

ANALISA PERILAKU GELOMBANG AIR SETELAH MELEWATI BREAKWATER TENGGELAM YANG BERBENTUK TUMPUKAN PIPA

WIBY FEBRIANDO EDY, APRIZAL, ILYAS SADAD

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung, Kampus UBL,

Email : Wibbie.f@gmail.com

Abstrak

Gelombang sangat mempengaruhi daerah pantai, baik terhadap garis pantai maupun terhadap struktur bangunan-bangunan yang berada di daerah pantai. Untuk melindungi daerah pantai dari serangan gelombang, pantai memerlukan perlindungan buatan berupa bangunan pemecah gelombang, yaitu suatu bangunan yang dimaksudkan untuk mereduksi atau menghancurkan energi gelombang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh peredaman gelombang oleh bangunan pemecah gelombang tipe tenggelam yang tersusun dari pipa setinggi 2,5m dan diletakan pada kedalaman 3m hingga 3,5m dengan gelombang rencana maksimum 1m. tinggi gelombang sebelum dan setelah teredam dihitung untuk melihat pengaruh penggunaan breakwater yang dipasang pada setiap variasi kedalaman breakwater terhadap muka air diam dan pada setiap beda panjang pipa yang digunakan. Penelitian ini difokuskan pada Kajian Model Fisik Difraksi Gelombang 1-D dan penelitian ini merupakan uji model pergerakan atau perjalanan gelombang melewati pemecah gelombang tenggelam di laboratorium dengan skala model 1 : 10. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi gelombang yang diizinkan sampai ke pantai dapat diatur berdasarkan panjang pipa yang digunakan. Untuk kedalaman air 3m, di setiap perubahan panjang pipa sebesar 2m mampu menambah peredaman gelombang sebesar $\pm 6,12\%$ dan untuk kedalaman air 3,5m, di setiap perubahan panjang pipa sebesar 2m mampu menambah peredaman gelombang sebesar $\pm 4,82\%$.

Abstract

Wave are so affecting to the coastal areas, both to the shoreline and the structures of buildings in coastal areas. For covering coastal areas from wave attack, coastal requires an artificial protection in the form of building artificial breakwater, it is a building that intended to reduce or destroy the wave energy. This study aims to determine the wave damping by building submerged breakwater type which is composed of pipes at 2.5 meter high and placed at a depth of 3 meters to 3.5 meters with a maximum of 1 meter wave plan. The high of wave before and after damped are counted to see the impact of using breakwaters in diferent deep against the SWL and at each different length of pipe. This study are focused on a diffraction study of the physical model 1-D wave and it is a movement modeling test or wave moving throught submerged breakwaters at laboratory with scale models 1 : 10. The result showed that the wave height is permitted up to beach can be set based on the length of pipe used. For a depth of 3 meter, in every length pipe changes of 2 meter, it can adding damping about $\pm 6,12\%$ and for a depth of 3.5 meter, in every 2 meter length pipe changes can adding damping about $\pm 4,82\%$.

1. PENDAHULUAN

Wilayah pantai merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia, misalnya sebagai kawasan pemerintahan, pemukiman nelayan, industri, pelabuhan, dan lain sebagainya. Adanya berbagai kegiatan tersebut dapat menimbulkan peningkatan kebutuhan akan lahan dan prasarana yang akan mengakibatkan timbulnya masalah-masalah baru, seperti hilangnya daratan akibat erosi pantai yang terjadi secara alami oleh serangan gelombang. Gelombang yang tidak teredam dengan baik ketika sampai ke pantai dapat menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai.

Untuk melindungi pantai dari erosi maka diperlukan bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) yang menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Dengan adanya *breakwater*, energi yang datang menuju pantai akan berkurang atau hilang sama sekali, perairan di belakang bangunan menjadi tenang sehingga akan terjadi endapan di belakang bangunan yang disebut *cusate* dan transpor sedimen yang terjadi pada daerah pinggir pantai akan berkurang. Selain dapat meredam gelombang, konstruksi *breakwater* yang dipasang juga dapat mempertahankan bentuk garis pantai.

Bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) dibedakan menjadi dua macam yaitu, pemecah gelombang lepas pantai dan pemecah gelombang sambung pantai. Bentuk dan karakteristik *breakwater* berbeda-beda begitu juga kemampuan peredaman gelombang yang dihasilkan. Menurut bentuknya bangunan dibedakan menjadi bangunan sisi miring dan sisi tegak dengan tipe tenggelam dan tidak tenggelam. Konstruksi *breakwater* tidak tenggelam atau yang puncaknya muncul di permukaan dari segi estetika terlihat tidak indah, dan membutuhkan biaya konstruksi dan pelaksanaan konstruksi yang lebih besar. Sedangkan penggunaan *breakwater* tenggelam dari sisi estetika sangat baik dan relatif jauh lebih murah (ekonomis). 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. Salah satu hasil penelitian model bangunan *breakwater* tenggelam yang telah digunakan adalah *reef ball* dari *Departement of Marine & Environmental Systems, Florida Institute of Technology Melbourne* (1998). Namun penggunaan *reef ball* sulit dilakukan di negara-negara berkembang karena membutuhkan biaya konstruksi dan pelaksanaan konstruksi yang sangat mahal.

