arvan.oe@gmail.com

**Abstrak**—*Breakwater* merupakan bangunan pantai yang dirancang untuk melindungi daerah sepanjang garis pantai dari hampasan gelombang laut. Tujuannya adalah untuk memberikan perlindungan dari kerusakan pada wilayah pantai yang berada dibelakangnya dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai, sehingga tidak terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan disekitar wilayah pantai tersebut. Elevasi muka air merupakan salah satu parameter penting dalam perencanaan pembangunan *breakwater*, maka pada tugas akhir ini akan diteliti pengaruh elevasi muka air laut pada *composite breakwater* terhadap koefisien transmisi dan refleksi. Di bagian depan *breakwater* dipasang tumpukan kantong pasir sebagai peredam refleksi gelombang. Penelitian berupa pengujian fisik di laboratorium dengan melakukan variasi-variasi periode gelombang, tinggi gelombang dan elevasi muka air laut dengan spektrum gelombang JONSWAP. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kinerja *composite breakwater* yang paling baik apabila pada perbandingan antara tinggi peredam terhadap elevasi muka air ( $d/h$ ) sebesar 0,75.

**Kata Kunci**—*composite breakwater*; elevasi muka air; koefisien transmisi; koefisien refleksi.

## I. PENDAHULUAN

PESISIR adalah wilayah yang sangat rentan terhadap terjadinya kerusakan, sehingga wilayah tersebut perlu dilindungi dari serangan gelombang yang datang. Kebanyakan wilayah pesisir digunakan sebagai pemukiman penduduk, bahkan sekarang banyak digunakan sebagai tempat wisata dan perindustrian. Kerusakan yang memberikan dampak signifikan di Indonesia saat ini adalah abrasi pantai. Dalam beberapa tahun terakhir ini abrasi pantai di Indonesia telah sangat mengkhawatirkan. Pengertian dari abrasi sendiri adalah proses pengikisan pantai oleh gelombang dan arus laut yang bersifat merusak yang menyebabkan semakin menjoroknya garis pantai ke darat, sehingga mengakibatkan mundurnya garis pantai. Oleh karena itu diperlukan membangun struktur pantai yang berguna untuk mereduksi gelombang yang datang agar tidak mencapai garis pantai, sehingga tidak terjadi abrasi di wilayah pesisir tersebut. Untuk melindungi kerusakan kawasan pesisir tersebut terdapat bermacam-macam pelindung pantai seperti *breakwater*, *jetty*, *groin* dan *revetment*. Salah satu bangunan pelindung pantai yang berguna untuk mereduksi gelombang yang datang tersebut adalah *breakwater*.

*Breakwater* adalah bangunan pantai yang berfungsi sebagai peredam gelombang datang. Tujuannya untuk memberikan perlindungan terhadap kerusakan wilayah pantai yang berada dibelakangnya dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai, sehingga tidak terjadi erosi dan abrasi disekitar wilayah pantai tersebut. *Breakwater* yang digunakan adalah *composite breakwater*. Pada makalah ini dilakukan penelitian lebih lanjut tentang *composite breakwater* yang disusun berdasarkan sembilan konfigurasi dan diuji dengan berbagai variasi periode dan tinggi gelombang, elevasi muka air laut dan tinggi peredam refleksi gelombang. Model ini nantinya akan diuji dalam *wave flume* pada Laboratorium Rekayasa Bawah Air dan Dasar Laut. Dari penelitian ini diharapkan akan diketahui elevasi muka air laut dan peredam yang paling optimum dalam meredam beban gelombang dengan acuan nilai koefisien transmisi.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. *Breakwater*

*Breakwater* adalah bangunan pantai yang berfungsi sebagai peredam gelombang datang. Tujuannya untuk memberikan perlindungan terhadap kerusakan wilayah pantai yang berada dibelakangnya. *Breakwater* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan pemecah gelombang lepas pantai (Triatmodjo, 1999). Untuk pemecah gelombang sambung pantai biasanya untuk melindungi wilayah pelabuhan, sedangkan pemecah gelombang lepas pantai untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar dengan pantai dan pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Bangunan ini berfungsi untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan erosi pada pantai. Perlindungan oleh pemecahan gelombang lepas pantai terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan dibelakang bangunan. Karena pemecah gelombang ini dibuat terpisah ke arah lepas pantai, tetapi masih di dalam zona gelombang pecah (*breaking zone*).

