

# DIFRAKSI GELOMBANG MELALUI BREAKWATER AMBANG RENDAH HALF CYLINDER

## WAVE DIFFRACTION THROUGH THE HALF CYLINDER SUBMERGED BREAKWATER

<sup>1,2</sup>Nastain, <sup>3</sup>Suripin, <sup>4</sup>Nur Yuwono, <sup>5</sup>Ignatius Sriyana  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, UNSOED, <sup>2</sup>Program Doktor Teknik Sipil, UNDIP, <sup>3,5</sup>Departemen Teknik Sipil, UNDIP, <sup>4</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM  
<sup>1,2</sup>nastain@unsoed.ac.id, <sup>3</sup>suripin@lecture.undip.ac.id, <sup>4</sup>nur.yuwono@gmail.com, <sup>5</sup>sriyana808@gmail.com

### Abstrak

Gelombang datang akan mengalami difraksi saat melewati sebuah struktur yang relatif besar. Gelombang difraksi akibat breakwater ambang rendah half cylinder akan dihamburkan secara radial arah normalnya berupa gelombang hambur (scatter). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja breakwater ambang rendah half cylinder berdasarkan nilai koefisien hambur (scatter) gelombang ( $K_s$ ) yang terjadi. Analisis potensial gelombang dilakukan untuk menyelesaikan persamaan pengatur aliran secara analitik menggunakan potensial kecepatan sebagai variabel dasar dengan menerapkan kondisi syarat batas yang ada. Hasil analitik kemudian diverifikasi menggunakan metode numerik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien scatter ( $K_s$ ) breakwater ambang rendah half cylinder akan meningkat jika periode gelombang ( $T$ ) dan nilai parameter  $a/h$  ( $a$  = jari-jari half cylinder,  $h$  = kedalaman air) bertambah besar. Nilai koefisien scatter ( $K_s$ ) akan bernilai maksimum jika nilai  $ka \cong 2$  ( $k$  = wave number). Hasil verifikasi menunjukkan bahwa metode analitik dan numerik menggunakan potensial kecepatan sebagai variabel dasar mendekati hasil yang sama jika nilai  $a/h \leq 0,50$ .

**Kata kunci:** half cylinder, difraksi, koefisien hambur, potensial gelombang

### Abstract

The incident wave will experience diffraction as it passes through a relatively large structure. The diffraction wave due to the submerged half cylinder breakwater will be scattered radially in the normal direction in the form of a scattering wave. This research was conducted to determine the performance of the submerged half cylinder breakwater based on the value of the wave scatter coefficient ( $K_s$ ) that occurred. Wave potential analysis was carried out to solve the flow government equation analytically using velocity potential as a basic variable by applying the existing boundary conditions. The analytical results were then verified using numerical methods. The results showed that the scatter coefficient ( $K_s$ ) of the submerged half cylinder breakwater would increase if the wave period ( $T$ ) and the parameter values  $a/h$  ( $a$  = half cylinder radius,  $h$  = water depth) increased. The value of the scatter coefficient ( $K_s$ ) will have a maximum value if the value of  $ka \cong 2$  ( $k$  = wave number). The verification results show that the analytical and numerical methods using velocity potential as the basic variable approach the same results if the  $a/h$  value  $\leq 0.50$ .

**Keywords:** half cylinder, diffraction, scatter coefficient, wave potential

## PENDAHULUAN

Permasalahan abrasi pantai saat ini telah mendapat perhatian luas dan serius dari pemerintah maupun masyarakat. Abrasi pantai di Indonesia, telah mencapai tingkat yang cukup mengkhawatirkan, sedikitnya 40% dari 81.000 km pantai di Indonesia rusak akibat abrasi (Daniel, 2013). Dalam beberapa tahun terakhir, garis pantai di beberapa daerah di Indonesia mengalami penyempitan yang cukup memprihatinkan dan berakibat langsung pada kehidupan masyarakat (Sorensen, 2006). Upaya penanggulangan abrasi pantai di Indonesia telah banyak dilakukan antara lain dengan menggunakan struktur pelindung pantai berupa tembok laut, *revetment*, tanggul laut, groin, dan pemecah gelombang (Sulaiman, 2012).