Biaya konstruksi *breakwater* tenggelam yang murah dari segi manapun sangat diharapkan. Sehingga dilakukan penelitian-penelitian lain yang memungkinkan menekan biaya konstruksinya dengan peredaman gelombang yang maksimal. Seperti penelitian *breakwater* tenggelam dengan menggunakan tumpukan split, dan penelitian *breakwater* tenggelam yang dipasang seri. Akan tetapi penelitian mengenai *breakwater* tenggelam yang konstruksinya menggunakan tumpukan pipa, baik pemodelan secara fisik maupun pemodelan secara numerik belum banyak dilakukan. Sehingga belum diketahui secara pasti perilaku peredaman gelombang oleh *breakwater* tenggelam yang terbuat dari tumpukan pipa ini. Untuk itu maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai model bangunan *breakwater* tenggelam menggunakan bahan konstruksi dari tumpukan pipa.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai gelombang panjang yang datang ke arah pantai melewati *breakwater* tenggelam (bangunan pemecah gelombang yang permukaannya berada di bawah muka air) yang menggunakan bahan konstruksi pipa dengan dasar saluran licin yang dibuat dalam skala laboratorium. Data yang dihasilkan adalah data tinggi gelombang, data panjang gelombang, cepat rambat gelombang baik itu sebelum maupun sesudah teredam serta koefisien peredaman.

Dari latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Bagaimana kemampuan peredaman gelombang oleh *breakwater* tenggelam yang konstruksinya menggunakan pipa paralon?
2. Bagaimana kemampuan peredaman

- gelombang oleh *breakwater* berdasarkan perubahan panjang pipa yang digunakan?.
3. Bagaimana pengaruh peredaman gelombang oleh bangunan pemecah gelombang tenggelam dengan membandingkan ketinggian gelombang yang datang menghampiri *breakwater* dengan perubahan tinggi gelombang reduksi yang dihasilkan?
 4. Bagaimana perubahan kecepatan gelombang serta panjang gelombang yang terjadi sebelum dan sesudah menghantam *breakwater*?

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mempelajari perilaku gelombang yang datang menghampiri bangunan pemecah gelombang sampai gelombang melewati *breakwater*.
2. Mengetahui pengaruh peredaman gelombang setelah melewati bangunan pemecah gelombang tenggelam dengan membandingkan ketinggian gelombang yang datang menghampiri *breakwater* dengan perubahan tinggi gelombang yang dihasilkan.
3. Mengetahui perubahan tinggi gelombang sepanjang saluran tanpa menggunakan *breakwater* maupun dengan menggunakan 2 buah *breakwater* yang dipasang bergantian untuk tiap variasi kedalaman *breakwater* (d) terhadap muka air diam (SWL) serta menggunakan *breakwater* tenggelam yang terbuat dari batuan kali.
4. Mengetahui perubahan kecepatan gelombang serta panjang gelombang yang terjadi sepanjang saluran tanpa menggunakan *breakwater* maupun menggunakan kedua *breakwater* pipa dan menggunakan *breakwater* yang terbuat dari batuan kali.

2. STUDY LITERATUR

Salah satu cara untuk mengetahui koefisien peredaman gelombang yang datang ke arah pantai adalah dengan mengkaji model fisik difraksi gelombang 1-D melalui *breakwater* tenggelam dan mensimulasikan gelombang tersebut pada uji laboratorium dengan skala model. Uji yang akan dilakukan

dengan menyertakan suatu model *breakwater* sebagai perbandingan peredaman gelombang yang akan diteliti.

2.1 Studi Model

Suatu percobaan atau pengamatan diperlukan untuk menyelesaikan beberapa masalah teknik yang berhubungan dengan aliran fluida yang sulit atau tidak bisa diselesaikan secara analitis. Pengamatan langsung di lapangan untuk masalah atau pekerjaan yang besar akan memakan waktu yang lama dan biaya yang besar. Untuk itu maka dibuat bentuk miniatur dari permasalahan yang ada di laboratorium, yang dikenal dengan studi model. Model ini mempunyai bentuk serupa dengan permasalahan yang dipelajari tetapi dengan ukuran yang lebih kecil.

Dengan dibuatnya model akan diprediksi kelakuan dan kerja dari suatu bangunan atau mesin yang akan dibuat. Dengan model ini dapat dipelajari beberapa alternatif perencanaan sehingga akan dapat dipilih bangunan atau mesin yang paling optimum.

Bentuk sesungguhnya dari bangunan yang diselidiki disebut prototip, dan model bisa lebih besar, sama besar atau lebih kecil dari prototip. Hubungan antara model dan prototip dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidrolis. Sifat sebangun ini memperhatikan beberapa aspek yaitu sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik. Perbandingan antara prototip dan model disebut skala model.

1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukuran. Hal ini berarti bahwa perbandingan antara semua ukuran panjang yang bersangkutan termasuk kekasaran antara model dan prototip adalah sama. Perbandingan ini disebut dengan skala geometrik model.

2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik terjadi antara prototip dan model, jika prototip dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototip dan model

untuk seluruh pengaliran adalah sama.

3. Sebangun Dinamik

Jika prototip dan model sebangun geometrik dan kiematik, dan gaya-gaya yang bersagkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran mempunyai perbandingan yang sama dan bekerja pada arah yang sama, maka dikatakan sebagai sebangun dinamik.

Ada dua tipe model yaitu model matematik dan model fisik. Model matematik dapat digunakan apabila permasalahan yang ada dapat dirumuskan secara matematis yang kemudian diselesaikan secara numeris dengan menggunakan bantuan komputer. Model fisik digunakan apabila fenomena fisik dapat direproduksi dengan kesamaan yang cukup dengan memperkecil dimensi bangunan yang sesungguhnya. Model fisik dapat diklasifikasikan dalam dua tipe yaitu model tak distorsi dan model distorsi.

