

Analisis Pemodelan Numerik Redaman *Breakwater* Tenggelam Tipe Berlubang dan Tidak Berlubang Menggunakan *Sigerd*

Annika Lukitawati¹⁾

Ahmad Zakaria²⁾

Subuh Tugiono³⁾

Abstract

Continuous waves crashing into the coastal area can cause abrasion on the coast and damage facilities and settlements in the area. Therefore, a coastal protection building is needed to reduce wave energy before arriving at the beach such as a breakwater. To design a breakwater it is necessary to pay attention to wave deformation, one of which is wave diffraction. Where the wave when obstructed by an obstacle will bend around the end of the obstacle and enter the protected area behind it. The complex phenomena of nature are described in terms of equations, but they are difficult to solve analytically. So in this study solved numerically with the help of a computer with 2D wave simulation software based on the principle of the hyperbolic equation propagation model. Then get the results in the form of diffraction coefficient values that are close to the results obtained in the physical model research that has been carried out. Changes in wave height occur after passing through the breakwater which indicates a change in energy from before and after passing through the breakwater.

Keywords: 2D Numerical Model , Wave, Diffraction.

Abstrak

Gelombang yang terus menerus menerjang ke daerah pantai dapat menimbulkan abrasi pada pantai dan merusak fasilitas-fasilitas dan pemukiman di daerah tersebut. Maka dari itu diperlukan bangunan pelindung pantai untuk meredam energi gelombang sebelum tiba ke pantai seperti *breakwater* (bangunan pemecah gelombang). Untuk mendesain pemecah gelombang perlu memperhatikan deformasi gelombang salah satunya adalah difraksi gelombang. Dimana gelombang saat terhalang oleh rintangan akan membelok disekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung di belakangnya. Fenomena alam yang begitu kompleks digambarkan dalam bentuk persamaan, namun sulit diselesaikan secara analitis. Maka pada penelitian ini diselesaikan secara numeris dengan bantuan komputer dengan *software* simulasi gelombang 2D berdasarkan prinsip model perambatan persamaan hiperbola. Lalu mendapatkan hasil berupa nilai koefisien difraksi yang mendekati dengan hasil yang didapatkan pada penelitian model fisik yang telah dilakukan. Perubahan tinggi gelombang terjadi setelah melewati *breakwater* yang menunjukkan adanya perubahan energi dari sebelum dan sesudah melewati *breakwater*.

Kata Kunci : Model numerik 2D, *breakwater*, gelombang, difraksi.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel:
annikalukita@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Wilayah pantai perlu perhatian lebih agar tidak terjadi erosi karena daerah tepian pantai ini akan mudah mengalami kerusakan akibat terjangan gelombang yang besar (Aldin, 2014). Maka dibuat bangunan untuk meredam energi gelombang sebelum tiba ke pantai salah satunya yaitu *breakwater* (bangunan pemecah gelombang).

Difraksi gelombang merupakan perubahan gelombang yang terjadi apabila gelombang yang datang terhalang oleh suatu penghalang atau rintangan yang dapat berupa *breakwater* maupun pulau, gelombang akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung di belakangnya. Akibatnya, terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus ke daerah terlindung. Fenomena difraksi gelombang penting

Simulasi dilakukan dengan menirukan sistem beserta dengan permasalahannya, kemudian menguji tiruan sistem tersebut dengan berbagai skenario permasalahannya. Simulasi umumnya memerlukan model sebagai alat bantu dengan bantuan komputer untuk mengetahui deformasi gelombang menggunakan model numerik sesuai dengan sistem dan permasalahannya dengan persamaan hiperbola menggunakan bahasa pemrograman, lalu mencoba memahami perubahan gelombang yang terbentuk akibat difraksi. Setelah itu menganalisa untuk mengetahui atau memprediksi arah datangnya gelombang ketika tiba ke pantai agar dapat menjaga kestabilan dan memahami proses dinamika pantai

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang

Gelombang merupakan peristiwa naik turunnya permukaan air laut secara vertikal yang mempengaruhi garis pantai dan segala aktivitas termasuk struktur bangunan-bangunan yang berada di daerah pantai tersebut. (Febriando dkk, 2012).