Secara umum, ada dua tipe pemecah gelombang yaitu tipe pemecah gelombang perlindungan penuh (*full protection breakwater*) dan pemecah gelombang perlindungan parsial (*partial protection breakwater*) (Ahmed, 2010). Ada banyak tipe pemecah gelombang perlindungan parsial seperti pemecah gelombang *pneumatic* dan hidraulik, pemecah gelombang ambang rendah (*submerged breakwater*), pemecah gelombang terapung (*floating breakwater*), pemecah gelombang fleksibel terapung, pemecah gelombang terpisah (*detached breakwater*), pemecah gelombang berlubang (*perforated/slotted breakwater*), pemecah gelombang tiang, pemecah gelombang pipa, dan pemecah gelombang bercelah (Ahmed, 2010). Menurut Mei (1989) gelombang yang merambat melalui suatu *breakwater* ambang rendah akan mengalami transformasi perambatan karena adanya perubahan kedalaman yang tiba-tiba. Gelombang datang (*incident wave*) sebagian akan terpantulkan sebagai gelombang pantul (*reflection wave*), sebagian akan melintasi struktur sebagai gelombang transmisi (*transmission wave*) dan sebagian lagi akan terdisipasi. Ukuran yang menyatakan seberapa besar gelombang yang

terpantulkan diberikan oleh angka koefisien refleksi ( $K_r$ ) dan besarnya gelombang yang tetap melintasi struktur dinyatakan oleh koefisien transmisi ( $K_t$ ) (Chyon et al., 2017; Ahmed dan Schlenkhoff, 2014; Zhang dan Li, 2014; Koraim, 2014; Koraim et al., 2014; Nejadkazem dan Gharabaghi, 2012; Laju et al., 2011; Liu dan Li, 2011; Ahmed, 2010; Rageh dan Koraim, 2010; Rageh et al., 2009; Ji dan Suh, 2008; Suh et al., 2006; 2007; Paotanan dan Yuwono, 2011; Allo dan Poatanan, 2012).

Difraksi gelombang adalah perubahan tinggi gelombang dan pembelokan arah gelombang karena adanya sebuah halangan. Daerah di belakang rintangan akan terpengaruh oleh gelombang transmisi dengan tinggi gelombang yang lebih kecil. Masalah difraksi gelombang adalah masalah pengaruh keberadaan suatu benda tegar pada suatu medan gelombang, di mana analisis alirannya dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan pengatur alirannya secara analitik maupun numerik.

Penelitian gelombang melewati halangan dengan model analitik telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain oleh Mei dan Black, 1969; dan Chakrabarti, 1987, di mana jika gelombang datang melewati sebuah struktur, maka secara parsial akan dipantulkan, dengan perambatan energi pantul dan difraksi pada frekuensi yang sama dengan gelombang datang. Tetapi metode analitis hanya dapat dilakukan pada bentuk-bentuk struktur halangan yang sederhana, prismatis, dan tertentu saja. Metode analitis dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Morison atau dengan menggunakan metode difraksi (Syawaluddin, 1994). Hal yang membedakan penggunaan kedua teori tersebut adalah dimensi relatif strukturnya. Jika dimensi struktur relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, maka digunakan Persamaan Morison. Pada kondisi ini dapat diasumsikan bahwa medan gelombang di sekitar struktur tidak berubah akibat gelombang datang. Sedangkan apabila