1. Model tak distorsi

Model yang mempunyai skala panjang dan vertikal yang sama disebut model tak distorsi. Analisis model tak distorsi, terutama dalam menentukan skala besaran karakteristik aliran berdasarkan skala geometri yang diketahui. Pada model tak distorsi bentuk geometri antara model dan prototip adalah sama tetapi berbeda ukuran dengan suatu perbandingan ukuran atau skala tertentu. Model tak distorsi ini relatif mudah dan hasil-hasil yang diperoleh dari model tersebut dapat dengan mudah ditransfer pada prototip.

2. Model Distorsi

Model yang mempunyai skala horisontal dan vertikal berbeda disebut dengan model distorsi. Model ini digunakan apabila dimensi prototip sangat besar seperti sungai, pantai, pelabuhan dan sebagainya. Pada model distorsi bentuk geometri antara model dan prototip tidak sama. Apabila skala horisontal dan vertikal sama, maka kedalaman air pada model bisa sangat kecil sehingga sulit untuk melakukan pengukuran, di samping sifat aliran yang menjadi tidak sama. Studi model distorsi ini lebih relatif lebih sulit dan hasil yang diperoleh pada model tidak mudah untuk ditransfer ke kondisi prototip.

2.2 Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Pemecah gelombang (*breakwater*) dibedakan menjadi dua macam yaitu, pemecah gelombang lepas pantai dan pemecah gelombang sambung pantai. Pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang lepas pantai banyak digunakan sebagai pelindung pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Pemecah gelombang sambung pantai biasanya digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal-kapal dapat merapat ke dermaga untuk melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang.

Bentuk dan karakteristik *breakwater* berbeda-beda begitu juga kemampuan peredaman gelombang yang dihasilkan. Menurut bentuknya bangunan dibedakan menjadi bangunan sisi miring dan sisi tegak dengan tipe tenggelam dan tidak tenggelam.

2.3 Kajian Model Fisik Difraksi Gelombang 1-D

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya, fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Dalam difraksi gelombang ini terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung. Karena adanya proses difraksi maka daerah di belakang rintangan akan terpengaruh oleh gelombang datang.

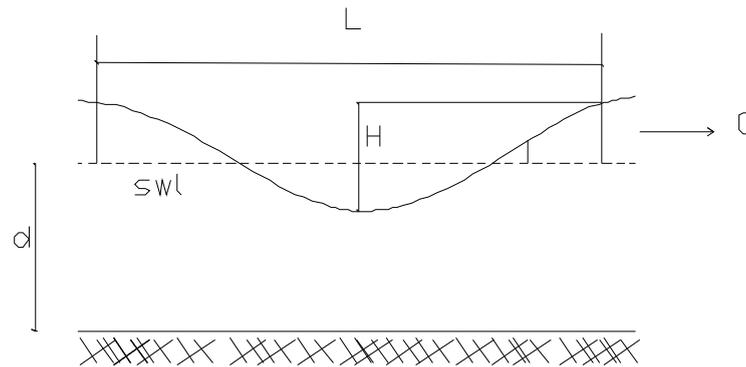
Banyak peneliti melakukan penelitian mengenai *breakwater* tenggelam beberapa tahun belakangan ini. Salah satunya adalah model *breakwater* tenggelam tipe *Reef Ball* yang dikembangkan oleh Harris (2003) yang mulai banyak diaplikasikan atau dipergunakan untuk peredaman gelombang, model ini juga dikembangkan di beberapa negara seperti Australia dan Amerika. Penelitian yang dilakukan oleh *Departement of Civil*

Engineering, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, USA adalah meneliti panjang *run-up* gelombang dengan pengaruh kemiringan pantai. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa peredaman gelombang tergantung pada kemiringan dan kekasaran dasar pantai. Untuk peredaman gelombang 20° kemiringan pantai, ketinggian peredaman gelombang diatas pantai yang kasar hampir sama dengan peredaman gelombang diatas pantai yang halus. Untuk peredaman gelombang 15° kemiringan pantai, reduksi ketinggian peredaman gelombang adalah 30%. Untuk peredaman gelombang kurang dari 10° kemiringan pantai, reduksinya ditetapkan 50%. Penelitian sebelumnya tentang struktur *breakwater* tenggelam menyatakan bahwa koefisien reduksi (C_r) dapat dihitung dengan perbandingan antara gelombang awal (H_0) dan gelombang setelah melewati *breakwater* (H),

$$C_r = \frac{H_t}{H_0} \quad (2.1)$$

2.4 Teori Gelombang Amplitudo kecil

Teori ini diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak berotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan dasar laut. Kondisi batas di permukaan air didapat dengan melinearkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap. Penyelesaian persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak rotasional. Potensial kecepatan ini kemudian digunakan untuk menurunkan persamaan dari berbagai karakteristik gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, kecepatan rambat gelombang dan sebagainya.



Gambar 1. Sket definisi gelombang

Anggapan-anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut ini.

1. Zat cair adalah homogeny dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya Coriolis (akibat perputaran bumi) diabaikan.
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.