**B. Karakteristik Gelombang**

Gelombang dapat dibedakan menjadi beberapa macam. Diantaranya adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, dan gelombang tsunami yang terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut (Triatmodjo, 1999).

Parameter yang menjelaskan tentang gelombangair adalah:

1. Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara kedua titik tertinggi gelombang yang berurutan (jarak antara dua puncak gelombang).
2. Tinggi gelombang (H) adalah jarak antara puncak dan lembah gelombang.
3. Periode gelombang (P) adalah waktu yang dibutuhkan oleh lembah gelombang atau dua puncak gelombang yang berurutan melewati titik tertentu.
4. Cepat rambat gelombang (Celerity) merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (L/T).

**1) Gelombang Irregular**

Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang *irregular* ditandai sebagai berikut:

1. Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan, sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis karenaketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak,dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode yangberbeda.
2. Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu danbervariasi dari tempat ke tempat, tergantung dari kecepatan angin

Gelombang di laut dapat dinyatakan menurut distribusi energi terhadap frekuensi gelombang, panjang gelombang dan periode gelombang. Distribusi energi gelombang menurut frekuensinya disebut spektrum gelombang. Gelombang irregular tidak dapat didefinisikanmenurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombangyang membentuknya.

$$E_T = \sum E_i \tag{1}$$

atau dalam bentuk lain:

$$E_T = \frac{1}{2} \rho \cdot g \sum \xi a_i \tag{2}$$

dengan:

- $E_T$  =energi total (joule/m)
- $E_i$  =energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)
- $P$  = densitas air laut ( $\text{kg/m}^3$ )
- $G$  = percepatan grafitasi ( $\text{m/dt}^2$ )
- $\xi a_i$  = amplitudo gelombang (m)

**2) Transmisi Gelombang**

Transmisi gelombang adalah penerusan gelombang melalui suatu bangunan. Parameternya dinyatakan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang yang ditansmisikan ( $H_t$ ) dengan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) atau akar dari energi gelombang transmisi ( $E_t$ ) dengan energi gelombang datang ( $E_i$ ).

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \left( \frac{E_t}{E_i} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

dengan :

- $K_t$  = koefisien transmisi
- $H_i$  = tinggi gelombang datang
- $H_t$  = tinggi gelombang transmisi
- $E_i$  = energi gelombang datang
- $E_t$  = energi gelombang transmisi

**3) Refleksi Gelombang**

Refleksi gelombang terjadi ketika gelombang datang mengenai atau membentur suatu rintangan sehingga kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Besar kemampuan suatu bangunan pemecah gelombang untuk memantulkan gelombang dapat diketahui melalui koefisien refleksi. Parameternya dinyatakan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang yang direfleksikan ( $H_r$ ) dengan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) atau akar dari energi gelombang refleksi ( $E_r$ ) dengan energi gelombang datang ( $E_i$ ).

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \left( \frac{E_r}{E_i} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

Tinjauan refleksi gelombang sangat penting untuk diketahui dalam perencanaan bangunan pantai, sehingga akan didapatkan keadaan perairan yang relatif tenang pada pelabuhan atau pantai. Koefisien refleksi adalah perbandingan antara tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) dan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ).

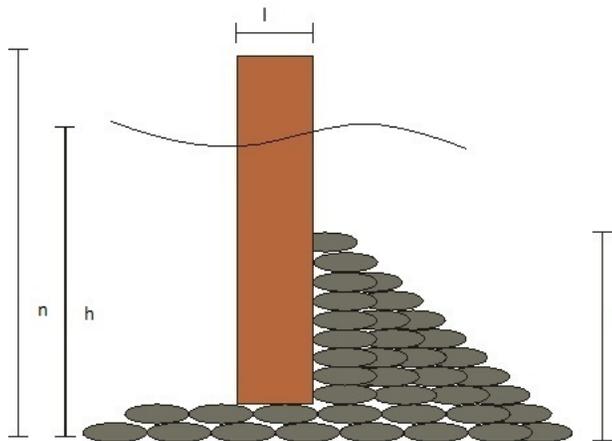
**C. Pemodelan Fisik**

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similaritas yang cukup memadai. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variabel alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Hasil visualisasi tersebut mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993)

**1) Sebangun Geometrik**

Sebangun geometrik dipenuhi apabila bentuk model dan prototipe sebangun. Hal ini menyatakan ukuran panjang antara model dan prototype harus sebanding, jika skala model diberi notasi  $nL$  maka persamaan akan menjadi sebagai berikut (Hughes, 1993).