dimensi struktur cukup besar dibandingkan dengan panjang gelombang datang, maka gelombang akan mengalami perubahan potensial kecepatan. Gelombang akan dirambatkan dengan mengalami perubahan tinggi gelombang. Proses ini disebut difraksi atau hamburan (*scattering*). Struktur yang menyebabkan timbulnya difraksi disebut bangunan besar (*large bodies*). Efek difraksi gelombang ini biasanya dianggap terjadi jika  $D/L$  ( $D$  adalah panjang karakteristik horisontal dan  $L$  adalah panjang gelombang) lebih besar dari 0,2 (Danudirgo, 1991). Penelitian dengan model numerik mulai dilakukan oleh beberapa peneliti sejak tahun 80-an antara lain adalah teori *source-sink method* (Naftzger dan Chakrabarti, 1979), *strip theory* (Mathisen, 1982), macro elemen (Kokkinowrachos dan Zibell, 1984) dan elemen batas atau *boundary element* (Banerjee dan Butterfield, 1981; Chakrabarti, 1987; Ekowiyanto, 1991; Syawaluddin, 1994). Solusi dari penyelesaian numerik adalah berupa persamaan potensial kecepatan  $(x,y,t)$ , yang dapat diturunkan menjadi persamaan profil muka air gelombang. Model numerik lebih luas penggunaannya dari pada model analitis,

karena model numerik dapat dilakukan untuk sembarang bentuk struktur halangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *breakwater* ambang rendah *halfcylinder* dalam mereduksi gelombang akibat difraksi gelombang berdasarkan nilai koefisien hambur/*scatter* ( $K_s$ ) yang dihitung menggunakan metode analitik dan metode numerik.

## METODOLOGI PENELITIAN

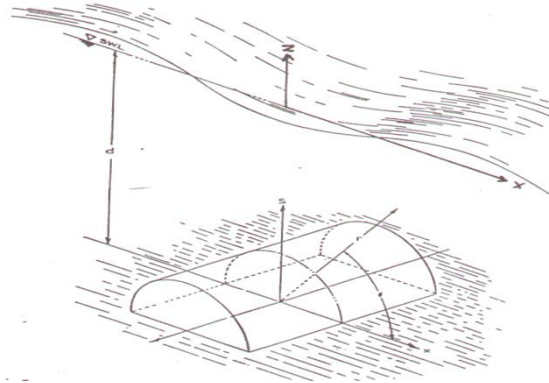
Penelitian dilakukan menggunakan metode analitik dan metode numerik dengan metode elemen batas.

### A. Solusi Analitik

Penyelesaian analitik merupakan penurunan persamaan gelombang linier untuk kedalaman konstan dan menerapkan kondisi syarat batas fisik yang ada seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Potensial kecepatan gelombang adanya *breakwater halfcylinder* dengan jari-jari  $r$  seperti pada Gambar 1, dapat tuliskan dalam bentuk deret seperti pada Persamaan (1).

**Tabel 1. Kondisi Syarat Batas Untuk Domain Tinjauan**

Syarat Batas	Persamaan
Permukaan ( $z = 0$ )	$\eta(x,t) = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t}$
Dasar ( $z = -h$ )	$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$
Sisi struktur ( $r = a$ )	$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$
Radiasi	$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial \phi_s}{\partial r} - ik\phi_s \right) = 0$



**Gambar 1. Sketsa Perambatan Gelombang Melalui Ambang Rendah Halfcylinder**

$$\Phi_i(r, \theta) = A \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(ika)^n}{n!} \left( \frac{r}{a} \right)^n \cos n\theta \right) \quad (1)$$

Karena adanya halangan *halfcylinder*, maka pada permukaannya dapat didefinisikan  $r = \sqrt{x^2 + s^2} = a$ , dan  $0 \leq \theta = \tan^{-1}(s/x) \leq \pi$  dan akan menimbulkan gelombang difraksi/hambur (*scatter wave*) dengan potensial  $\Phi_s$  disekitar struktur tersebut yang menyebar secara radial. Gelombang hambur harus memenuhi syarat batas radiasi Sommerfield pada Tabel 1.

