

## **REFLEKSI GELOMBANG PADA PEMECAH GELOMBANG TENGGELAM BLOK BETON BERKAIT**

### **WAVE REFLECTION ON INTERLOCKING CONCRETE BLOCK SUBMERGED BREAKWATER**

**I Ketut Dharma Setiawan<sup>1)</sup> Juventus W.R. Ginting<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Balai Litbang Pantai, Puslitbang SDA

E-Mail: [ketut.darma@yahoo.com](mailto:ketut.darma@yahoo.com)

#### **ABSTRAK**

*Dewasa ini banyak dilakukan penelitian breakwater dari material beton, karena keterbatasan armor dari batu alam yang mempunyai berat yang sangat besar sebagai lapis lindung. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah struktur pemecah gelombang ambang rendah blok beton berkait. Untuk menghindari berat blok beton yang sangat tinggi, maka dilakukan penguncian antara sesama blok beton sehingga didapat berat unit blok beton yang lebih ringan tetapi lebih stabil dalam menerima gempuran gelombang.*

*Lokasi penelitian model fisik breakwater tenggelam blok beton berkait dilakukan pada saluran 2 Dimensi Laboratorium Balai Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air. Instrumen yang dipakai dalam penelitian ini adalah Saluran Flume 2 Dimensi, mesin pembangkit gelombang reguler, wave dumper, wave probe, komputer kendali dan model blok beton berkait. Hasil penelitian menunjukkan peredaman energi gelombang dipengaruhi oleh dimensi breakwater blok beton berkait yang dicirikan oleh kedalaman air di atas puncak bangunan dan lebar puncak bangunan. Unjuk kerja Breakwater blok beton berkait cukup berdaya guna sebagai bangunan pelindung pantai bawah air ditinjau dari refleksi dengan koefisien refleksi 34,7% pada saat  $(h-d)/h = 0$  dan lebar puncak  $B = 2.0$*

**Kata Kunci:** Model fisik, pemecah gelombang tenggelam, koefisien refleksi

#### **ABSTRACT**

*When a large dimension of rock needed for an armored layer of breakwater, the scarcity of it became a major adversity, because of that many research subject of using concrete as a substitute for rock performed. One of the research are the usage of concrete block for submerged breakwater as a method for avoiding a very large concrete block, but still able to withstood wave forces. The key is in the interlocking of each concrete block so it could achieve the desired result with a lesser dimension concrete block.*

*The research was performed in Laboratory of Coastal Experimental Station, Water Resource Research Center, using a 2D channel. The facility used were flume channel, regular wave generator machine, wave dumper, wave probe, and computer for processing data.*

*The experiment indicate that the wave energy attenuation depends on the dimension of interlocking concrete block type submerged breakwater. The dimension represented in the form of relation of the distance of water level to structure's crest and the crest's width. The breakwater performance of the concrete block is quite useful as an underwater coastal protection building viewed from reflection with a reflection coefficient of 34.7% at  $(h-d) / h = 0$  and the peak width of  $B = 2.0$*

**Keywords:** Physical model, submerged breakwater, reflection coefficient

## PENDAHULUAN

Kerusakan pantai dalam bentuk erosi pantai merupakan masalah yang umum dialami oleh banyak negara di dunia saat ini, dan telah banyak menelan kerugian material dan korban jiwa. Kerusakan pantai ini kadang diakibatkan oleh aktifitas manusia itu sendiri seperti penebangan hutan bakau, pengambilan karang pantai, pembangunan pelabuhan atau bangunan pantai lainnya, perluasan areal tambak ke arah laut tanpa memperhatikan wilayah sempadan pantai dan sebagainya. Banyak teknologi yang sudah dikembangkan oleh para ahli saat ini seperti bangunan *revetment*, *groin*, breakwater lepas pantai (*detached breakwater*), namun belum dirasakan memuaskan khususnya dari segi estetika dan dipandang dari segi kepariwisataan, yang menganggap bangunan-bangunan tersebut kurang ramah lingkungan karena, menghilangkan kesan alamiah pantai tersebut (Kinong 2006)

Dampak dari erosi pantai ini dapat merusak kawasan pemukiman dan prasarana kota yang berupa mundurnya garis pantai (Triatmodjo, Teknik Pantai, 1999). Secara alami, pantai berfungsi sebagai pertahanan alami terhadap gempuran gelombang. Akumulasi sedimen di pantai menyerap dan memantulkan energi yang terutama berasal dari gelombang. Apabila seluruh energi gelombang terserap maka pantai dalam kondisi seimbang. Sebaliknya, pantai dalam kondisi tidak seimbang, apabila muncul proses erosi dan akresi pantai yang selanjutnya menyebabkan kerusakan garis pantai.

Besarnya gelombang yang dapat merusak daerah pantai adalah bersumber dari gelombang perairan laut dalam dan tergantung pada tinggi gelombang. Rambatan gelombang yang menuju pantai dari laut dalam akan mengalami perubahan bentuk struktur gelombang, akibatnya akan terbentuk tinggi gelombang yang besar dan akhirnya menjadi pecah. Apabila gelombang pecah tersebut dekat dengan pantai maka pantai yang tidak mempunyai perlindungan alami/buatan akan dengan mudah rusak (Triatmodjo, 1999).