$$nL = \frac{L_p}{L_m} \tag{5}$$



Gambar 1. Model composite breakwater yang digunakan pada pengujian dengan skala 1:20

dengan:

- nL = Skala panjang
- Lp = Panjang prototipe (m)
- Lm = Panjang model (m)

2) Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik dipenuhi apabila aliran pada model dan prototipe sebangun. Menandakan bahwa kecepatan aliran di titik-titik yang sama pada model dan prototipe mempunyai arah yang sama dan sebanding. Berdasarkan kesebangunan kinematik dapat diberikan nilai-nilai skala :

- Skala Waktu :

$$n_T = \frac{T_p}{T_M} \tag{6}$$

- Skala Kecepatan :

$$n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p}}{\frac{L_m}{T_m}} = \frac{n_L}{n_T} \tag{7}$$

- Skala Percepatan :

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p^2}}{\frac{L_m}{T_m^2}} = \frac{n_L}{n_T^2} \tag{8}$$

3) Sebangun Dinamik

Hughes (1993), menyatakan bahwa pada bangunan pantai proses fisik yang terjadi dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Gaya-gaya tersebut meliputi gaya inersia, gaya tekan, gaya berat, gaya gesek dan gaya tegangan permukaan. Dalam penelitian ini kriteria kesebangunan yang harus dipenuhi adalah kriteria sebangun dinamik menurut kondisi bilangan froude. Bilangan froude dapat diekspresikan dengan ratio antara gaya inersia dengan gaya gravitasi.

- Gaya inersia :  $Fi = \rho l^2 v^2$
- Gaya berat :  $Fg = \rho l^3 g$
- Gaya gesek :  $F\mu = \mu v l$
- Gaya tegangan permukaan :  $F\sigma = \sigma l$

dengan :

- $\rho$  = densitas fluida
- L = panjang
- v = kecepatan

Tabel 1.

Skala model berdasarkan prototipe

Dimensi	Prototipe (cm)	Skala	Model (cm)
Panjang	800	1 :20	40
Lebar	400	1 :20	20
Tinggi	1800	1 :20	90

Tabel 2.

Desain pengujian model composite breakwater

No	Tinggi gelombang (cm)	Periode gelombang (s)	Jenis gelombang
1.	8.2 - 15.8	1,1	Irregular
2.	10.5 - 19.7	1,2	Irregular
3.	12.6 - 21.0	1,3	Irregular

- g = percepatan gravitasi
- $\mu$  = viskositas dinamik
- $\sigma$  = tegangan permukaan
- E = modulus Elastisitas.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Persiapan Percobaan

Pada tahap penelitian ini, hal yang dilakukan adalah: Perancangan model composite breakwater. Dalam merancang model fisik composite breakwater harus dilakukan semaksimal mungkin agar bisa mewakili karakteristik dari prototipe yang sebenarnya. Perancangan model fisik perlu memperhatikan beberapa hal yang meliputi skala panjang dan skala berat (1:20) (Gambar 1).

Model yang akan diuji disusun dengan variasi elevasi muka air laut dan peredam composite breakwater yang telah ditentukan dengan variasi tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T). Dalam percobaan akan dibagi berdasarkan beberapa konfigurasi, untuk konfigurasi 1 diketahui memiliki tinggi elevasi muka air laut 80 cm dengan ketinggian peredam 40 cm, untuk konfigurasi 2 tinggi elevasi muka air laut 80 cm dengan tinggi peredam 60 cm, konfigurasi 3 memiliki tinggi elevasi muka air laut 80 cm dengan tinggi peredam 80 cm, untuk konfigurasi 4 memiliki tinggi elevasi muka air laut 85 cm dengan tinggi peredam 40 cm, konfigurasi 5 memiliki tinggi elevasi muka air laut 85 cm dengan tinggi peredam 60 cm, konfigurasi 6 memiliki tinggi elevasi muka air laut 85 cm dengan tinggi peredam 80 cm, untuk konfigurasi 7 tinggi elevasi muka air laut 90 cm dengan tinggi peredam 40 cm, konfigurasi 8 tinggi elevasi muka air laut 90 cm dengan tinggi peredam 60 cm dan terakhir konfigurasi 9 tinggi elevasi muka air laut 90 cm dengan ketinggian peredam 80 cm (Tabel 1-2).

