



## PEMODELAN NUMERIK PERAMBATAN GELOMBANG 2 DIMENSI MELALUI BREAKWATER TENGGELAM

**Ahmad Zakaria**

*Program Studi Magister Teknik Sipil (<http://pps-mts.unila.ac.id/>)  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. 35145  
email: [ahmadzakaria@unila.ac.id](mailto:ahmadzakaria@unila.ac.id)*

### ABSTRACT

Recently, a numerical modeling for simulating 2-D wave propagation has been studied by scientists and engineers extensively. This is intended to see how far phenomenon of wave propagation if it's really happened in the nature. Besides that because of impacts from the occurrence of tsunami in the various area in Indonesia generally and in the Aceh Province especially, studies of the phenomenon of tsunami to be increase, and also coastal protection studies by using submerged breakwaters more increase significantly. Therefore in this research is conducted a study of 2-D wave propagation over submerged breakwater. An ability of wave high reduction by submerged breakwater inspired from reef which it's having ability in weakening shallow water waves propagate to coastline. Others, also because of a reason of esthetics, breakwaters which emerge to the water surfaces have been assumed bother the fisherman activities. In this research, a 2-D hyperbolic equation is used for the simulation of its wave propagation and open boundary conditions involved for the calculation of wave propagation in its boundaries. An explicit finite different method for second order of accuracies employed for the calculation of its equation approach. Result of this research indicated that by using the 2-D hyperbolic equation, the explicit finite difference method for the second order of accuracies and the open boundary condition method for the condition of its boundaries to be able to simulate the wave propagation of over the submerged breakwater. In this research, dispersion and reflection effects of the submerged breakwater have been shown significantly. And it is available to use the submerged breakwater as a wave reduction in the coast area.

**Keywords:** numerical modeling, 2-D wave propagation, submerged breakwater.

### 1. PENDAHULUAN

Pada akhir-akhir tahun ini, banyak para peneliti dalam bidang sains dan teknologi melakukan penelitian dengan melakukan pemodelan numerik, untuk mensimulasikan perambatan gelombang secara 2 dimensi. Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat fenomena alam mengenai perambatan gelombang permukaan air, dan bagaimana perambatan gelombang tersebut kalau ini benar-benar terjadi di alam, sama seperti kondisi dan situasi atau skenario yang dibuat dalam pemodelan numeriknya. Selain dari alasan tersebut di atas, dampak yang ditimbulkan dari gelombang, seperti gelombang tsunami yang terjadi di berbagai daerah di Indonesia pada umumnya dan di profinsi Aceh pada khususnya, membuat studi mengenai fenomena gelombang tsunami semakin meningkat. Selain dari itu, penelitian mengenai sejauh mana pengaruh gelombang permukaan air laut terhadap perubahan garis pantai juga semakin menjadi perhatian. Sehingga penelitian pemodelan numerik yang berhubungan dengan

perambatan gelombang dan perlindungan pantai semakin meningkat. Pelindung alam alami yang menjadi perhatian banyak peneliti adalah batu karang yang hidup dan berada pada lokasi dekat pantai. Daerah-daerah yang memiliki batu karang yang banyak dan membentuk konfigurasi tertentu dapat melindungi pantai yang berada di belakangnya. Perbedaan kondisi, pola dan laju perubahan garis pantai antara daerah pantai yang memiliki batu karang dan pantai yang tidak memiliki batu karang menunjukkan pengaruh yang positif dari pantai yang memiliki batu karang di pinggir pantainya. Fenomena ini mengilhami timbulnya ide penelitian mengenai perlindungan pantai oleh batu karang atau suatu konfigurasi batuan yang disusun sedemikian, sehingga menyerupai batu karang dan diharapkan dapat melakukan perlindungan pantai seperti batu karang. Selain dari itu, alasan lainnya adalah, pelindung pantai (*breakwater*) yang biasa dipergunakan untuk perlindungan pantai dianggap membuat pantai menjadi tidak indah atau merusak pemandangan di pantai dan dengan keberadaan pelindung pantai (*breakwater*) tersebut membuat aktifitas nelayan menjadi terganggu, hal ini karena konstruksi pelindung pantai yang biasa dipasang untuk melindungi pantai terhadap gelombang selalu dengan permukaan yang muncul dipermukaan air.