Gelombang laut memiliki susunan yang bervariasi dan kompleks baik bentuk maupun macamnya, berikut bagian-bagian gelombang (Ayuningtyas, 2008) :

1. Puncak gelombang yaitu titik tertinggi pada gelombang
2. Lembah gelombang yaitu titik terendah pada gelombang
3. Tinggi gelombang merupakan jarak tegak lurus antara puncak dan lembah
4. Panjang gelombang merupakan jarak mendatar antara puncak dan lembah gelombang
5. Periode gelombang yaitu waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya satu gelombang

2.2. Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Terdapat 2 macam tipe pemecah gelombang yang pertama pemecah gelombang sambung pantai dimana tipe ini biasanya terdapat pada perairan pelabuhan untuk melindungi dari gelombang agar kapal-kapal dapat merapat ke dermaga untuk bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Lalu yang kedua yaitu difokus pemecah gelombang lepas pantai untuk perlindungan pantai terhadap erosi dengan menghancurkan atau meredam energi gelombang sebelum tiba ke pantai. (Edy dkk, 2012).

Dalam tinjauan ini hanya fokus pada pemecah gelombang lepas pantai, dimana pemecah gelombang (*breakwater*) lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dengan jarak tertentu dari garis pantai. *Shore protection manual* (1984) menyebutkan beberapa aspek pemecah gelombang yang diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Aspek posisi terhadap garis pantai, *breakwater* dibedakan menjadi *shore connected breakwater* yaitu terhubung dengan garis pantai dan *offshore breakwater* yang tidak terhubung dengan garis pantai.
2. Aspek posisi terhadap permukaan air laut dibedakan dalam *breakwater* tidak tenggelam (*subaerial breakwater*) yaitu *breakwater* yang puncaknya berada diatas permukaan air dan *breakwater* tenggelam (*sumerged breakwater*) yang permukaannya berada di bawah permukaan air.

3. Sedangkan apabila ditinjau dari konstruksinya ada berbagai tipe *breakwater* antara lain *stone asphalt breakwater*, *concrete-caisson breakwater*, *rubble-mound breakwater*, *artificial armor breakwater cellular-steel*, *sheet-pile breakwater*, dan lainnya.

4. Dari aspek porositas tubuh *breakwater*, *breakwater* dibedakan menjadi *breakwater* pejal (*impermeable breakwater*) dan *breakwater* porous (*permeable breakwater*).

2.3. Persamaan Gelombang Airy

Teori gelombang airy adalah teori gelombang yang paling sederhana karena gelombang di anggap linier, gelombang ini pertama kali diperkenalkan oleh Airy pada tahun 1845. Berikut adalah beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang (Triatmodjo, 1999).

1. Rapat masa adalah konstan karena zat cair merupakan homogen tidak termampatkan, maka tegangan permukaan diabaikan.
2. Gaya *coriolis* dimana akibat perputaran bumi diabaikan.
3. Tekanan pada permukaan air adalah konstan dan seragam.
4. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
5. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
6. Amplitudo gelombang kecil terhadap kedalaman air dan panjang gelombang.
7. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi. Notasi yang digunakan dalam perhitungan gelombang airy adalah sebagai berikut:

d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$: fluktuasi muka air (muka air diam) $= \eta = a \cos(kx - \sigma t)$

a : amplitudo gelombang

H : tinggi gelombang $= 2a$

L : panjang gelombang,

T : Periode gelombang,

C : Kecepatan rambat gelombang $= L/T$

2.3.1. Teori gelombang airy

Klasifikasi gelombang menurut kedalaman relatif klasifikasi gelombang berdasarkan perbandingan antara kedalaman relatif air dan panjang gelombang L , (d/L) menjadi tiga macam dapat dilihat pada Tabel 1 yaitu :

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier (Airy)