7. Amplitude gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.

Gambar 1 berikut menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x, y . Gelombang menjalar pada arah sumbu x . Berikut beberapa notasi yang digunakan :

- d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(X,t)$: fluktuasi permukaan air terhadap muka air diam.
- a : amplitudo gelombang
- H : tinggi gelombang = $2a$
- L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

T : periode gelombang, interval waktu yang dibutuhkan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

C : kecepatan rambat gelombang = L/T

k : angka gelombang = $2\pi/L$

σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$

3. METODE

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian kajian model fisik difraksi gelombang 1-D dengan menggunakan dua buah *Breakwater* tenggelam yang terbuat dari pipa serta satu buah *breakwater* yang masing-masing dipasang bergantian dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung. Penelitian ini direncanakan akan dilakukan pada bulan September 2011.

3.2 Bahan yang Digunakan

Dalam penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan adalah :

1. Air

Air yang digunakan adalah air bersih. Dengan kategori tidak mengandung lumpur, minyak dan material-material yang dapat merusak kebersihannya.

2. Model *breakwater*

Model *breakwater* yang digunakan terbuat dari material paralon diameter $\frac{1}{2}$ inci yang disusun dengan tinggi 25 cm dan lebar 30 cm dibuat dalam skala laboratorium dengan panjang pipa untuk masing-masing *breakwater* berturut-turut sebesar 20 cm dan 40 cm. Model *breakwater* pembanding terbuat dari tumpukan batu kali yang disusun setinggi 25 cm dengan lebar menyesuaikan kestabilan batuan.

3.3 Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Venturi Flume*

Venturi flume merupakan alat yang biasanya dipergunakan untuk mengukur

kecepatan aliran. Alat ini terbuat dari kaca sehingga mempermudah melihat pergerakan gelombang.

2. Mistar Ukur

Sebagai alat ukur ketinggian gelombang dalam penelitian.

3. Kamera

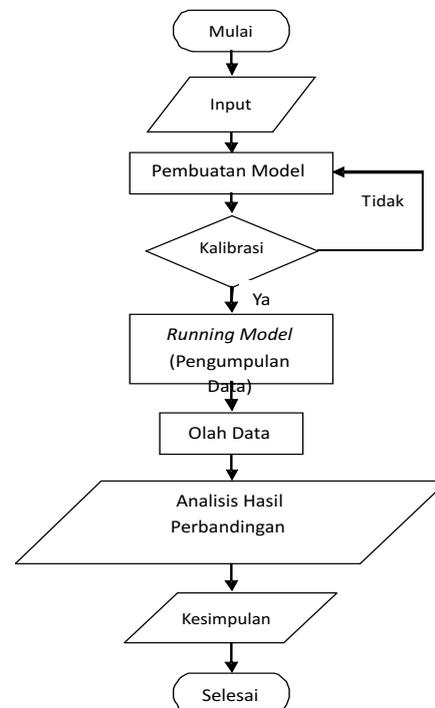
Alat ini digunakan dalam merekam aliran gelombang yang terjadi sehingga dapat melihat pergerakan gelombang secara keseluruhan dalam waktu yang berdekatan. Jarak kamera dari kaca *venture flume* adalah 310 cm. Jarak ini merupakan jarak optimal yang mampu menghasilkan bentuk gelombang yang sempurna dengan kualitas gambar yang dapat terbaca dengan baik. Data berupa *file film* yang dapat di ekstrak menjadi *file gambar (jpeg)* pada titik-titik tertentu.

4. Alat pembangkit gelombang

Digunakan sebagai pembangkit gelombang yang akan diteliti.

3.4 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian disajikan dalam diagram alir (gambar 2).



Gambar 2. Diagram alir pelaksanaan penelitian

3.4.1 Input

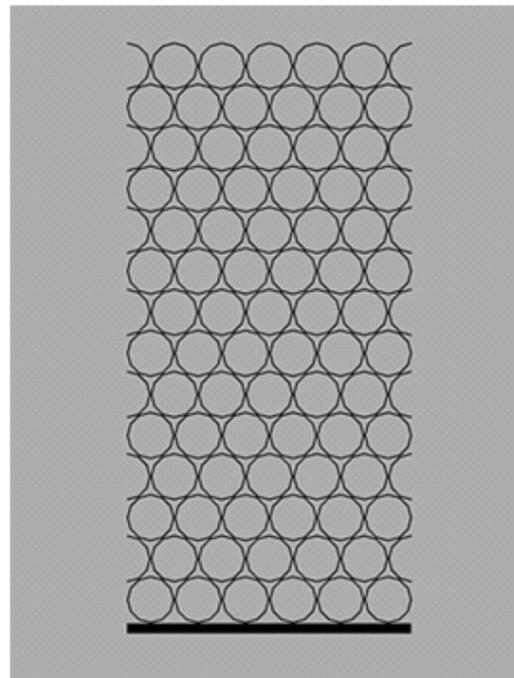
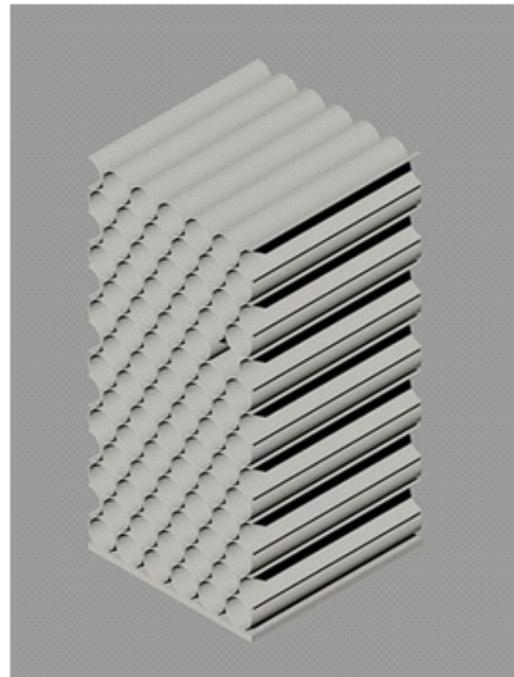
Breakwater yang direncanakan termasuk dalam skala tak distorsi, di mana bentuk geometri pada model sama dengan prototipe namun beda ukuran, yaitu skala 1 : 10. Namun mengingat betapa panjangnya *breakwater* ini maka penelitian ini di fokuskan pada satu titik potong saja, dengan bantuan dinding *ventury flume* yang licin memungkinkan laju air tidak tertahan seolah tidak ada dinding.