Pelindung pantai yang disusun sedemikian rupa, tetapi konstruksi tersebut berada dibawah permukaan air atau tenggelam bagaikan batu karang, inilah yang dinamakan dengan *breakwater tenggelam (submerged breakwater)*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari fenomena dispersi dan refleksi dari perambatan gelombang yang melewati *breakwater tenggelam*.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian numerik. Dengan menggunakan metode penelitian ini, biaya penelitian menjadi jauh lebih murah dibandingkan dengan apabila melakukan penelitian dengan menggunakan metode fisik (model laboratorium atau lapangan).

### Persamaan Gelombang

Persamaan gelombang yang dipergunakan untuk memodelkan perambatan gelombang (Zakaria, 2003) yang melalui *breakwater tenggelam* adalah persamaan Hyperbola 2 dimensi (2-D) sebagai berikut,

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = c^2 \left\{ \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right\} \quad (1)$$

dimana:

$\eta$  = elevasi permukaan air

$c$  = kecepatan perambatan gelombang

$$c = \sqrt{g \cdot d}$$

$d$  = kedalaman perairan

Untuk solusi persamaan hyperbola 2-D di atas di pergunakan metode eksplisit beda hingga (*explicit finite-difference method*). Dengan menggunakan metode hingga, diskritisasi dari persamaan (1) di atas menjadi sebagai berikut,

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = \frac{\eta_{i,j}^{n-1} - 2 \cdot \eta_{i,j}^n + \eta_{i,j}^{n+1}}{\Delta t^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{\eta_{i-1,j}^n - 2 \cdot \eta_{i,j}^n + \eta_{i+1,j}^n}{\Delta x^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} = \frac{\eta_{i,j-1}^n - 2 \cdot \eta_{i,j}^n + \eta_{i,j+1}^n}{\Delta y^2} \quad (4)$$

Dari persamaan (2), (3) dan (4) serta dengan memasukkan  $c = \sqrt{g \cdot d}$  (Mihardja, 1989) dapat disusun persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\eta_{i,j}^{n-1} - 2 \cdot \eta_{i,j}^n + \eta_{i,j}^{n+1}}{\Delta t^2} = g \cdot d \cdot \left[ \frac{\eta_{i-1,j}^n - 2 \cdot \eta_{i,j}^n + \eta_{i+1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{\eta_{i,j-1}^n - 2 \cdot \eta_{i,j}^n + \eta_{i,j+1}^n}{\Delta y^2} \right] \quad (5)$$

Persamaan (5) merupakan solusi pendekatan metode eksplisit beda hingga dari persamaan hyperbola 2-D.

Perambatan gelombang permukaan yang dimodelkan dibatasi oleh batas yang secara fisik sebetulnya tidak ada. Sehingga untuk membuat seolah-olah gelombang dapat merambat pada batas terbuka, persamaan matematik diterapkan pada batas-batas tersebut agar tidak terjadinya refleksi pada batas terbuka tersebut. Pengkondisian batas tersebut disebut dengan kondisi batas. Untuk pemodelan ini, kondisi batas yang dipergunakan adalah kondisi batas terbuka yang biasanya dipergunakan dalam pemodelan perambatan gelombang sebagai berikut,  
Kondisi Batas

Kondisi batas yang dipergunakan untuk pemodelan ini adalah kondisi batas terbuka (*open boundary conditions*). Kondisi batas terbuka ini diperlukan untuk mereduksi penjarangan gelombang yang bergerak keluar dari bidang pemodelan untuk penjarangan yang dibuat. Pada batas yang secara fisik tidak ada ini, dianggap tidak boleh terjadinya refleksi gelombang. Persaman yang dipergunakan sebagai persamaan kondisi batas terbuka adalah persamaan yang diperkenalkan oleh Reynold (1978) adalah sebagai berikut,