Potensial gelombang hambur yang terjadi diasumsikan mempunyai bentuk seperti pada Persamaan (2).

$$\Phi_s(r, \theta) = A \left( \sum_{n=0}^{\infty} B_n \left( \frac{a}{r} \right)^n \cos n\theta \right) \quad (2)$$

di mana  $B_n$  adalah suatu koefisien dan akan berharga nol untuk  $n = 0$ , karena pada kondisi tersebut potensial kecepatan tidak tergantung lagi pada  $n\theta$ .

Potensial gelombang total dapat dituliskan seperti pada Persamaan (4).

$$\Phi(r, \theta) = \Phi_i + \Phi_s$$

$$\Phi(r, \theta) = A \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(ika)^n}{n!} \left( \frac{r}{a} \right)^n \cos n\theta \right) + A \left( \sum_{n=0}^{\infty} B_n \left( \frac{a}{r} \right)^n \cos n\theta \right) \quad (4)$$

kemudian dengan memasukkan syarat batas pada sisi struktur pada **Tabel 1** yaitu pada  $r = a$ , maka didapatkan Persamaan (5).

$$B_0 = 0, \quad \text{dan} \quad B_n = \frac{(ika)^n}{n!}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Substitusi Persamaan (5) ke Persamaan (4) maka didapatkan persamaan potensial kecepatan gelombang seperti ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$\Phi(r, \theta) = A \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\delta_n}{2} \frac{(ika)^n}{n!} \left( \frac{r}{a} + \frac{a}{r} \right)^n \cos n\theta \right) \quad (6)$$

di mana:  $\delta_0 = 1$  dan  $\delta_n = 2$ ,  $n \geq 1$

Persamaan (6) bila dituliskan dalam fungsi hiperbolik ditunjukkan seperti pada Persamaan (7).

$$\phi(r, \theta, t) = A \left[ e^{ik(r \cos \theta)} \cosh k(r \sin \theta) + e^{ik \left( \frac{a^2}{r} \cos \theta \right)} \cosh k \left( \frac{a^2}{r} \sin \theta \right) - 1 \right] e^{-i\omega t} \quad (7)$$

dengan memasukkan syarat batas dinamik di permukaan pada Tabel 1 didapatkan Persamaan (8).

$$\eta(x, t) = -\frac{i\omega}{g} A \left[ e^{ikx} \cosh kh + e^{ik \left( \frac{a^2 x}{x^2 + h^2} \right)} \cosh k \left( \frac{a^2 h}{x^2 + h^2} \right) - 1 \right] e^{-i\omega t} \quad (8)$$

di mana:

$$A = -\frac{Hg}{2i\omega \cdot \cosh kh}$$

$$(9) \quad \omega^2 = gk \tanh kh$$

(10)

Nilai koefisien difraksi/scatter ( $K_s$ ) dapat ditentukan berdasarkan persamaan (12), yaitu dengan mengambil bagian riil dari persamaan (8).

$$K_s = \frac{H_s}{H}$$

(11)

$$K_s = \frac{\cos k \left( \frac{a^2 x}{x^2 + h^2} \right) \cosh k \left( \frac{a^2 x}{x^2 + h^2} \right) - 1}{\cosh kh}$$

(12)

## B. Solusi numerik

Perancangan model numerik dilakukan dengan cara membagi permukaan *breakwater* menjadi beberapa elemen kecil segi empat, dan nilai potensial gelombang di wilayah penelitian dinyatakan sebagai superposisi pengaruh dari elemen-elemen permukaan pada *breakwater halfcylinder* yang terendam. Apabila pada permukaan *breakwater halfcylinder* yang terendam pada Gambar 1 kita bagi menjadi  $N$  segmen yang cukup kecil, maka pada tengah-tengah segmen akan memberikan sumber gelombang  $f_i$  untuk elemen ke- $i$ , dan potensial gelombang total yang terjadi untuk seluruh permukaan *breakwater* ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$-\frac{f(\xi)}{2} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{1}{4\pi} \iint_s f_i(\xi) G(x_i, \xi) ds \right) = -\frac{\partial \Phi_i}{\partial n}(x_i)$$

(13)

dimana :