Keterangan	Gelombang di Laut Dangkal	Gelombang di Laut Transisi	Gelombang di Laut Dalam
d/L	$d/L \geq 1/2$	$1/20 < d/L < \frac{1}{2}$	$d/L \leq \frac{1}{20}$
$\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$\approx 2\pi d/L$	$\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	≈ 1
Cepat Rambat Gelombang	$L = \frac{C}{T} = \sqrt{gd}$	$L = \frac{C}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = \sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,65 T^2$

Sumber : Nur Yuwono, 1982

2.3.2. Persamaan Gelombang Hiperbola

Persamaan gelombang (Zakaria, 2003) yang melewati *breakwater* tenggelam menggunakan persamaan Hiperbola 2 dimensi (2-D) ,

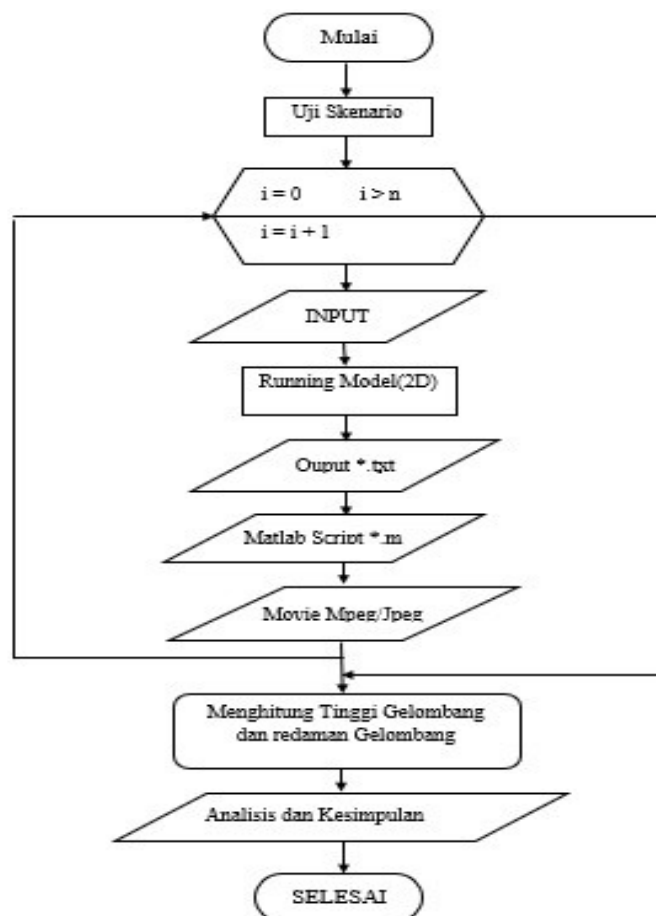
$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = c^2 \left\{ \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right\} \quad (1)$$

Dimana

η = fluktuasi muka air terhadap muka air diam
 c = cepat rambat gelombang ($\sqrt{g \cdot h}$)
 g = gravitasi

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode numerik lalu disimulasikan dengan bahasa pemrograman. Model simulasi gelombang dengan menggunakan program *Sigerd* yang dikembangkan oleh Zakaria (2014). Untuk pemodelan yang diteliti dilakukan terlebih dahulu uji model perambatan gelombang. Kemudian merancang berbagai skenario untuk simulasi pemodelan yang akan diteliti seperti pada bagan alir dibawah:



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Model Permbatan Gelombang

Untuk mengetahui sejauh mana hasil dari program ini, maka dilakukan uji model perambatan gelombang membandingkan dengan hasil uji model perambatan gelombang metode fisik (2D) . Untuk mendapatkan koefisien difraksi (C_d) yaitu dengan mencari nilai perbandingan antara H_d dan H_i .

$$H_d = C_d' \cdot H_i \quad (2)$$

Dimana,

H_d = Tinggi gelombang terdifraksi (cm)