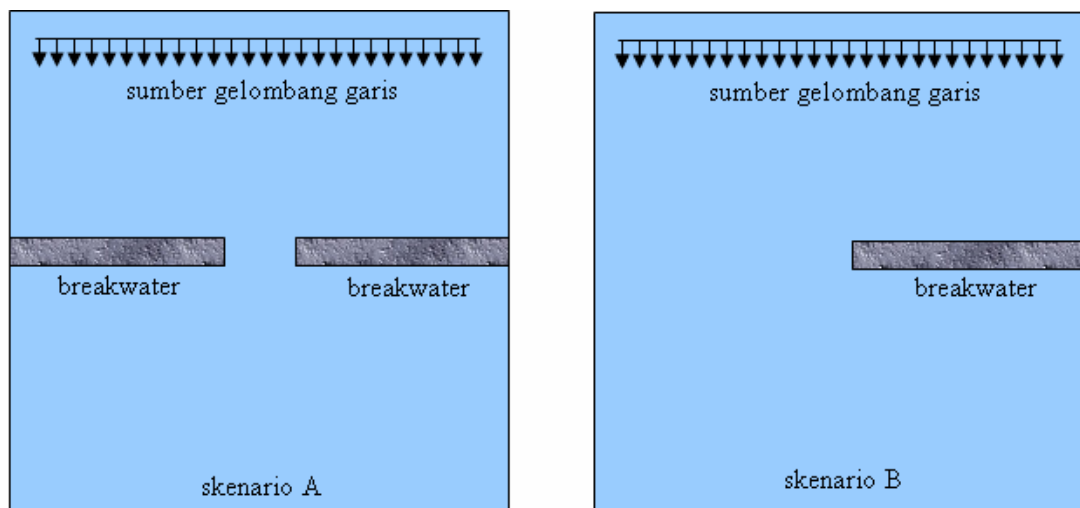
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + c \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

Dengan menggunakan persamaan (6) di atas, refleksi pada batas terbuka dapat direduksi.

Dengan menggunakan persamaan hyperbola 2-D dan dengan menggunakan persamaan batas terbuka maka dapat dimodelkan perambatan gelombang permukaan air. Dengan menempatkan breakwater tenggelam pada kedalaman tertentu dan dengan konfigurasi tertentu (2 skenario) maka dapat dilihat sejauh mana perambatan gelombang melalui breakwater tenggelam.

### SETTING MODEL

Untuk model sumber gelombang permukaan, dipergunakan sumber model gelombang tipe Ricker Wavelet (Zakaria, 2003). Gelombang dipasang sebagai gelombang garis yang memanjang sejajar dengan breakwater. Skenario untuk model perambatan gelombang yang dipergunakan adalah 2 skenario. Skenario A, breakwater dipasang memanjang kiri dan kanan dengan terbuka di bagian tengah. Diasumsikan gelombang merambat ke arah breakwater tenggelam dengan kondisi, pada lokasi breakwater gelombang akan terpantul sedangkan pada bagian yang terbuka gelombang akan terus merambat. Skenario B, breakwater dipasang pada sisi kiri sampai ke bagian tengah. Diasumsikan gelombang akan terpantul hanya pada satu sisi (sisi kiri), pada sisi kanan gelombang akan terus merambat. Untuk jelasnya setting model perambatan gelombang dapat dilihat pada gambar berikut,