- $f(\xi)$  = fungsi sumber gelombang elemen
- $G(x, \xi)$  = fungsi Green
- $ds$  = diferensial permukaan terendam
- $n$  = vektor normal satuan permukaan
- $\Phi_i$  = potensial gelombang datang

Potensial kecepatan gelombang datang dinyatakan dengan Persamaan (14).

$$\Phi_i = \frac{H}{2} . e^{ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha)} \cosh k(h + z)$$

(14)

dengan  $H$  adalah tinggi gelombang datang,  $\alpha$  adalah sudut arah datang gelombang,  $h$  adalah kedalaman air,  $z$  adalah kedalaman air tinjauan dan  $k$  adalah *wave number*. Penyelesaian persamaan (13) secara numerik dengan menggunakan metode elemen batas (*boundary element*) menggunakan program komputer (Ekowiyanto, 1991) dengan pengembangan pada input program sehingga diperoleh nilai fungsi sumber setiap elemen  $f(\xi_i)$ . Selanjutnya dapat ditentukan potensial gelombang total yang terjadi ( $\Phi_{total}$ ) dari seluruh elemen. Tinggi gelombang difraksi/hambur ( $H_s$ ) ditentukan dengan menerapkan syarat batas dinamik di permukaan air (*dynamic free surface boundary condition*) pada Tabel 1 terhadap potensial gelombang total.

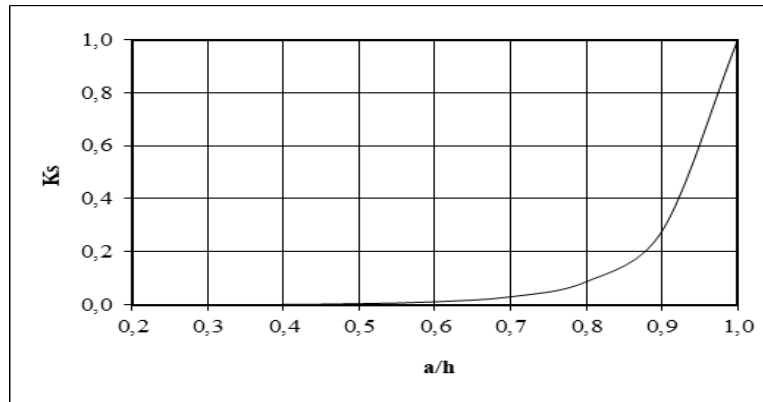
$$\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi_{total}}{\partial t} = \eta(x, t)$$

(15)

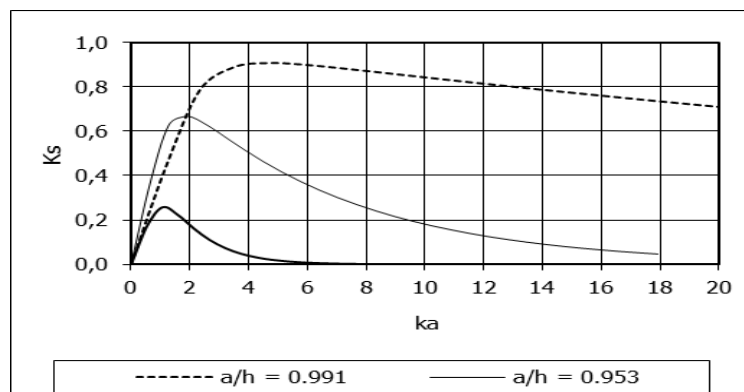
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengaruh Tinggi Half Cylinder

Simulasi dilakukan untuk melihat pengaruh parameter tinggi relatif *halfcylinder* ( $a/h$ ) terhadap nilai koefisien *scatter*  $K_s$  dengan kedalaman air ( $h$ ) tetap seperti ditunjukkan Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $a/h$  atau makin tinggi dimensi *halfcylinder* maka harga koefisien *scatter* ( $K_s$ ) akan makin besar. Harga koefisien  $K_s$  ini akan menuju ke harga satu untuk harga  $a$  yang mendekati  $h$ . Hal ini sesuai dengan penelitian Ippen (1966), bahwa gelombang akan terpantul sempurna jika koefisien *scatter* adalah 1.