B. Penyusunan Model

Pada tahap ini model yang telah ada disusun berdasarkan variasi elevasi muka air laut dan peredam yang akan diteliti. Model yang terpasang pada pengujian akan ditata tegak lurus terhadap arah datang gelombang. Model akan diuji dengan variasi tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T)..

C. Pengambilan Data

Setelah model sudah terpasang pada wave flume, maka pengujian bisa dilakukan sesuai dengan desain eksperimen model yang telah ditentukan sebelumnya. Data yang

dimasukkan meliputi periode gelombang dan tinggi gelombang di komputer kendali. Gelombang yang dibangkitkan merupakan gelombang irregular (Jonswap). Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap konfigurasi dengan tinggi dan periode gelombang yang sama. Pengujian ini dilakukan agar mendapatkan hasil keluaran yang validasi tinggi dan mengurangi error

#### IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan hasil koefisien gelombang transmisi dan refleksi yang telah diperoleh dari masing-masing model dengan tinggi dan periode gelombang tertentu. Data yang dihasilkan merupakan file hasil bacaan dari wave probe yang memiliki besaran volt. Data volt tersebut berupa file \*.TMH. Data tersebut nantinya akan menjadi data input untuk menganalisa lanjut kinerja *composite breakwater*. Data voltase dibaca dengan bantuan macro Refana Microsoft Excel, setelah diubah menjadi besaran panjang (cm) dengan menggunakan persamaan kalibrasi wave probe. Langkah berikutnya adalah mencari panjang gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode rata-rata (*Taverage*). Langkah ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program Wabelab (Riduwan, 2011). Setelah mendapatkan hasil running dari program, yaitu  $H_s$  dan *Taverage* langkah berikutnya, dapat dihitung koefisien transmisi ( $K_t$ ) dan refleksinya ( $K_r$ ) dengan menggunakan bantuan program Wabelab.

Setelah mendapatkan data hasil dari wave probe yang dibaca oleh komputer mesin dalam bentuk file \*.TMH dan memiliki besaran volt, maka data inilah yang nantinya akan digunakan sebagai input dalam macro Refana dari Microsoft Excel. Data yang akan diperoleh akan berubah dalam bentuk satuan panjang (cm), sehingga akan dapat diketahui hasil bacaan dari kedua wave probe tersebut. Dikarenakan keterbatasan kemampuan komputer mesin, kita tidak bisa untuk mendapatkan tinggi gelombang ( $H_i$ ) dan periode ( $T$ ) yang diinginkan. Nilai tinggi gelombang ( $H_i$ ) dan periode ( $T$ ) yang kita input akan menghasilkan output yang berbeda pada komputer mesin.

##### A. Koefisien Transmisi dan Refleksi

Transmisi merupakan penerusan gelombang melalui suatu bangunan. Parameternya dinyatakan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang yang ditransmisikan ( $H_t$ ) dengan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ). Setelah melakukan percobaan dari berbagai variasi tinggi gelombang ( $H$ ) dan periode ( $T$ ) didapatkan nilai  $K_t$  terendah adalah 0,387 pada konfigurasi 2 dan nilai  $K_t$  tertinggi adalah 0,624 pada konfigurasi 9. Jadi dapat disimpulkan bahwa hubungan kecuraman gelombang pada koefisien transmisi adalah berbanding terbalik, dimana semakin tinggi nilai  $H/gT^2$  maka nilai Koefisien transmisinya akan semakin kecil.

Refleksi merupakan pemantulan gelombang yang terjadi ketika gelombang datang mengenai atau membentur suatu rintangan sehingga kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Parameternya dinyatakan sebagai perbandingan

antara tinggi gelombang yang direfleksikan ( $H_r$ ) dengan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ). Setelah melakukan percobaan dari berbagai variasi tinggi gelombang ( $H$ ) dan periode ( $T$ ) didapatkan nilai  $K_r$  terendah adalah 0,409 pada konfigurasi 3 dan nilai  $K_r$  tertinggi adalah 0,652 pada konfigurasi 8. Jadi dapat disimpulkan bahwa hubungan kecuraman gelombang pada koefisien refleksi adalah semakin tinggi nilai  $H/gT^2$  maka nilai Koefisien refleksinya akan semakin besar.