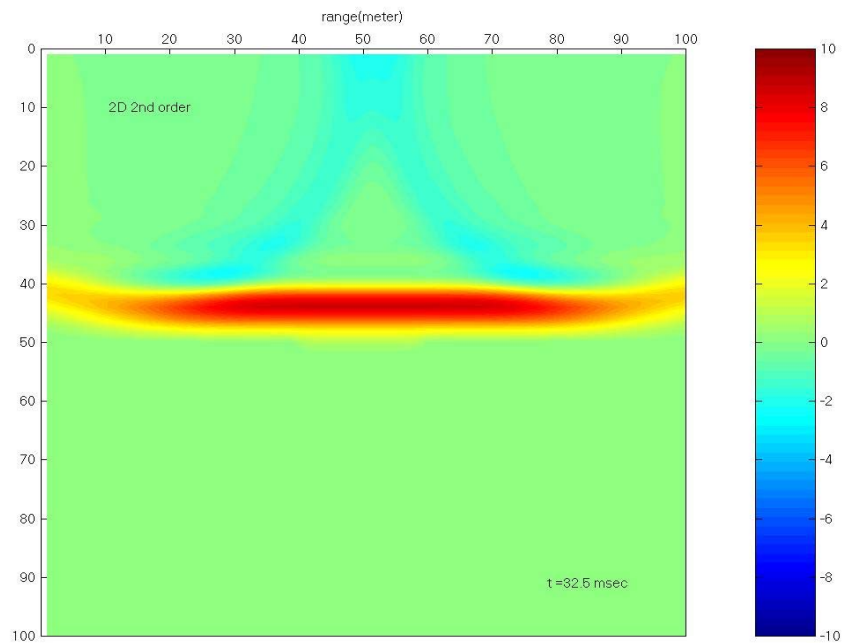


**Gambar 1.** Skenario untuk setting arah dan posisi sumber gelombang serta konfigurasi dan susunan breakwater yang dipasang. Skenario A, breakwater dipasang sisi kanan dan kiri, Skenario B, breakwater hanya dipasang sisi sebelah kiri sebelah.

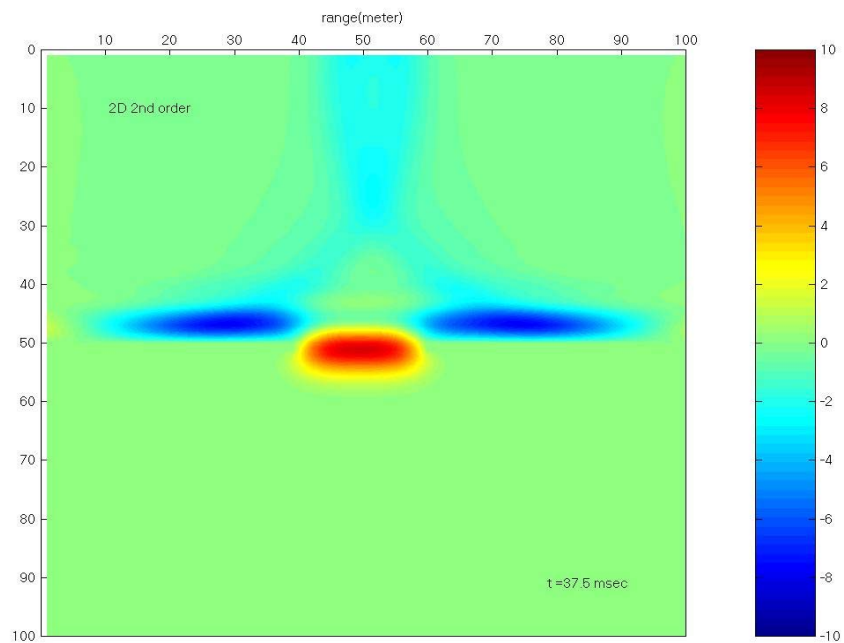
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