Sebelum memulai memilih konstruksi bangunan pantai, adalah penting untuk mengidentifikasi dan memahami penyebab kerusakan daerah pantai baik akibat jangka pendek maupun jangka panjang. Salah satu metode penanggulangan erosi pantai akibat gelombang adalah penggunaan struktur pelindung pantai dimana struktur tersebut berfungsi sebagai peredam energi gelombang dan

mengurangi energi gelombang di sisi darat struktur (Ranasinghe & Turnrer, 2006)

Pengurangan energi gelombang yang menghantam pantai dapat dilakukan dengan membuat bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (*offshore breakwater*). Dengan adanya bangunan pemecah gelombang, gelombang yang datang menghantam pantai sudah pecah pada suatu tempat yang agak jauh dari pantai sehingga energi gelombang yang sampai di pantai cukup kecil.

Beberapa tahun ini penelitian untuk tipe *breakwater* tenggelam lebih banyak dilakukan karena adanya kecenderungan peredaman gelombang oleh sekelompok batu karang yang hidup di perairan dangkal. (Dharma, 1994) melakukan penelitian unjuk kerja terumbu buatan (*artificial reef*) sebagai peredam energi gelombang dengan menggunakan material batu pecah dan (Abrori, Armono, & Zikra, 2009) meneliti terumbu buatan bentuk kubah berlubang "HSAR" (*Hemispherical submerged artificial reef*) dan menyatakan bahwa dalam jumlah yang besar HSAR dapat efektif mereduksi energi gelombang. Keberhasilan penerapan teknologi terumbu buatan ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya kesesuaian parameter lingkungan, jenis dan bentuk material, serta kekuatan struktur. Terumbu buatan bentuk kubah berlubang mempunyai kemampuan dapat menghasilkan pusaran-pusaran dan turbulensi yang menguntungkan dan menyediakan tempat perlindungan bagi ikan.

Oleh karena keterbatasan armor dari batu alam yang mempunyai berat yang sangat besar sebagai lapis lindung *breakwater*, dewasa ini banyak dilakukan penelitian *breakwater* dari material beton. Salah satu alternatifnya adalah struktur pemecah gelombang tenggelam tipe blok beton berkait. Untuk menghindari berat blok beton yang sangat besar, maka dilakukan penguncian (*interlocking*) antara sesama blok beton sehingga didapat berat unit blok beton yang lebih ringan dan kunci blok beton yang dapat menyebabkan blok beton tersebut stabil dalam menerima gempuran gelombang. Penggunaan material beton sangat ramah lingkungan karena dengan permukaan beton yang kasar maka biota laut seperti terumbu karang akan cepat hidup sehingga perlindungan pemecah gelombang kedepannya akan menjadi obyek wisata tambahan.

Modifikasi dalam hal bentuk material blok beton berkait dilakukan dalam penelitian ini untuk kemudahan dalam hal pelaksanaan sehingga bisa mendapatkan struktur pemecah

gelombang tenggelam yang handal, lebih cepat dan mudah dari segi pelaksanaan konstruksi akan tetapi dengan perubahan bentuk belum diketahui parameter yang berpengaruh dan nilai koefisien refleksi dari model yang dimodifikasi ini.

## KAJIAN PUSTAKA

### Bangunan Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*Breakwaters*) adalah struktur yang dibangun untuk melindungi fasilitas di daerah pesisir. Untuk melindungi dari kondisi iklim yang menantang, struktur ini memainkan peran penting untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang. Untuk menjaga keberdayaan, kelayakan dan memahami perilaku breakwater mereka saat berinteraksi dengan alam, maka breakwater harus diperiksa dalam hal stabilitas dan kapasitas disipasi energi.

Menurut (CERC, 1984), pemecah gelombang dapat diklasifikasikan dari berbagai aspek antara lain :

- 1 Dari aspek posisinya terhadap garis pantai, *breakwater* dibedakan menjadi *shore connected breakwater* yang salah satunya terhubung dengan garis pantai dan *offshore breakwater* yang tidak terhubung dengan garis pantai.
- 2 Dari aspek posisinya terhadap permukaan air laut (SWL) dibedakan dalam *breakwater* tidak tenggelam (*subaerial breakwater*) yaitu *breakwater* yang puncaknya berada diatas permukaan airdan *breakwater* tenggelam (*submerged breakwater*) yang permukaannya berada di bawah permukaan air.
- 3 Jika ditinjau dari konstruksinya maka dikenal berbagai tipe *breakwater* antara lain *rubble-mound breakwater*, *artificial armor breakwater*, *stone asphalt breakwater*, *cellular-steel sheet-pile breakwater*, *concrete-caisson breakwater* dan lain-lain.
- 4 Dari aspek porositas tubuh *breakwater*, *breakwater* dibedakan menjadi *breakwater* pejal (*impermeable breakwater*) dan *breakwater* porous (*permeable breakwater*).