Gambar 2. Hubungan Nilai  $K_s$  dengan Tinggi Relatif *Half Cylinder* ( $a/h$ )

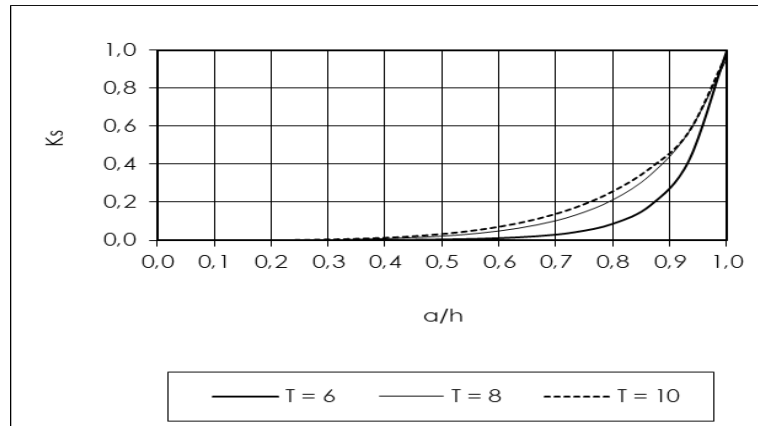


Gambar 3. Hubungan Nilai  $K_s$  dengan Panjang Gelombang Relatif ( $ka$ )

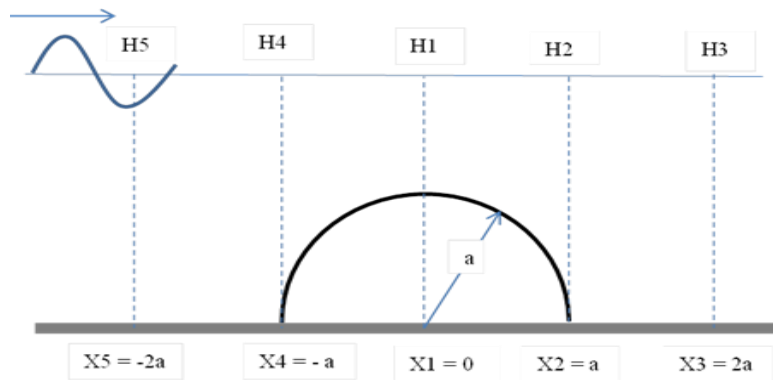
### B. Pengaruh Parameter $L$ dan $T$ Gelombang

Simulasi dilakukan untuk melihat pengaruh panjang gelombang ( $L$ ) dan periode gelombang ( $T$ ) terhadap nilai koefisien *scatter*  $K_s$  dengan kedalaman air ( $h$ ) tetap. Pengaruh panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai  $K_s$  akan bertambah besar seiring meningkatnya nilai  $ka$  dan akan mencapai maksimum pada saat  $ka$  ( $k = 2\pi/L$ ) mendekati nilai 2. Nilai  $K_s$  kemudian akan turun kembali untuk nilai  $ka$

yang cukup besar dengan syarat *halfcylinder* masih dalam kondisi terendam (*submerged*). Dalam hal dapat dipakai harga  $a/L$  sebagai variabel maka untuk harga  $a/L$  yang cukup kecil dan harga  $a/L$  yang cukup besar gelombang akan dilewatkan saja tanpa mengalami gangguan. Tetapi untuk kondisi struktur *halfcylinder* tidak terendam maka harga  $K_s$  untuk nilai  $ka$  yang besar akan cenderung konstan pada nilai satu ( $K_s = 1$ ). Sedangkan pengaruh parameter periode gelombang ( $T$ ) ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Hubungan Nilai  $K_s$  dengan Periode gelombang ( $T$ )**