#### skenario A

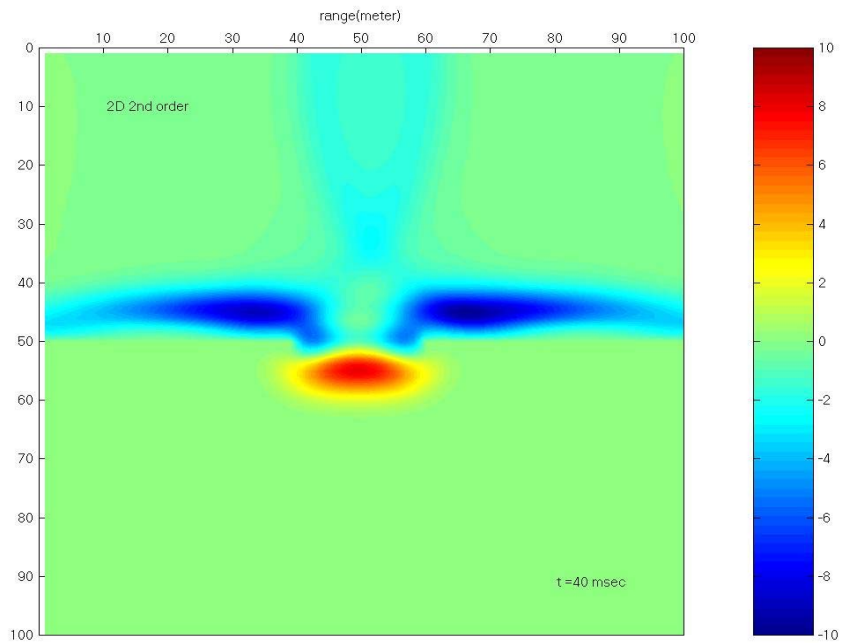


**Gambar 2.** Snapshot perambatan gelombang sebelum melalui breakwater  $t=3,25$  detik.

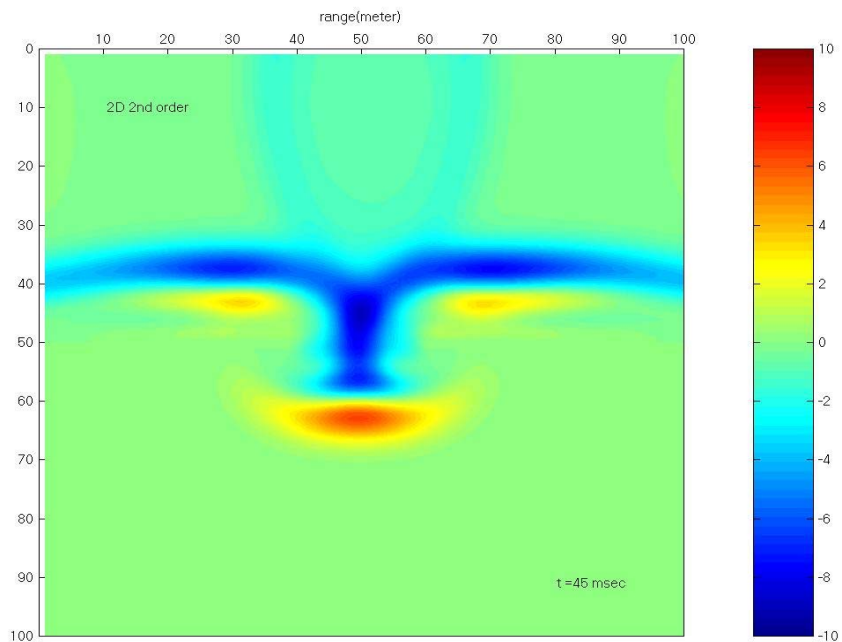


**Gambar 3.** Snapshot perambatan gelombang saat melalui breakwater  $t=3,75$  detik.

**skenario A**

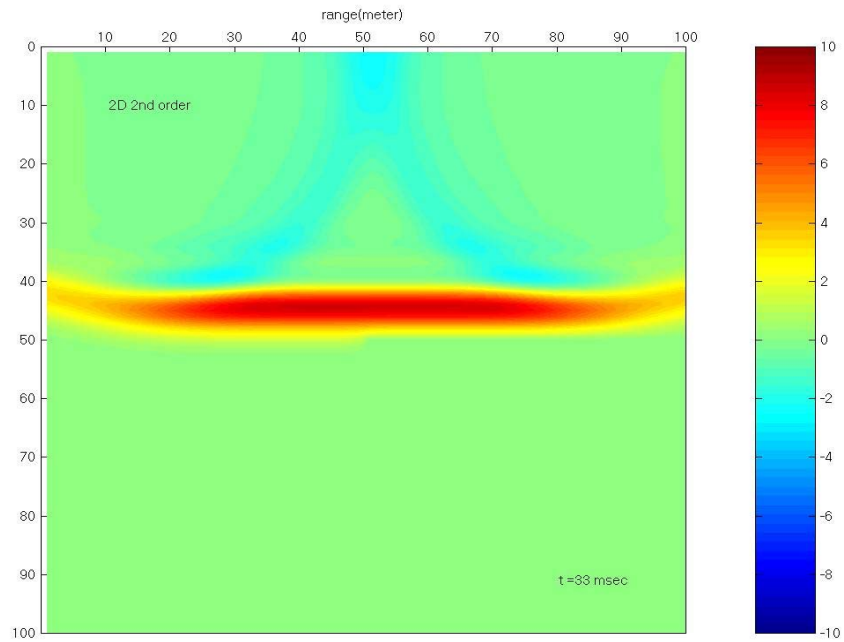


**Gambar 4.** Snapshot perambatan gelombang beberapa saat setelah melalui breakwater  $t=4,0$  detik.

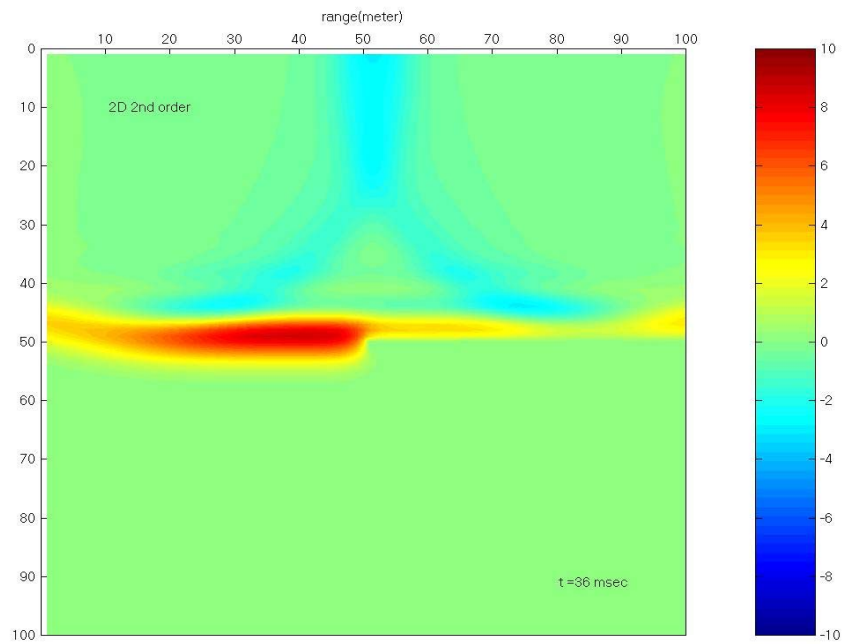


**Gambar 5.** Snapshot perambatan gelombang beberapa saat setelah melalui breakwater  $t=4,5$  detik.

**skenario B**

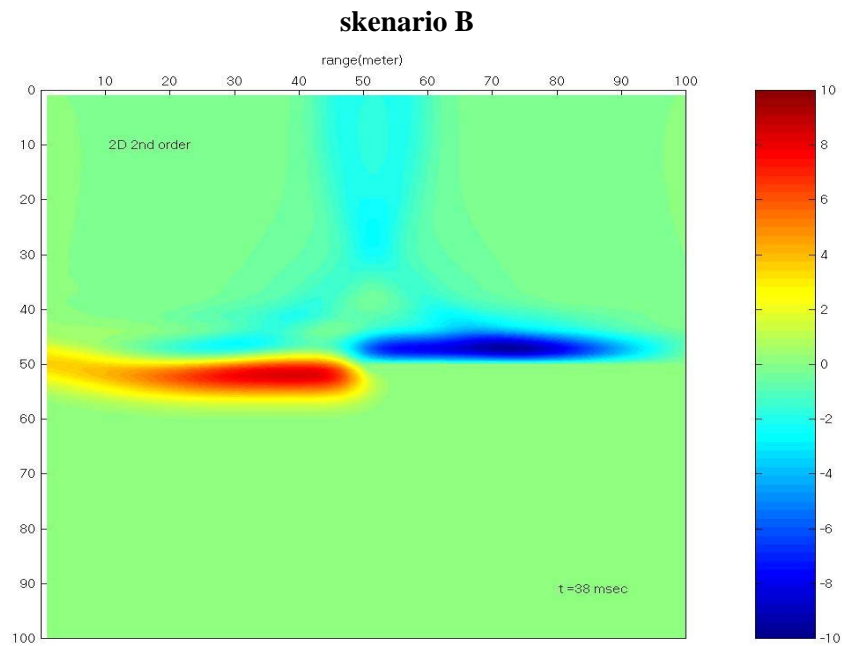