Pemilihan breakwater yang cocok adalah salah satu aspek utama dalam menentukan disain pelabuhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pilihan jenis breakwater seperti tinggi gelombang, periode gelombang, kedalaman air, kondisi pondasi tanah dasar laut, material

yang tersedia di dekat dengan lokasi, dan peralatan untuk konstruksi. Menurut fitur strukturalnya, pemecah gelombang dapat dikelompokkan menjadi empat yaitu; (Takahashi, 2002)

- 1 Pemecah jenis miring (gundukan)
- 2 Pemecah gelombang vertikal
- 3 Pemecah tipe komposit
- 4 Jenis pemecah gelombang khusus (non-gravitasi)

Pemecah jenis gundukan (*mound type breakwater*) diidentifikasi oleh bahan bangunan yaitu batuan alami, blok beton, kombinasi batuan dan balok beton, dan struktur beton seperti tetrapods, dolos dan lain-lain. Klasifikasi pemecah jenis vertikal dikelompokkan seperti dinding gravitasi blok beton, beton caissons dan dinding tiang pancang yang ditutup oleh lapisan tumpukan batu. Pemecah komposit adalah kombinasi jenis pemecah gelombang tipe gundukan dan pemecah gelombang vertikal. Tipe khusus pemecah gelombang terdiri dari tipe non-gravitasi. Pemecah jenis khusus khusus adalah pemecah gelombang yang bersifat non gravitasi seperti pemecah gelombang tiang pancang, pemecah gelombang terapung, pemecah gelombang pneumatik.

Breakwater jika ditinjau dari aspek struktur maka dapat dibedakan menjadi dua macam pemecah gelombang yaitu :

- 1 Pemecah gelombang tipe *rubble mound*.  
Pemecah gelombang *rubble mound* adalah suatu bangunan bertujuan untuk mematahkan energi gelombang yang terbuat dari tumpukan batu, dalam hal ini dapat berupa batu alam ataupun batu buatan. Bangunan ini biasanya dibuat untuk melindungi suatu daerah tertentu misalnya pelabuhan atau daerah wisata bahari (*beach resort*), disamping itu, bangunan ini juga dapat berfungsi untuk menstabilkan muara sungai (*jetty*). Terdapat dua tipe pemecah gelombang tumpukan batu yaitu: *Overtopping breakwater* dan *Non overtopping breakwater*.
- 2 Pemecah gelombang *monolit*  
Pemecah gelombang monolit (*monolithic breakwater*) adalah pemecah gelombang yang terdiri dari satu kesatuan struktur, dalam hal ini struktur tersebut dapat terdiri dari satu kesatuan bahan yang masif (seperti konstruksi beton yang dicor di tempat) atau terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan sehingga membentuk satu kesatuan.

Seperti pada pemecah gelombang tumpukan batu (*rubble structure*), pemecah gelombang monolit juga mempunyai keuntungan dan kekurangan. Keuntungan utama dari pemecah gelombang ini adalah dapat menghemat material dan pembangunannya dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan kekurangannya adalah apabila beban rencana dilampaui dapat terjadi kerusakan fatal. Disamping itu karena biasanya pemecah gelombang monolit berdinding tegak, sehingga energi gelombang yang datang tidak dapat terserap/terpatahkan dan dipantulkan kembali, dan hal ini dapat membahayakan tempat lain. (Yuwono, 1992)

**Refleksi Gelombang**

Gelombang air dapat mengalami refleksi total maupun parsial baik oleh penghalang alami maupun buatan manusia. Refleksi pada gelombang laut sama halnya yang terjadi pada refleksi cahaya pada cermin datar, dimana sudut datang sama dengan sudut pantul gelombang.

Parameter refleksi gelombang oleh bangunan biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi  $Kr$  yang didefinisikan sebagai perbandingan antara akar dari energi gelombang refleksi ( $Er$ ) dan energi gelombang datang ( $Ei$ ) atau tinggi gelombang refleksi ( $Hr$ ) dan tinggi gelombang datang ( $Hi$ ).

$$Kr = \sqrt{\frac{Er}{Ei}} = \frac{Hr}{Hi}$$

Dimana :

- $Kr$  : Koefisien refleksi
- $Er$  : Energi gelombang refleksi
- $Ei$  : Energi gelombang datang
- $Hr$  : Gelombang refleksi
- $Hi$  : Gelombang datang

Untuk mendapatkan hubungan antar parameter yang berpengaruh pada proses peredaman energi gelombang blok beton berkait, dipergunakan analisa dimensi dengan metode *Buckingham*. Faktor-faktor yang diperkirakan berpengaruh terhadap transmisi gelombang antara lain :

- $Hr$  : refleksi gelombang
- $h$  : kedalaman air
- $d$  : tinggi puncak bangunan dari dasar
- $B$  : lebar puncak
- $Hi$  : tinggi gelombang datang
- $g$  : gravitasi
- $T$  : periode gelombang

Dari pengelompokan parameter diatas ada 7 parameter dengan 2 parameter dasar sehingga akan diperoleh (7-2) bilangan tak dimensi. Dipilih  $Hi$  dan  $g$  sebagai variabel berulang dengan pangkat yang tidak diketahui dan ditetapkan suku  $\pi$  sebagai berikut :

- $\pi_1 = Hi^{a1} g^{b1} Hr$
- $\pi_2 = Hi^{a2} g^{b2} d$
- $\pi_3 = Hi^{a3} g^{b3} h$
- $\pi_4 = Hi^{a4} g^{b4} T$
- $\pi_5 = Hi^{a5} g^{b5} B$

**Pemodelan Fisik**

Model fisik adalah model skala yang direproduksi dari suatu struktur yang akan dirancang yang dapat membantu para engineers mengemukakan gagasan tentang suatu sistem fisik. Dalam teknik pantai, pemodelan fenomena hidrolik dalam kenyataan agak sulit dilakukan. Diversifikasi jumlah kondisi lingkungan harus direplikasi dan diuji dalam model. Namun, bisa ada beberapa kelebihan dan kekurangan dari proses ini.