Tinggi *breakwater* adalah 25 cm, ini merupakan tinggi optimal mengingat tinggi efektif kaca *ventury flume* adalah 44 cm. Jika tinggi *breakwater* ditambahkan maka variasi kedalaman muka air tenang akan berkurang dan variasi gelombang pun ikut berkurang. Semakin banyak jumlah pipa maka hasil output data yang dihasilkan semakin sesuai dengan tujuan penelitian, jika tinggi *breakwater* dikurangi maka jumlah pipa pun berkurang.

Panjang potongan *breakwater* menyesuaikan lebar kolam *ventury flume* yaitu 30 cm. Sedangkan lebar *breakwater* memiliki dua variasi yaitu 20 cm dan 40 cm. Nilai 20 cm diambil sebagai lebar terkecil dan 40 cm adalah kelipatannya. *Breakwater* diletakan di laut dangkal, yaitu pada kedalaman 3 m hingga 3,5 m, dan gelombang rencana yang diperkirakan tidak lebih dari 1 m, jika di skalakan maka kedalaman air adalah 30cm hingga 35cm dengan tinggi gelombang tidak lebih dari 10cm. Gelombang satu dimensi dimana kecepatan gelombang yang diperhitungkan hanya dalam satu arah saja.

3.4.2 Pembuatan Model

Model *breakwater* pipa dibuat sebanyak 2 buah dimana tinggi *breakwater* 25cm dengan panjang pipa 20cm dan 40cm. Gambar 3 berikut adalah ilustrasi model yang akan dibuat untuk penelitian ini.



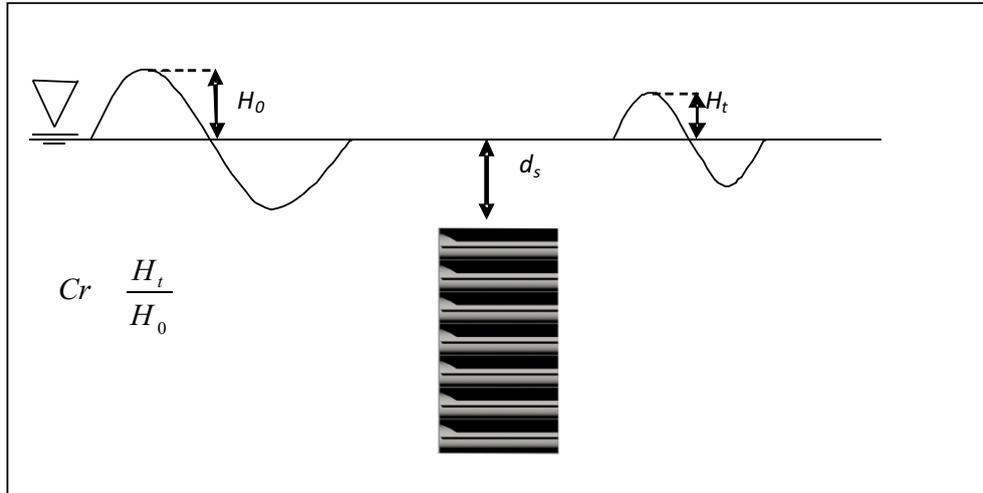
Gambar 3 Bentuk *breakwater*

Kemudian dibuat juga *breakwater* pembanding dari batu kali berbentuk trapesium dengan lebar bawah 46 cm dan lebar atas 15 cm serta memiliki kemiringan 1,5 : 1. Tinggi *breakwater* pembanding ini mengikuti tinggi *breakwater* pipa, yaitu 25cm.

3.4.3 Pengujian Difraksi Gelombang

Dalam penelitian ini yang meragamkan sampel penelitian adalah dengan membedakan

jarak bebas muka air tenang (d_s), sehingga tidak mengubah dimensi *breakwater* yang dipakai.



Gambar 4. Sketsa Penelitian

Berikut adalah sketsa *breakwater* dan gelombang dalam penelitian. Data penelitian yang diambil adalah dengan mengambil 20 sampel gelombang dengan jarak bebas muka air tenang dari permukaan *breakwater* (d_s) yang bervariasi dengan ketinggian; 5 cm dan 10 cm.

Tahapan pengujian defraksi gelombang yang dilakukan antara lain:

1. Menjalankan alat pembangkit gelombang. Pengujian awal dilakukan dengan menggunakan *breakwater* dengan panjang pipa 20 cm dengan ketinggian muka air diam 5 cm di atas permukaan *breakwater*, dalam kondisi ini dilakukan 20 kali pencatatan gelombang. Dalam 20 kali pencatatan gelombang dilakukan variasi besar dan kecil gelombang yang dibangkitkan. Hal yang sama dilakukan pada ketinggian muka air tenang pada posisi 10 cm di atas permukaan *breakwater* yaitu melakukan 20 kali pencatatan gelombang.
2. Melakukan pergantian *breakwater* dgnn panjang pipa 40 cm dan melakukan pengujian yang sama pada ketinggian muka air tenang pada posisi 5 cm dan 10 cm di atas permukaan *breakwater* yaitu melakukan 20 kali pencatatan gelombang.