C_d = Koefisien difraksi

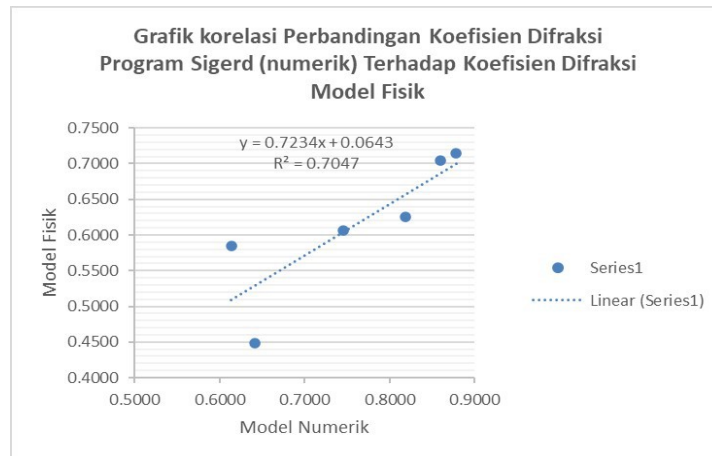
H_i = Tinggi gelombang datang (cm)

Untuk mencari perbandingan koefisien difraksi hasil *running* program *Sigerd* dengan hasil uji metode fisik (2D) pada bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) diasumsikan dengan tipe berlubang dan tidak berlubang, penempatan *breakwater* disesuaikan ketentuan uji metode fisik (2D). Pada hasil *running* keluaran dengan program *Sigerd* didapatkan koefisien difraksi C_d . Koefisien Difraksi (C_d) yang didapatkan dari hasil *running* program *Sigerd* berdasarkan tipe dan jarak bebas muka air tenang dari model fisik adalah sebagai berikut

Tabel 2. Perbandingan Hasil Program Sigerd dan Model Fisik Koefisien Difraksi

Tipe <i>Breakwater</i>	Muka Air Bebas (cm)	H _i		H _d		Koefisien Difraksi (C _d)	
		Numerik (cm)	Fisik (cm)	Numerik (cm)	Fisik (cm)	Numerik (cm)	Fisik (cm)
Tipe Berlubang	2	5,3	5,3	3,38	3,1	0,61	0,58
	4	3,3	3,3	2,46	2	0,75	0,61
	6	4,4	4,4	3,9	3,1	0,86	0,7
Tipe Tidak Belubang	2	5,8	5,8	3,7	2,6	0,64	0,45
	4	3,2	3,2	2,6	2	0,82	0,63
	6	2,8	2,8	2,45	2	0,88	0,71

Sumber: Hasil analisis

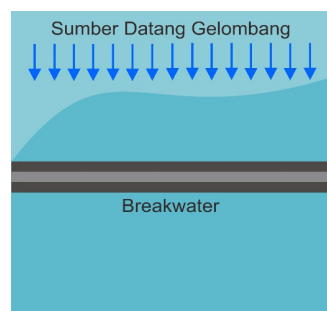


Gambar 2. Grafik perbandingan koefisien difraksi dari hasil program *Sigerd* dengan model fisik

Sumber gelombang yang digunakan pada penelitian model numerik ini adalah tipe *ricker wavelet*, tipe gelombang ini digunakan karena dapat dipelajarinya karakteristik sinyal secara lokal dan detil, sesuai dengan skalanya, dan dengan panjang gelombang yang diasumsikan adalah satu buah puncak gelombang. Pengujian dengan program *Sigerd* memperhitungkan jarak bebas muka air tenang dan dasar laut (kedalaman laut), dan dalam penelitian ini jarak bebas muka air tenang (d_s) yang diuji pada program *sigerd* adalah 2 cm, 4 cm dan 6 cm pada ketinggian *breakwater* 10 cm. Dengan nilai jarak muka air yang berbeda, memberikan pengaruh pada nilai koefisien difraksi (C_d).