Seperti yang dikatakan(Dalrymple, 1985), penggunaan model fisik laboratorium lebih hemat biaya dan praktis jika dibandingkan dengan melakukan pengumpulan data di lapangan dan dapat mengintegrasikan persamaan yang diperlukan sehingga dapat dilakukan simplifikasi dari suatu kondisi sehingga dapat menghindari suatu asumsi yang salah. Selain Dalrymple, (Kamphuis 1991)menunjukkan fakta bahwa untuk mengamati eksperimen model fisik memberikan wawasan kepada para engineers untuk disain mereka. (Baguelin, Jezequel, Lemee, & Le, 1972)) merangkum keuntungan model fisik sebagai berikut (seperti dikutip (Hughes, 1993):

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 variable alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data.Efek-efek fisik antar elemen fluida merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk suatu penelitian mengenai karakter fluida.Dengan model fisik, hal tersebut dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya.Hasil visualisasi tersebut mungkin

merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993).

Beberapa kekurangan pemodelan fisik :

- 1 Adanya efek skala; hal ini terjadi karena model dibuat lebih kecil dari prototipenya. Semua variable yang relevan tidak mungkin dimodelkan dalam hubungan yang benar satu sama lain, dengan kata lain efek skala menyederhanakan masalah melalui asumsi pada pemodelan numeric.
- 2 Efek Laboratorium; hal ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan bila tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya. Efek laboratorium biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistic karena adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.
- 3 Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan, sebagai contoh adalah gaya geser angin pada permukaan.
- 4 Biaya pelaksanaan pemodelan fisik lebih mahal dibandingkan pemodelan numerik.

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe.

### Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua macam kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik dengan distorsi (*distorted*). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horisontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada *distorted* model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m}$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m}$$

Dengan :

- $n_L$  = skala panjang
- $n_h$  = skala tinggi
- $L_p$  = ukuran panjang prototipe
- $L_m$  = ukuran panjang model
- $H_p$  = ukuran tinggi pada prototipe
- $H_m$  = ukuran tinggi pada model

### Sebangun kinematik

Sebangun kinematik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah adalah sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horisontal. Oleh sebab itu pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunakan *distorted* model. Skala kecepatan diberi notasi  $n_u$ , skala percepatan  $n_a$  dan skala waktu  $n_T$  didefinisikan sebagai berikut:

$$n_T = \frac{T_p}{T_m}$$

## METODOLOGI

### Fasilitas dan Alat Laboratorium

Lokasi penelitian model fisik *breakwater* tenggelam blok beton berkaitan dilakukan pada saluran 2 Dimensi Laboratorium Balai Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air yang berada di Jln.Singaraja - Gilimanuk Km 122 Desa Musi, Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng - Bali. Instrumen yang dipakai dalam penelitian pemecah gelombang tenggelam blok beton berkaitan ini adalah :

- a. Saluran *Flume* 2 Dimensi  
Saluran kaca memiliki panjang 40 m, lebar 0,6 m dan tinggi 1,2 m. Dengan variasi penempatan struktur pada saluran kaca, area uji model yang bisa dimanfaatkan sepanjang 34 m.
- b. Mesin Pembangkit Gelombang  
Dengan spesifikasi mesin gelombang di Balai Litbang Pantai sebagai berikut. (Balai Pantai, 2015)  
Tipe : piston  
Penggerak : motor listrik 2,9 kW  
1400 rpm  
Jenis gelombang : regular  
Tinggi gelombang

- operasi : 10 cm
- maksimum : 25 cm pada kedalaman air 50 cm
- Periode : 1 – 2,6 detik
- Lebar blade : 0,6 m
- Tinggi blade : 1,2 m
- Material : baja



Gambar 1 Saluran Flume Balai Pantai dan wave generator

- c. wave probe sebanyak 3 buah  
Prinsip kerja alat ukur dari wave gauge adalah dengan melihat perbedaan voltase listrik sepanjang batang alat ukur yang terendam air dan tidak terendam air. Perbedaan voltase kemudian dikonversi menjadi ketinggian air atau  $H_i$ . sehingga sebelum dilakukan kalibrasi sebelum pengukuran.
- d. Wave Dumper yang dipasang dibelakang saluran Flume 2 Dimensi bertujuan untuk meminimalkan pantulan gelombang
- e. komputer kendali
- f. software HR Daq suite
- g. kamera
- h. Mistar
- i. Stopwatch

**Rancangan Penelitian Pemecah gelombang Tenggelam Blok Beton Berkait**

Kajian refleksi gelombang dilakukan untuk mengetahui karakter gelombang terhadap *interlocking submerged breakwater*. Skematisasi skenario model dilakukan dengan merubah besaran tinggi free board terhadap *breakwater* dan lebar puncak *breakwater*. Masalah dalam kajian ini hanya meninjau refleksi gelombang terhadap tinggi gelombang signifikan, korelasi antara koefisien refleksi terhadap variasi *freeboard* dan lebar puncak *breakwater*.

Pengubah yang akan dicermati adalah tinggi datang  $H_i$ , gelombang refleksi  $H_r$ , kedalaman air  $h$ , lebar puncak  $B$ , dan periode gelombang  $T$ .