**Gambar 6.** Snapshot perambatan gelombang beberapa sesaat sebelum melalui breakwater  $t=3,3$  detik.

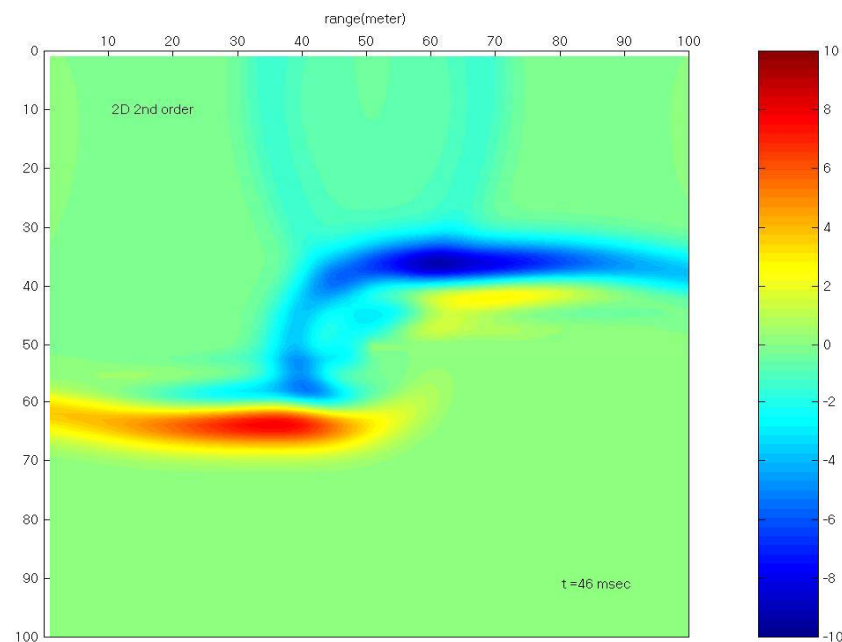


**Gambar 7.** Snapshot perambatan gelombang beberapa saat melalui breakwater  $t = 3,6$  detik.





**Gambar 8.** Snapshot perambatan gelombang beberapa saat setelah melalui breakwater  $t=3,8$  detik.



**Gambar 9.** Snapshot perambatan gelombang beberapa saat setelah melalui breakwater  $t=4,6$  detik.



Pada pemodelan ini, kedalaman perairan merata adalah 5 meter dan kedalaman puncak breakwater tenggelam dari permukaan air diam adalah 1 meter. Lebar grid ruang  $\Delta x = \Delta y = 1$  meter dan grid waktu  $dt = 0.01$  detik. Jumlah grid yang dipergunakan untuk arah  $x$  dan  $y$  adalah 101 grid 101 grid. Untuk pemodelan ini juga, karena mempergunakan persamaan hyperbola, pemodelan tidak memperhitungkan koefisien kekasaran dasar perairan. Dengan kondisi breakwater tenggelam yang disusun seperti skenario A dan skenario B (seperti Gambar 1), maka didapat hasil seperti Gambar 2, 3, 4, dan 5 untuk skenario A, dan Gambar 6, 7, 8, dan 9 untuk skenario B.