3. Melakukan pergantian *breakwater* yang terbuat dari tumpukan batu kali dan melakukan pengujian yang sama pada ketinggian muka air tenang pada posisi 5 cm dan 10 cm di atas permukaan *breakwater* masing-masing 20 kali pencatatan.
4. Secara bersamaan, melakukan perekaman terhadap gelombang yang berjalan di atas *flume*. Untuk ketelitian penelitian maka gelombang yang dicatat adalah gelombang awal yang berjalan di atas *flume* karena setelah itu gelombang yang terjadi merupakan arus bolak-balik gelombang tersebut, sehingga untuk melakukan pembangkitan gelombang dan mencatat gelombang selanjutnya air harus mencapai rata-rata permukaan air tenang.

3.5 Analisis Hasil

Data penelitian yang diambil adalah data tinggi, panjang gelombang dan kecepatan gelombang sebelum mencapai *breakwater* dan pada saat setelah gelombang teredam oleh *breakwater*. Hasil pengujian ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar yang disertai pembahasannya.

Analisis hasil pengujian diuraikan sebagai berikut:

1. Membuat tabel data hasil pengujian.
2. Membuat tabel perbandingan antara ketinggian gelombang yang menghampiri *breakwater* (H_0) dan perubahan tinggi gelombang reduksi yang dihasilkan (C_r).
3. Membuat tabel perbandingan antara perilaku gelombang yang melalui *breakwater*, baik itu *breakwater* dengan panjang 20 cm maupun melalui *breakwater* dengan panjang 40 cm.
4. Membandingkan grafik perbandingan hasil dari tiga *breakwater* tersebut.
5. Membandingkan kecepatan gelombang yang terjadi, perubahan tinggi dan panjang gelombang yang terjadi dari hasil tiga *breakwater* tersebut.

Data hasil *running* model adalah berupa *file* film yang dapat di ekstrak menjadi file gambar (jpeg), dari file gambar ini secara visual dapat diambil data tinggi gelombang dan panjang gelombang sebelum mencapai *breakwater* dan pada saat setelah melewati *breakwater*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian ini secara umum akan dibagi menjadi dua, yaitu; hasil pengujian dilaboratorium dan grafik hasil perhitungan perbandingan gelombang yang terjadi dalam penelitian. Data hasil pengujian ini berupa tinggi gelombang sebelum teredam (H_0), tinggi gelombang sesudah teredam (H_t), panjang gelombang sebelum teredam (L_0), panjang gelombang sesudah teredam (L_t), cepat rambat gelombang sebelum teredam (C_0) dan cepat rambat gelombang setelah teredam (C_t) yang disajikan dalam bentuk tabel. Data hasil pengujian ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu; data pada kondisi jarak bebas muka air tenang (d_s) 5 cm atau kedalaman air 30 cm dan data pada kondisi jarak bebas muka air tenang (d_s) 10 cm atau kedalaman air 35 cm.

Perhatikan tabel berikut ini :

Tabel 1. Nilai rata-rata tinggi awal (H_0) dan tinggi akhir (H_t) serta koefisien peredamannya

Pengujian	H_0 (cm)	H_t (cm)	C_r
Kedalaman air 30cm			
1	5.3686	4.9924	0.9318
2	5.3587	4.6809	0.8750
3	6.6137	5.4200	0.8176
4	4.7905	4.0293	0.8421
Kedalaman air 35cm			
1	4.9435	4.6607	0.9440
2	4.6611	4.1947	0.9026
3	6.0305	5.1568	0.8571
4	5.6217	4.8480	0.8656

Ket :

1. Tanpa *breakwater*.
2. Dengan *breakwater* pipa 20cm.
3. Dengan *breakwater* pipa 40cm.
4. Dengan *breakwater* batu kali.

Berdasarkan nilai rata-rata dari tabel 1 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa semakin panjang pipa tersebut semakin baik peredamannya, baik itu saat muka air setinggi 30cm maupun 35cm, dimana selisih koefisien peredamannya adalah sebagai berikut :

1. Kedalaman air 30cm.
 - Selisih C_r pada pengujian pertama dan kedua sebesar 0,0568.
 - Selisih C_r pengujian kedua dan ketiga adalah 0,0574.
2. Kedalaman air 35cm
 - Selisih C_r pada pengujian pertama dan kedua sebesar 0,0414.
 - Selisih C_r pengujian kedua dan ketiga sebesar 0,0455.

Jika keempat nilai ini dirata-ratakan lagi, maka nilai yg didapat 0,0571 untuk kedalaman air 30cm dan 0,0434 untuk kedalaman air

35cm. Ini artinya pada kedalaman air 30cm, disetiap penambahan panjang pipa sebesar 20cm mampu mengurangi nilai Cr gelombang sebesar 6,12 %. Begitu juga pada kedalaman air 35cm, disetiap penambahan pipa sebesar 20cm mampu mengurangi nilai Cr sebesar 4.82%.