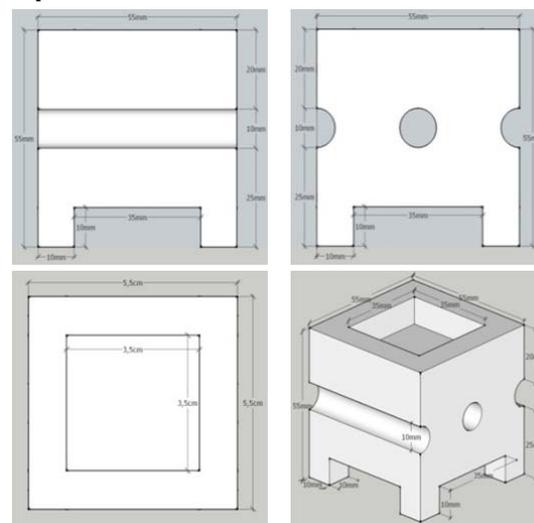
Skematisasi skenario model yang dilakukan dalam eksperimen model fisik 2-Dimensi di dalam *flume* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1 Skematisasi Skenario Model Fisik 2 dimensi

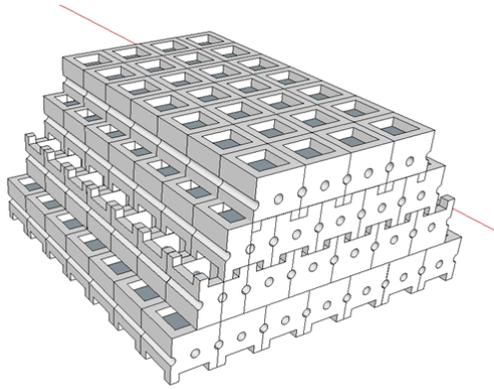
Skenario model	Kedalaman air (m)	Tinggi freeboard (m)	Lebar Puncak (m)
1	0.40	0.20	1,0
			1.5
			2.0
2	0.35	0.15	1,0
			1.5
			2.0
3	0.30	0.10	1,0
			1.5
			2.0
4	0.25	0.05	1,0
			1.5
			2.0
5	0.20	0.00	1,0
			1.5
			2.0

**Pembuatan Model**

Model *breakwater* tenggelam blok beton berkait dengan skala 1 : 10 ini dibuat dari campuran semen dan pasir dengan gambar teknis seperti berikut:



Gambar 2 Tampilan Isometrik model breakwater blok beton berkait

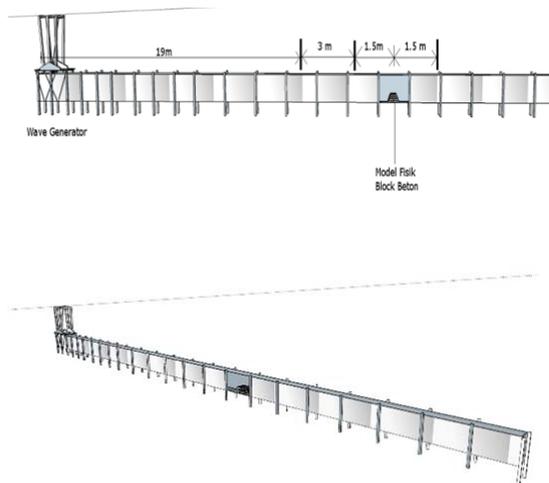


**Gambar 3** Sketsa penyusunan block beton

### Pelaksanaan Pengujian

Prosedur penelitian refleksi pemecah gelombang ambang rendah blok beton berkait, yaitu :

- a. Pemasangan 3 buah *wave probe* di saluran *flume*
  - a) 1 *wave probe* di dekat blade *wave generator* untuk mengetahui tinggi gelombang datang
  - b) 1 *wave probe* di benda uji untuk mengetahui tinggi gelombang refleksi
  - c) 1 *wave probe* dibelakang benda uji untuk mengetahui tinggi gelombang transmisi
- b. *Gearbox wave generator* berada pada posisi 90°
- c. Dalam setiap perubahan skenario tinggi elevasi muka air maka akan dilakukan kalibrasi alat *wave probe*.



**Gambar 4** Posisi peletakan *wave probe* 1, 2 dan 3

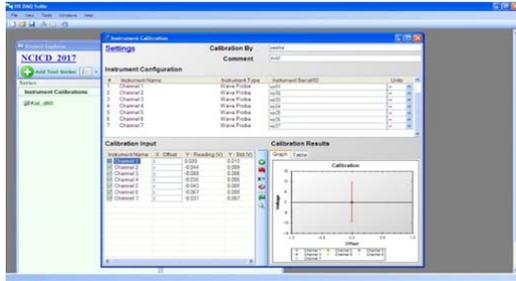
### Kalibrasi

Pelaksanaan kalibrasi *wave probe* dilakukan sebelum pengujian utama dilaksanakan. Setelah persiapan flume selesai dan *wave probe* ditempatkan pada masing-masing titik pengukuran, kalibrasi dapat dimulai. Pekerjaan kalibrasi *wave probe* membutuhkan teknisi minimal sebanyak dua orang: satu teknisi bertugas menaik-turunkan elevasi *probe*, sedangkan satu teknisi bertugas sebagai operator software dan mengatur logger. Proses kalibrasi *wave probe* untuk tujuh unit *wave probe* menghabiskan waktu kurang lebih 30 menit.