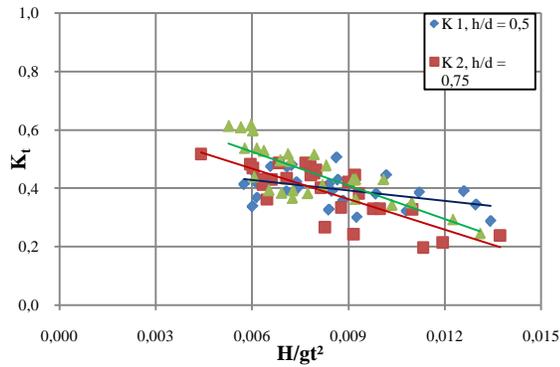
##### B. Pengaruh $h/d$ pada Nilai Koefisien Transmisi dan Refleksi

Nilai transmisi dan refleksi yang didapatkan dari hasil percobaan salah satunya juga dipengaruhi oleh perbedaan tinggi peredam ( $h$ ) dan elevasi muka air ( $d$ ) pada *composite breakwater*. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh  $h/d$  dan bentuk gelombang ( $H/gT^2 =$  wave steepness) terhadap koefisien transmisi pada percobaan dapat dilihat pada Gambar 2-7. Berdasarkan gambar-gambar di atas dapat disimpulkan untuk perbandingan koefisien transmisi dan refleksi terhadap  $H/gT^2$  dengan pengaruh  $h/d$  dari kesembilan konfigurasi yang telah diuji dengan berbagai variasi elevasi muka air, ketinggian peredam, periode dan tinggi gelombang dapat diketahui bahwa trend yang dihasilkan oleh koefisien transmisi dari semua konfigurasi tersebut adalah turun, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai  $H/gT^2$  maka semakin kecil nilai  $K_t$  yang didapatkan. Sedangkan untuk koefisien refleksi diketahui bahwa trend yang dihasilkan dari semua konfigurasi adalah naik, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai  $H/gT^2$  maka semakin besar juga nilai  $K_r$  yang didapatkan.

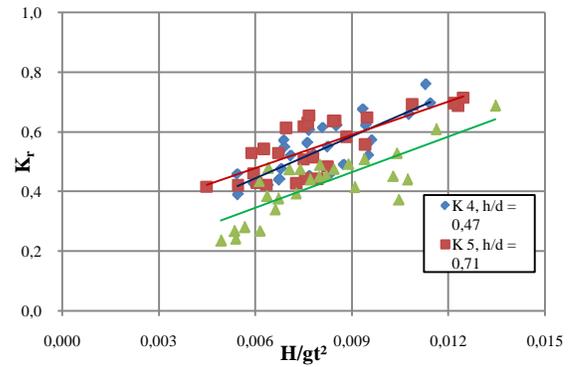
#### V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan uraian dalam penyelesaian persoalan yang sudah dirumuskan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

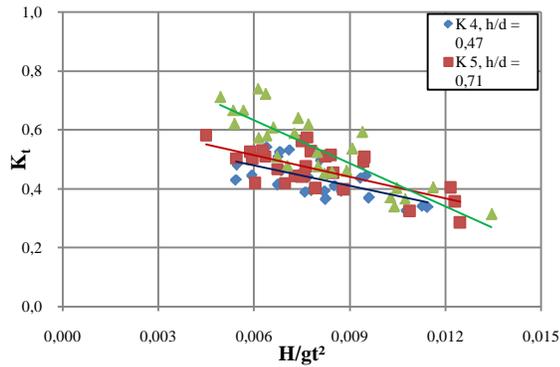
1. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap pengaruh elevasi muka air, diketahui bahwa yang memiliki nilai koefisien transmisi paling kecil untuk kedalaman 80 cm adalah pada konfigurasi 2 dengan nilai sebesar 0,387, untuk kedalaman 85 cm adalah pada konfigurasi 4 dengan nilai sebesar 0,432 dan untuk kedalaman 90 cm adalah pada konfigurasi 7 dengan nilai sebesar 0,512. Dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien transmisi paling baik untuk pengaruh elevasi muka air adalah pada konfigurasi 2 karena memiliki nilai  $K_t$  paling kecil. Jadi semakin rendah elevasi muka air lautnya maka semakin baik bagi *composite breakwater* untuk meredam gelombang.
2. Berdasarkan pengujian terhadap pengaruh ketinggian peredam (kantong pasir), dapat diketahui bahwa pada ketinggian kantong pasir 40 cm yang paling baik adalah pada konfigurasi 1, sedangkan pada ketinggian kantong pasir 60 cm yang paling baik adalah pada konfigurasi 2, dan terakhir pada ketinggian kantong pasir 80 cm yang paling baik adalah pada konfigurasi 3. Dari data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa ketinggian peredam yang paling baik adalah pada tinggi peredam 40 cm yaitu pada konfigurasi 1.