4.2. Hasil Uji Perambatan

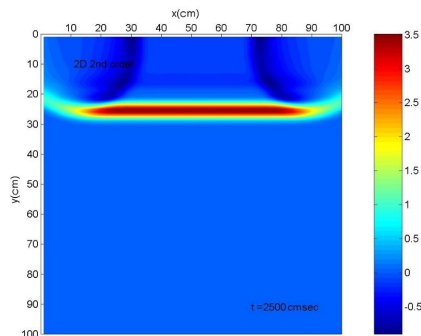
Untuk penelitian ini terdapat 6 (enam) skenario yang akan disimulasikan. Skenario yang dibuat disesuaikan dengan bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) dengan yang akan diteliti seperti pada gambar berikut:



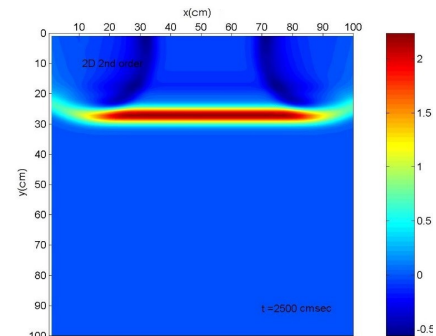
Gambar 3. Skenario Untuk *Setting* Arah dan Posisi Sumber Gelombang Serta Konfigurasi dan Susunan *Breakwater* yang Dipasang

4.3. Hasil Uji Perambatan

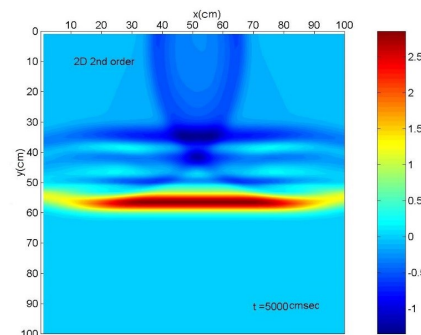
Analisa data dilakukan dilihat dari skenario penelitian yang ditentukan, dengan memasukan data input yang diinginkan menggunakan program *Sigerd*. Dari data yang telah dimasukan (*input*) ke dalam program *Sigerd*, kemudian hasil keluaran (*ouput*) yang dihasilkan dapat diolah dengan menggunakan program *Matlab*. Gelombang yang terjadi akibat *breakwater* tenggelam pada masing-masing skenario telah mengalami difraksi, kemudian hasil difraksi gelombang yang terjadi, diolah dengan program *Matlab* dapat dilihat pada Gambar 4 s.d 9.



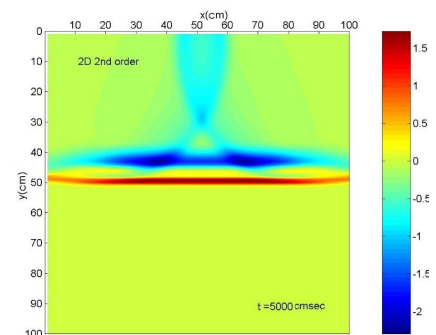
Gambar 4. *Snapshot* Perambatan Gelombang $t = 5$ Detik (Skenario I)



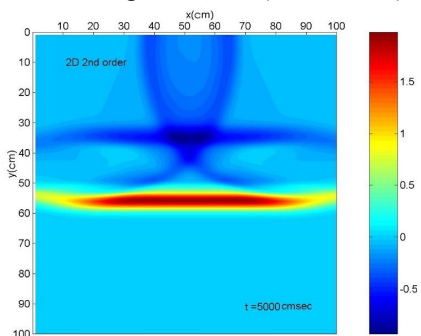
Gambar 5. *Snapshot* Perambatan Gelombang $t = 5$ Detik (Skenario II)



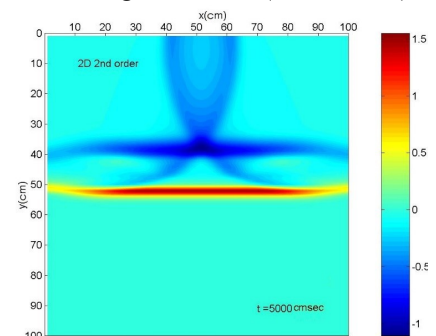
Gambar 6. *Snapshot* Perambatan Gelombang $t = 5$ Detik (Skenario III)



Gambar 7. *Snapshot* Perambatan Gelombang $t = 5$ Detik (Skenario IV)



Gambar 8. *Snapshot* Perambatan Gelombang $t = 5$ Detik (Skenario V)