Dari hasil analisa data diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa besar rata-rata gelombang yang diizinkan sampai ke tepi pantai dapat diatur berdasarkan perubahan panjang pipa nya. Nilai input yang dimasukkan adalah gelombang datang dan gelombang yang diharapkan terjadi. Dari kedua nilai ini akan didapatkan Cr yang diinginkan. Nilai Cr yang diinginkan ini dibagi dengan nilai Cr yg mewakili setiap 20cm panjang pipa. Perhatikan contoh berikut ini:

Misal:

Dengan kondisi yang sama pada percobaan diatas Nilai Cr per panjang pipa 20cm = 0,0517
 $H_o = 10\text{cm}$ H_r yang diharapkan sampai ke tepi pantai = 5cm.

Maka, Nilai Cr rencana = $H_r/H_o = 5/10 = 0,5$
 Panjang pipa yang dibutuhkan = $20 \times (0,5/0,0517) = 193,42\text{cm}$

Dari contoh diatas, untuk meredam gelombang sebesar 50% dari gelombang semula membutuhkan pipa 1/2 inci sepanjang 193,42 cm. Dalam skala laboratorium, hal ini memungkinkan terjadi namun untuk aplikasi sebenarnya dipantai perlu penelitian lebih besar lagi.

Perubahan kedalaman air juga mempengaruhi peredaman gelombang. Dari tabel 25 dapat terlihat jelas bahwa nilai Cr pada kondisi kedalaman air 35cm lebih besar dari pada saat kondisi kedalaman air 30cm. ini berarti semakin besar jarak ds (jarak dari muka air ke bagian atas *breakwater*) semakin lemah juga peredamannya.

Nilai peredaman pada *breakwater* pipa 40cm lebih kecil daripada nilai peredaman pada *breakwater* batuan kali. Ini berarti kemampuan *breakwater* pipa 40cm dalam meredam gelombang lebih baik dari pada *breakwater* batu kali.

Perubahan panjang gelombang rata-rata yang terjadi selama penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perubahan panjang gelombang sebelum teredam (L_o) dan sesudah teredam (L_t).

Pengujian	L_o	L_t	Pertambahan panjang (%)
Kedalaman 30			
1	235.7790	268.1574	13.73
2	206.7786	267.7141	29.47
3	205.0941	272.1494	32.69
4	192.4005	212.7995	10.60
Kedalaman 35			
1	232.1716	294.7967	26.97
2	218.5164	261.8645	19.84
3	234.1476	289.5603	23.67
4	239.4280	293.3484	22.52

Ket:

1. Tanpa *breakwater*.
2. Dengan *breakwater* pipa 20cm.
3. Dengan *breakwater* pipa 40cm.
4. Dengan *breakwater* batu kali.

Dari tabel 2 diatas, perubahan panjang gelombang telah terjadi dari awal penelitian, karena tanpa *breakwater* pun telah terjadi pemanjangan gelombang. Berdasarkan tabel 26 diatas, gelombang yang telah teredam rata-rata lebih panjang daripada gelombang sebelum teredam. Perubahan gelombang sangat beragam sehingga ditarik kesimpulan bahwa perubahan panjang pipa tidak begitu berpengaruh terhadap perubahan panjang gelombang. Gelombang tetap bertambah panjang baik itu dengan *breakwater* ataupun tanpa *breakwater*.

Dilihat dari hasil pengukurannya dan berdasarkan kedalaman relatifnya, gelombang dalam penelitian ini masuk kedalam kelompok gelombang di laut transisi (dimana $1/20 < d/L < 1/2$, ket: d = kedalaman air, L = panjang gelombang)

Cepat rambat rata-rata dari delapan pengujian diatas dapat dirangkum pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Rata-rata perubahan cepat rambat sebelum teredam(C_0) dan sesudah teredam (C_t)

Pengujian	C_0	C_t	Penurunan kecepatan (%)
Kedalaman 30			
1	188.7294	162.8671	13.70
2	167.8913	138.5031	17.50
3	158.9246	118.9194	25.17
4	154.0045	118.3018	23.18
Kedalaman 35			
1	176.9629	168.2779	4.91
2	175.7946	146.4756	16.68
3	182.6300	148.7036	18.58
4	166.9310	137.5187	17.62

Ket:

1. Tanpa *breakwater*.
2. Dengan *breakwater* pipa 20cm.
3. Dengan *breakwater* pipa 40cm.
4. Dengan *breakwater* batu kali.

Dari tabel 27 diatas, terjadi penurunan kecepatan disetiap kondisi dimana selisih nilai dari kecepatannya pada pengujian kesatu, kedua dan ketiga semakin besar kemudian kembali mengecil pada pengujian keempat. Ini berarti semakin panjang pipa *breakwater*, kecepatan gelombang setelah melewati *breakwater* semakin menurun. Dari tabel 27 inipun dapat dilihat bahwa kemampuan *breakwater* pipa 40cm lebih baik daripada *breakwater* batu kali dalam hal meredam kecepatan gelombang.