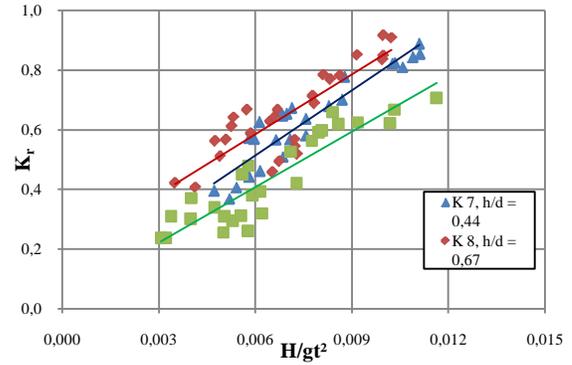
Gambar. 2. Koefisien transmisi pada konfigurasi dengan tinggi elevasi muka air 80 cm pada *composite breakwater*



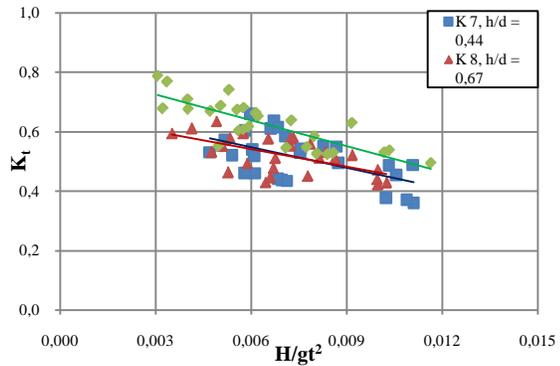
Gambar. 6. Koefisien refleksi pada konfigurasi dengan tinggi elevasi muka air 85 cm pada *composite breakwater*



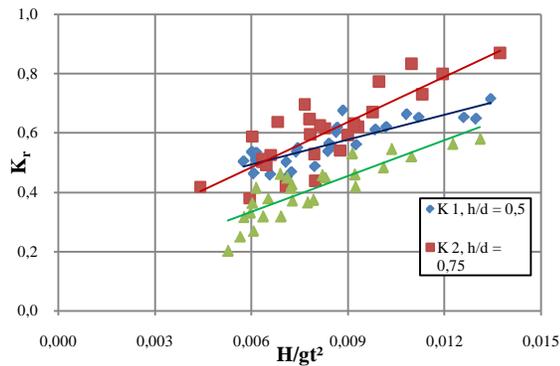
Gambar. 3. Koefisien transmisi pada konfigurasi dengan tinggi elevasi muka air 85 cm pada *composite breakwater*



Gambar. 7. Koefisien refleksi pada konfigurasi dengan tinggi elevasi muka air 90 cm pada *composite breakwater*



Gambar. 4. Koefisien transmisi pada konfigurasi dengan tinggi elevasi muka air 90 cm pada *composite breakwater*



Gambar. 5. Koefisien refleksi pada konfigurasi dengan tinggi elevasi muka air 80 cm pada *composite breakwater*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhattacharyya, *Dynamic of Marine Vehicles*, a WileyIntersciencePublication. New York:John Wiley&Sons (1972).
- [2] Dean and Dalrymple, "Water waves mechanics for engineers and scientifics," *Advanced Series on Ocean Engineering*, Vol.2. Singapore: WorldScientific (1991).
- [3] Dong, G. H., "Experiments on wave transmission coefficient of floating breakwater," *Ocean Engineering*, Vol. 35, (2008)931-938.
- [4] Hasselmann K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Mller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, and H. Walden., "Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," *Ergnzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe*, Vol. A(8) (Nr. 12), (1973)95.
- [5] Hughes, S.A., *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. USA: Coastal Engineering Research Center (1993).
- [6] Ridwan, Abdullah, M., *Perangkat Lunak Terpadu pada Analisa Model Gelombang Acak pada Saluran Gelombang Jurusan Teknik Kelautan ITS*. Ocean Engineering, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2011).
- [1] Triatmodjo, Bambang, *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset (1999).