Kalibrasi dari tinggi gelombang ke tegangan output dapat dilakukan dengan mengukur perubahan tegangan output ketika elevasi *probe* dinaikkan atau diturunkan setinggi muka air tenang acuan. Instrument *wave probe* yang digunakan pada pengujian ini (HR Wallingford) dirancang mengakomodasi kebutuhan pengkalibrasian: gagang *probe* dilengkapi dengan serangkaian lubang yang berjarak 2 cm satu dengan yang lain untuk mempermudah proses kalibrasi.

Kalibrasi *wave probe* HR Wallingford menggunakan modul 'calibration' yang terdapat di dalam software HR DAQ. HR DAQ akan merekam input sinyal tegangan (voltage) pada saat elevasi *wave probe* dinaikkan dan diturunkan, kemudian membandingkannya terhadap nilai model yang dimasukkan. Setelah (minimal) tiga titik kalibrasi, HR DAQ akan mengkalkulasi tingkat ketepatan (Goodness of Fit) menggunakan Metode Kuadrat Terkecil. Raw data kalibrasi dan faktor penskalaan kalibrasi disimpan ke sebuah file yang secara otomatis dinamakan berdasarkan instrument, judul project, dan waktu dan tanggal file tersebut disimpan.

Kalibrasi alat *wave probe* dilakukan untuk meningkatkan ketelitian dari pembacaan tinggi gelombang oleh sensor. Peningkatan ketelitian itu dengan membandingkan antara data yang dibaca oleh *wave probe* dengan perubahan tinggi muka air yang dinaik turunkan sebesar 2 cm apakah benar yang dibaca oleh *wave probe* tersebut juga 2 cm. dari ketidaksesuaian itu nantinya akan diperoleh nilai error antara data bacaan *wave probe* dan naik turun muka air dan diharapkan error  $R^2 = 0.999$



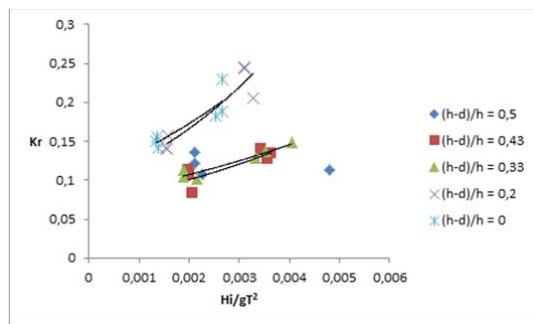
**Gambar 5** Tampilan jendela Instrument Calibration - HR DAQ pada kondisi awal kalibrasi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Kecuraman Gelombang Terhadap Refleksi Gelombang Pada Lebar Puncak Bangunan B = 1,0**

Untuk menyajikan hubungan kecuraman gelombang pada lebar puncak bangunan B = 1,0 dengan nilai koefisien refleksi (Kr) digunakan parameter tak berdimensi  $\frac{H_i}{gT^2}$  atau kecuraman gelombang sebagai parameter yang merepresentasikan karakteristik gelombang. Digunakan pula (h-d)/h sebagai parameter kedalaman air.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh nilai kecuraman gelombang  $\frac{H_i}{gT^2}$  dan koefisien refleksi (Kr). Jika mengambil  $\frac{H_i}{gT^2}$  sebagai variabel sumbu X dan koefisien refleksi (Kr) sebagai variabel sumbu Y untuk tiap nilai kedalaman maka akan didapatkan grafik seperti **Gambar 6**.



**Gambar 6** Hubungan Kecuraman Gelombang terhadap Koefisien Refleksi pada lebar puncak 1,0

Dari **Gambar 6** dapat disimpulkan bahwa trend yang dihasilkan oleh koefisien refleksi dari semua konfigurasi tersebut adalah naik, nilai koefisien refleksi (Kr) akan semakin tinggi dengan semakin meningkatnya kecuraman gelombang ( $\frac{H_i}{gT^2}$ ). Dengan kata lain refleksi

gelombang yang terjadi akan semakin tinggi apabila periode gelombang semakin kecil begitu juga dengan panjang gelombangnya sehingga untuk gelombang dengan periode yang kecil seperti swell akan mengakibatkan Kr semakin meningkat. Untuk pengaruh elevasi muka airnya sendiri, nilai koefisien refleksi (Kr) akan semakin besar dengan semakin kecilnya nilai elevasi muka air, berdasarkan hubungan antara (h-d)/h semakin kecil nilai (h-d)/d dimana ketinggian struktur akan mendekati kedalam dimana muka air akan sama dengan ketinggian struktur akan sama dengan muka air (h-d)/d = 0 maka nilai kr akan semakin besar. Adapun besaran nilai refleksi pada grafik ini yakni elevasi muka air (h-d)/h = 0,5 berkisar 10,7% - 17,6%, pada elevasi muka air (h-d)/h = 0,43 berkisar 8,3% - 14%, pada elevasi muka air (h-d)/h = 0,33 berkisar 10,1% - 14,9%, pada elevasi muka air (h-d)/h = 0,2 Berkisar 14% - 24,5% sedangkan pada elevasi muka air (h-d)/h = 0 berkisar 14,1% - 22,9%.

Dari hasil tersebut diatas dapat diketahui bahwa refleksi yang efektif untuk bangunan pemecah gelombang pada skenario (h-d)/h = 0 dimana ketinggian muka air = ketinggian stuktur sehingga Kr diperoleh nilai tertinggi.