Di kedalaman air 35cm, pada pengujian pertama, cepat rambat gelombang mengalami sedikit penurunan yaitu 4,91%, ini diakibatkan pada area pengamatan, beberapa cepat rambat gelombang justru meningkat dikarenakan tidak adanya penghalang. Namun peningkatan kecepatan ini menghilang dan penurunan kecepatan cenderung stabil setelah diberikan *breakwater* sebagai penghalang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan koefisien peredamannya dapat terlihat jelas antara gelombang yang berjalan tanpa adanya pengaruh *breakwater* dengan gelombang yang diberikan pengaruh *breakwater*. Berdasarkan nilai C_r nya, semakin panjang pipa *breakwater* semakin baik pula peredamannya. Nilai koefisien peredaman gelombang tanpa *breakwater* untuk kedua kondisi masing-masing adalah 0.9318 (untuk kedalaman air 30cm) dan 0.9440 (untuk kedalaman air 35cm), semua nilai awal ini mendekati nilai satu, artinya peredaman yang terjadi kecil sekali. Kemudian disetiap pertambahan 20cm pipa *breakwater* maka nilai peredamannya berkurang sebesar 0,0571 untuk kedalaman air 30cm dan 0,0434 untuk kedalaman air 35cm. Ini artinya pada kedalaman air 30cm, disetiap penambahan panjang pipa sebesar 20cm mampu meredam gelombang sebesar 6,12%. Begitu juga pada kedalaman air 35cm, disetiap penambahan pipa sebesar 20cm mampu menambah peredaman gelombang sebesar 4,82%.
2. Semakin besar jarak d_s (jarak antara muka air terhadap bagian atas *breakwater*) maka semakin menurun pula kemampuan peredaman gelombang ini. Artinya semakin tenggelam *breakwater* ini semakin tidak mampu meredam gelombang.
3. Perubahan panjang gelombang tidak begitu berpengaruh terhadap *breakwater*. Panjang gelombang yang terjadi baik itu tanpa *breakwater* ataupun dengan *breakwater* menghasilkan nilai yang sebanding. Yaitu sama-sama mengalami perpanjangan gelombang. Cepat rambat gelombang mengalami penurunan disetiap kondisi dimana persentase penurunannya pada pengujian kesatu, kedua dan ketiga semakin besar kemudian kembali mengecil

- pada pengujian keempat. Ini berarti semakin panjang pipa breakwater, kecepatan gelombang setelah melewati *breakwater* semakin menurun.
5. Sebagai *breakwater* perbandingan digunakan *breakwater* dari batu kali, hasil yang didapat adalah sebagai berikut :
 - a. Koefisien peredaman gelombang *breakwater* batu kali nilainya lebih tinggi daripada *breakwater* pipa 20cm. Artinya kemampuan *breakwater* batu kali dalam meredam gelombang lebih baik daripada menggunakan *breakwater* pipa 20cm.
 - b. Koefisien peredaman gelombang *breakwater* batu kali nilainya lebih rendah daripada *breakwater* pipa 40cm. Artinya gelombang lebih mampu teredam oleh *breakwater* pipa 40cm daripada oleh *breakwater* batu kali.
 - c. Penurunan cepat rambat gelombang pada *breakwater* batu kali lebih baik daripada *breakwater* pipa 20cm.
 - d. Penurunan cepat rambat gelombang pada *breakwater* pipa 40cm lebih baik daripada *breakwater* batu kali.

5.1 Saran

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model fisik difraksi gelombang 1-D, yang memfokuskan penelitian pada bagaimana perbandingan peredaman gelombang setelah melewati *breakwater*. Adapun saran-saran yang timbul setelah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan ruangan yang lebih terang agar gambar yang dihasilkan lebih baik.
2. Diperlukan perekam gambar yang lebih baik lagi dengan kualitas HQ (*High Quality*) agar data yang didapat memiliki resolusi yang baik dan jelas. Karena kualitas gambar sangat mempengaruhi pembacaan.
3. Pemberian warna pada air yang digunakan untuk memudahkan dan memperjelas

batas antara air dengan udara sehingga bentuk gelombang lebih terlihat jelas.

4. Menghindari sinar yang memantul ke kaca *Flume* yang membuat silau dan sulit melakukan pembacaan.
5. Dayung pembentuk gelombang yg lebih kuat dan lebar agar menghasilkan gelombang yang lebih baik lagi.
6. Penggunaan alat perekam yang baterainya lebih tahan lama agar waktu pengambilan data bisa lebih panjang.
7. Penelitian yang digunakan sebagai penerus dari penelitian ini adalah penelitian mengenai transport sedimen berdasarkan besar gelombang datang. Sehingga dapat diketahui seberapa besar gelombang yg mampu menyapu pasir untuk setiap pantai di Lampung dengan mengambil sampel pasir dari beberapa pantai.
8. Penelitian lainnya yang digunakan sebagai penerus penelitian ini adalah penelitian mengenai pengaruh perubahan diameter pipa pada *breakwater* terhadap perilaku gelombang yang melaluinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Kodoatie, J Robert. 2001. *Hidrolika Terapan Aliran Terbuka Pada Saluran Terbuka Dan Pipa*. Yogyakarta
- Lisnawati. 2009. *Kajian Model Fisik Difraksi Gelombang 1-D melalui Breakwater Tenggelam*. (skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Merisa, Lia. 2009. *Kajian Posisi Breakwater Dari Pantai Terhadap Wave Run Up*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Santi, Devira. 2009. *Kajian Model Fisik Difraksi Gelombang 1-D melalui Breakwater Tenggelam yang*

- Dipasang Tandem.* (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Setiawan, Budi. 2008. *Kajian Model Fisik Difraksi Gelombang 1-D Melalui Breakwater Tenggelam.* (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Triatmojo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai.* Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmojo, Bambang. 2003. *Hidrolika II.* Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmojo, Bambang. 2003. *Pelabuhan.* Beta Offset. Yogyakarta.
- Universitas Bandar Lampung, Penerbit 2010. *Format Penulisan karya ilmiah.* Bandar Lampung.
- Wamsley, Ty., Hanson, Hans., Kraus, Nicholas. 2002. *Wave Transmission at Detached Breakwater for Shoreline Response Modeling.* US Army Corps of Engineers. ERDC/CHL CHETN-II-45.