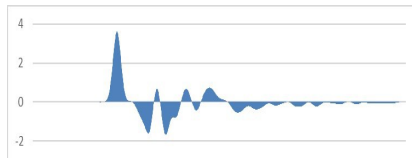


Gambar 9. *Snapshot* Perambatan Gelombang $t = 5$ Detik (Skenario VI)

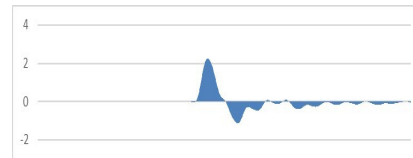
Gambar 4 s.d. 9 memperlihatkan perubahan pola rambatan gelombang di tiap-tiap skenario yang menunjukkan perbedaan tinggi dari sebelum saat dan setelah melewati *breakwater* tenggelam tipe berlubang dan tidak berlubang.

4.4. Hasil Uji Perambatan

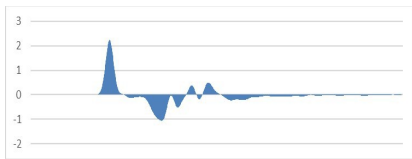
Setelah memasukan titik koordinat yang akan ditinjau, lalu hasil running keluaran berupa data puncak gelombang pada tiap-tiap titik koordinat dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 9 s.d 20).



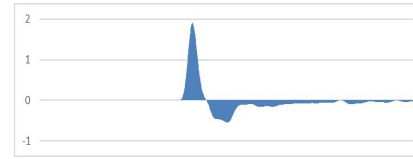
Gambar 10. Tinggi Puncak Gelombang Skenario II di Titik Koordinat 51.35



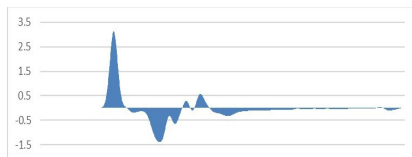
Gambar 11. Tinggi Puncak Gelombang Skenario II di Titik Koordinat 51.65



Gambar 12. Tinggi Puncak Gelombang Skenario II di Titik Koordinat 51.35



Gambar 13. Tinggi Puncak Gelombang Skenario II di Titik Koordinat 51.65



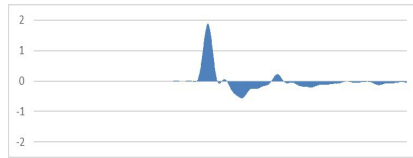
Gambar 14. Tinggi Puncak Gelombang Skenario III di Titik Koordinat 51.35



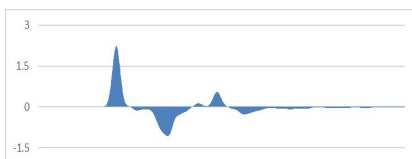
Gambar 15. Tinggi Puncak Gelombang Skenario III di Titik Koordinat 51.65



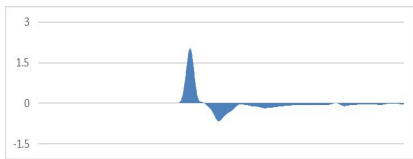
Gambar 16. Tinggi Puncak Gelombang Skenario IV di Titik Koordinat 51.35



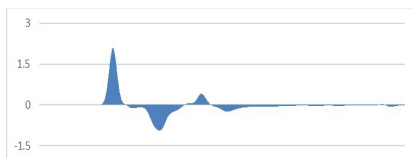
Gambar 17. Tinggi Puncak Gelombang Skenario IV di Titik Koordinat 51.65



Gambar 18. Tinggi Puncak Gelombang Skenario V di Titik Koordinat 51.35



Gambar 19. Tinggi Puncak Gelombang Skenario V di Titik Koordinat 51.65



Gambar 20. Tinggi Puncak Gelombang Skenario VI di Titik Koordinat 51.35



Gambar 21. Tinggi Puncak Gelombang Skenario VI di Titik Koordinat 51.65

Gambar 10 s.d 21 menunjukkan bahwa gelombang yang melewati *breakwater* berlubang berangsur-angsur lebih cepat mengalami peredaman dibandingkan dengan *breakwater* tidak berlubang.