**Pengaruh Kecuraman Gelombang Terhadap Refleksi Gelombang Pada Lebar Puncak Bangunan B = 1,5**

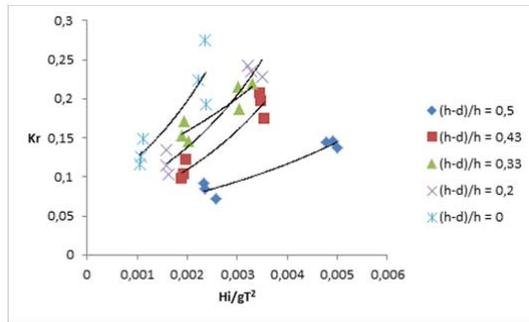
Untuk menyajikan hubungan kecuraman gelombang pada lebar puncak bangunan B = 1,5 dengan nilai koefisien refleksi (Kr) digunakan parameter tak berdimensi  $\frac{H_i}{gT^2}$  atau kecuraman gelombang sebagai parameter yang merepresentasikan karakteristik gelombang. Digunakan pula (h-d)/h sebagai parameter kedalaman air.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh nilai kecuraman gelombang  $\frac{H_i}{gT^2}$  dan koefisien refleksi (Kr). Jika mengambil  $\frac{H_i}{gT^2}$  sebagai variabel sumbu X dan koefisien refleksi (Kr) sebagai variabel sumbu Y untuk tiap nilai kedalaman maka akan didapatkan grafik seperti **Gambar 7**.

Dari **Gambar 7** dapat disimpulkan bahwa trend yang dihasilkan oleh koefisien refleksi dari semua konfigurasi tersebut adalah naik, nilai koefisien refleksi (Kr) akan semakin tinggi dengan semakin meningkatnya kecuraman gelombang ( $\frac{H_i}{gT^2}$ ). Untuk pengaruh elevasi muka airnya sendiri, nilai koefisien refleksi (Kr) akan semakin besar dengan semakin kecilnya nilai elevasi muka air, adapun besaran nilai refleksi pada grafik ini yakni elevasi muka air (h-d)/h =

0,5 berkisar 7,2%-14,5%, pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,43$  berkisar 9%-20,7%, pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,33$  berkisar 14,6%-21,9%, pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,2$  berkisar 10,3%-24,2% sedangkan pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0$  berkisar 11,5%-27,5%.

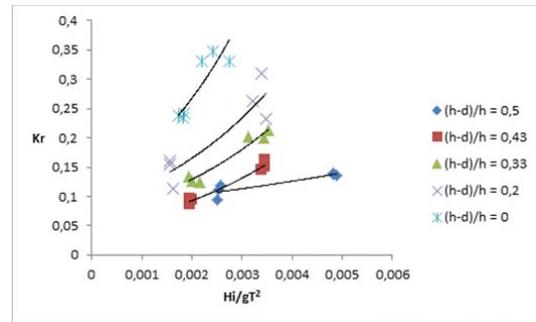
Dari hasil tersebut diatas dapat diketahui bahwa refleksi yang efektif untuk bangunan pemecah gelombang pada skenario  $(h-d)/h = 0$



**Gambar 7** Hubungan kecuraman gelombang terhadap Koefisien Refleksi pada lebar puncak 1.5

9,5%-13,9%, pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,43$  berkisar 8,9%-16,2%, pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,33$  berkisar 12,5%-21,2%, pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,2$  berkisar 11,4%-31% sedangkan pada elevasi muka air  $(h-d)/h = 0$  berkisar 23,4%-34,7%.

Dari hasil tersebut diatas dapat diketahui bahwa refleksi yang efektif untuk bangunan pemecah gelombang pada skenario  $(h-d)/h = 0$



**Gambar 8** Hubungan Kecuraman Gelombang terhadap Koefisien Refleksi pada lebar puncak 2,0

### Pengaruh Kecuraman Gelombang Terhadap Refleksi Gelombang Pada Lebar Puncak Bangunan B = 2,0

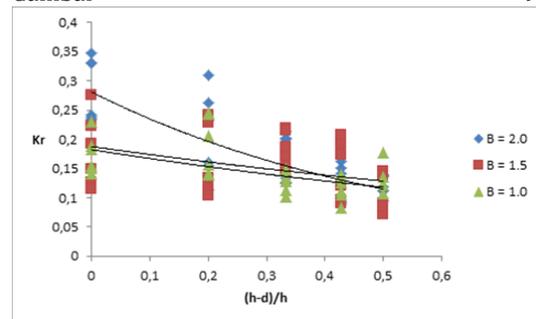
Untuk menyajikan hubungan kecuraman gelombang pada lebar puncak bangunan  $B = 2,0$  dengan nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) digunakan parameter tak berdimensi  $\frac{H_i}{gT^2}$  atau kecuraman gelombang sebagai parameter yang merepresentasikan karakteristik gelombang. Digunakan pula  $(h-d)/h$  sebagai parameter kedalaman air.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh nilai kecuraman gelombang  $\frac{H_i}{gT^2}$  dan koefisien refleksi ( $K_r$ ). Jika mengambil  $\frac{H_i}{gT^2}$  sebagai variabel sumbu X dan koefisien refleksi ( $K_r$ ) sebagai variabel sumbu Y untuk tiap nilai kedalaman maka akan didapatkan grafik seperti Gambar 8. Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa trend yang dihasilkan oleh koefisien refleksi dari semua konfigurasi tersebut adalah naik, nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) akan semakin tinggi dengan semakin meningkatnya kecuraman gelombang ( $\frac{H_i}{gT^2}$ ). Untuk pengaruh elevasi muka airnya sendiri, nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) akan semakin besar dengan semakin kecilnya nilai elevasi muka air, adapun besaran nilai refleksi pada grafik ini yakni elevasi muka air  $(h-d)/h = 0,5$  berkisar