Hasil skenario A, dari Gambar 2 menunjukkan bahwa saat gelombang merambat setelah waktu  $t = 3,25$  detik, sesaat sebelum melewati breakwater. Hasil ini menunjukkan tidak adanya dispersi grid, akan tetapi masih terlihat adanya sedikit refleksi. Setelah  $t = 3,75$  detik (Gambar 3) gelombang sudah bergerak melewati breakwater, dimana pada sisi kiri dan kanan gelombang sebagian besar terpantul dan berbalik arah, sedangkan pada bagian tengahnya gelombang terus merambat. Perambatan puncak gelombang diikuti oleh lembah gelombang. Pada saat  $t = 4,0$  detik (Gambar 4), terlihat pengaruh perubahan gelombang akibat adanya sebagian gelombang yang terpantulan dan sebagian gelombang yang merambat. Perubahan ini bertambah jelas pada saat gelombang merambat pada waktu  $t = 4,5$  detik (Gambar 5), dimana pengaruh breakwater kiri dan kanan dengan terbuka ditengahnya, energi gelombang menjadi sedikit tertahan di bagian ujung tengahnya sehingga bentuk dan arah pergerakan gelombang agak melengkung dan berbelok, dan ini disebut juga dengan dispersi gelombang.

Hasil skenario B, dengan menggunakan tipe sumber yang sama, kedalaman perairan yang sama, dan hanya susunan breakwaternya yang dibuat berbeda dari skenario A, maka didapat hasil seperti ditunjukkan gambar 6, 7, 8, dan 9. Pada saat  $t = 3,3$  detik, gelombang pada posisi sesaat sebelum melewati breakwater (Gambar 6). Pada waktu  $t = 3,6$  detik, gelombang bergerak pada posisi sedang melewati breakwater, dimana terlihat gelombang disebelah kiri tertahan dan gelombang disebelah kanannya terus bergerak (Gambar 7). Pada saat gelombang bergerak pada posisi waktu  $t = 3,8$  detik, gelombang sebelah kiri sebagian besar terpantul, sedangkan gelombang disisi sebelah kanan terus bergerak (Gambar 8). Dari gambar ini sedikit terlihat adanya refleksi dari bagian sisi kiri dan kanan kondisi batas terbuka, akan tetapi dispersi tidak terlihat. Dari Gambar 9 ditunjukkan pergerakan gelombang saat mencapai waktu  $t = 4,6$  detik, dimana terlihat diujung batas antara sisi yang ada breakwaternya dengan sisi yang tidak ada breakwaternya, adanya pembelokkan gelombang atau dispersi gelombang.



## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diambil dari penelitian ini adalah, dengan adanya breakwater tenggelam, terjadinya refleksi dan dispersi gelombang untuk simulasi perambatan gelombang dengan menggunakan persamaan hyperbola 2 dimensi cukup besar, ini menunjukkan pengaruh yang signifikan dari breakwater tenggelam terhadap peredaman gelombang, dan kemungkinan dapat dimanfaatkan sebagai peredam gelombang di pantai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Reynolds, A. C., 1978, *Boundary conditions for the numerical solution of wave propagation problems*, Geophysics 43(6), 1099-1110.
- Mihardja, D. K., Hadi, S., 1989, Model matematika numerik untuk simulasi gerak pasang-surut, Pasang-Surut, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanografi LIPI, Jakarta.
- Zakaria, A., 2003, *Numerical Modelling of Wave Propagation using Higher Order Finite-Difference Formulas*, Thesis (Ph.D), Curtin University of Technology, Perth, W.A.