4.5. Kajian Model Difraksi Gelombang

Adapun beberapa penelitian mengenai redaman gelombang melalui *breakwater*, salah satunya yaitu yang dilakukan oleh Devira Santi (2009), melakukan penelitian terhadap gelombang yang melewati Devira Santi (2009), melakukan penelitian terhadap gelombang yang melewati *breakwater* tenggelam yang dipasang seri dengan jarak bebas struktur (d_2) 2 cm menghasilkan koefisien redaman terkecil dan peredam yang semakin baik

Penelitian redaman *breakwater* juga dilakukan oleh Rama kapitan (2014), yang berjudul *Studi Difraksi Gelombang Menggunakan Persamaan Hiperbola*. Penelitian dilakukan menggunakan *breakwater* tipe tegak maupun trapesium dengan perambatan gelombang 2-D menggambarkan suatu pola perambatan gelombang yang terdifraksi akibat bangunan pemecah gelombang. Dari hasil penelitian tersebut running output dari program *Sigerd* memiliki nilai yang mendekati terhadap hasil yang dipresentasikan oleh *Shore Protection Manual*, SPM (1984).

Pada penelitian Zakaria (2008), yang berjudul *Pemodelan Numerik Perambatan Gelombang 2 Dimensi melalui Breakwater Tenggelam* dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *breakwater* tenggelam, terjadinya refleksi dan dispersi gelombang untuk simulasi perambatan gelombang dengan menggunakan persamaan hyperbola 2 dimensi cukup besar, dengan ini menunjukkan jika pengaruh yang signifikan dari *breakwater* tenggelam terhadap peredaman gelombang, dan kemungkinan dapat dimanfaatkan sebagai peredam gelombang di pantai.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian dari hasil penelitian studi fisik skala laboratorium dengan hasil penelitian menggunakan program *sigerd* ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat perubahan tinggi puncak gelombang pada setiap skenario, pada masing-masing skenario mengalami perubahan tinggi puncak gelombang dengan hasil yang berbeda, pada umumnya perubahan tinggi puncak gelombang berangsur-angsur mengalami penurunan setelah melewati *breakwater*.
2. Dari hasil model fisik dan model numerik didapatkan koefisien redaman yang paling baik adalah *breakwater* tenggelam tipe berlubang dengan kedalaman permukaan air bebas tenang 2 cm.
3. Hasil dari perambatan gelombang 2-D menggambarkan suatu pola perambatan gelombang yang terdifraksi akibat bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) tipe berlubang dan tidak berlubang.
4. Hasil yang didapat dari *output* program *Sigerd* menunjukan nilai yang mendekati dengan hasil yang didapatkan dari model fisik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldin, Muhammad. Muh. Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta. 2014. . Perencanaan Alternatif Bangunan Pengaman Pantai Namrole Kab. Buru Selatan – Maluku.
- Ayuningtyas, ranum. 2008. Karakteristik fisik literatur . FMIPA UI. Diakses Pada Tanggal 16 oktober 2019
- Edy , Wiby Febriando. Apriza. Ilyas Sadad. 2012. Analisa Perilaku Gelombang Air Setelah Melewati *Breakwater* Tenggelam Yang Berbentuk Tumpukan Pipa. Jurnal Teknik Sipil Ubl. 3 (1): 257-269
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering Research Center. Washington (SPM, 1984).
- Kapitan, Rama. 2014. Studi Difraksi Gelombang Menggunakan Persamaan Hiperbola. Jurnal Rekayasa, 18 (2) : 89 - 102
- Santi, Devira. 2009. Kajian Model Fisik Difraksi Geombang 2-D dengan Menggunakan 2 *Breakwater* Tenggelam Yang Dipasang Seri.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta
- Yuwono, N. 1992, *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume II*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Zakaria, A., 2003, *Numerical Modelling of Wave Propagation using Higher Order Finite-Difference Formulas*, Thesis (Ph.D), Curtin University of Technology, Perth, W.A.