### Pengaruh Elevasi Muka Air Pada Nilai Koefisien Refleksi

Untuk menyajikan hubungan elevasi muka air dengan nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) digunakan parameter tak berdimensi  $(h-d)/h$  atau tinggi *freeboard* sebagai parameter yang merepresentasikan karakteristik gelombang. Digunakan pula  $B$  sebagai parameter lebar puncak bangunan.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh nilai elevasi muka air  $(h-d)/h$  dan koefisien refleksi ( $K_r$ ). Jika mengambil  $(h-d)/h$  sebagai variabel sumbu X dan koefisien refleksi ( $K_r$ ) sebagai variabel sumbu Y untuk tiap nilai kedalaman maka akan didapatkan grafik seperti Gambar 9.



**Gambar 9** Koefisien Refleksi Terhadap Elevasi Muka Air

Dari Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa trend yang dihasilkan oleh koefisien refleksi dari semua konfigurasi tersebut adalah turun, nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) akan semakin mengecil dengan semakin meningkatnya elevasi muka air  $(h-d)/h$ . Untuk pengaruh lebar puncak bangunannya sendiri, nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) akan semakin tinggi dengan semakin kecilnya nilai lebar puncak bangunan,

Berdasarkan pengaruh tinggi muka air, adapun besaran nilai refleksi pada grafik ini yakni untuk  $(h-d)/h = 0.5$  berkisar 7,2% - 17,6%, untuk  $(h-d)/h = 0.43$  berkisar 8,3% - 20,7%, untuk  $(h-d)/h = 0.33$  berkisar 10,1% - 21,9%, untuk  $(h-d)/h = 0.2$  berkisar 10,3% - 30,9% dan untuk untuk  $(h-d)/h = 0$  berkisar 11,5% - 34,7%.

Berdasarkan perbedaan lebar puncak gelombang, adapun besaran nilai refleksi pada grafik ini yakni lebar puncak B 2,0 berkisar 8,8%-34,7%, pada lebar puncak B 1,5 berkisar 7,2%-27,5%, sedangkan pada lebar puncak B 1,0 berkisar 8,3%-24,5 %.

Dari hasil pengujian didapat untuk bangunan pemecah gelombang ambang rendah dengan refleksi yang lebih banyak meredam gelombang pada saat  $(h-d)/h = 0$  dan lebar puncak B = 2,0

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Unjuk kerja bangunan pemecah gelombang ambang rendah blok beton berkait berdaya guna sebagai bangunan pelindung pantai bawah air ditinjau dari refleksi gelombang dengan koefisien refleksi 34,7% pada saat  $(h-d)/h = 0$  dan lebar puncak B = 2.0

Refleksigelombang dipengaruhi oleh dimensi Pemecah gelombang ambang rendah blok beton berkait yang dicirikan oleh kedalaman air di atas puncak bangunan dan lebar puncak bangunan

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kepala Balai Litbang Pantai atas ijin penggunaan laboratorium balai pantai untuk pengujian model fisik 2D pemecah gelombang tenggelam blok beton berkait.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrori, I. Z., Armono, H. D., & Zikra, M. (2009). Pengaruh Freeboard Terumbu Karang Buatan Bentuk Silinder Berongga Sebagai Breakwater Terbenam Dalam Mereduksi Gelombang. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, 1-6. doi:ISBN 978-979-18342
- Baguelin, F., Jezequel, F. J., Lemee, E., & Le, M. A. (1972). Expansion de sondes cylindriques dans le sols coherents. *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LPC) no 61*, 189-202.
- Balai Pantai. (2015). Fasilitas laboratorium uji model Fisik. Dalam B. Pantai, *Profil laboratorium Pantai* (hal. 12-15). Buleleng, Bali: Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- CERC, U. A. (1984). *Shore protection manual*. Washington: US Army Corps of Engineers.
- Dalrymple, R. A. (1985). Physical Modelling in Coastal Engineering. *Physical Modelling in Coastal Engineering*.
- Dharma, I. S. (1994). *Unjuk Kerja Terumbu Karang Buatan (Artificial Reef) sebagai Peredam Energi Gelombang*. Yogyakarta: tesis - Universitas Gadjah Mada.
- Hughes, S. A. (1993). Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering, Volume 7 of Advanced series on ocean engineering. Singapore: World Scientific, 1993.
- Kamphuis, J. W. 1991. "Incipient Wave Breaking." *Coastal Engineering* 15 (3): 185-203. doi:10.1016/0378-3839(91)90002-X.
- Kinong, Ketut. 2006. "Transmisi Gelombang Dan Stabilitas Armor Pada Breakwater Tenggelam Disertasi."
- Ranasinghe, R., & Turner, I. L. (2006). Shoreline Response to Submerged Structures. *A review Coastal Engineering* 53, 65-79.
- Takahashi, S. (2002). *Design of vertical breakwaters*. Delft: PARI (Port and Airport Research Institute).
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.
- Yuwono, N. (1992). *Dasar Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.