**Gambar 5. Titik Tinjauan Verifikasi Analitik dan Numerik**

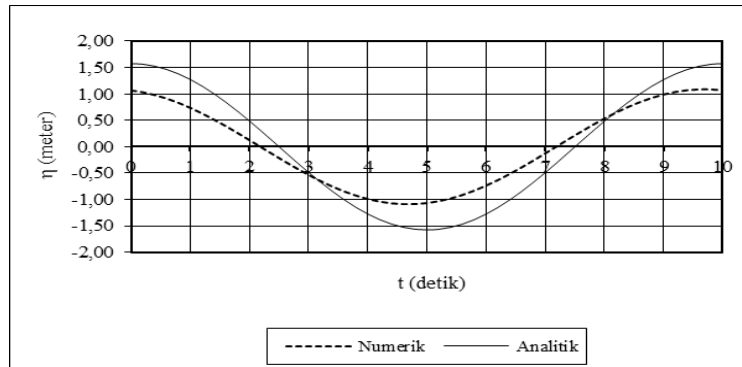
Gambar 4 menunjukkan bahwa makin besar nilai  $T$  maka koefesien *scatter* ( $K_s$ ) juga akan semakin besar. Hal ini karena perubahan nilai  $T$  maka akan menyebabkan perubahan  $L$ .

Semakin besar periode gelombang maka makin besar pula panjang gelombangnya, maka kedalaman relatif ( $h/L$ ) makin kecil. Hal ini akan menyebabkan kriteria gelombang akan berubah dari laut dalam (*deep water*) menjadi laut antara (*transitional water*) atau laut dangkal (*shallow water*). Hal ini menunjukkan koefesien *scatter* ( $K_s$ ) akan

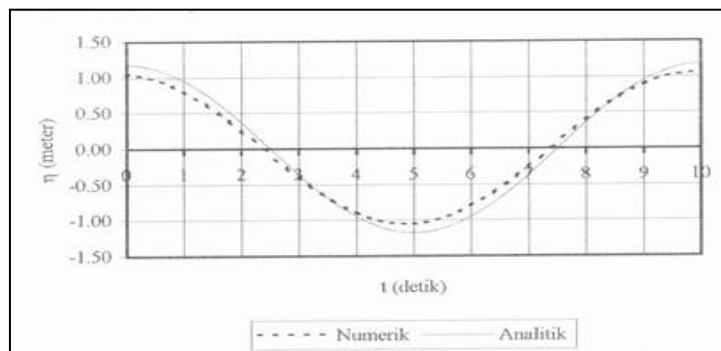
memberikan harga yang signifikan pada kondisi laut dangkal.

### C. Perbandingan Solusi Analitik dan Numerik

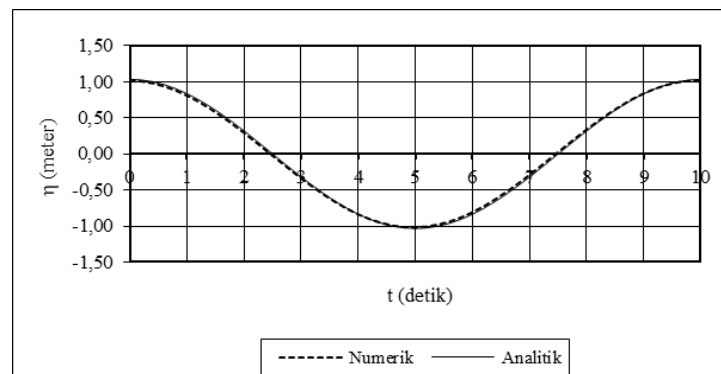
Perbandingan dilakukan untuk verifikasi hasil metode analitik dan metode numerik. Parameter yang akan digunakan adalah profil gelombang ( $\eta$ ) di  $X1 = 0$  dan juga tinggi gelombang ( $H$ ) di beberapa titik tinjauan yaitu  $X1 = 0$ ,  $X2 = a$ ,  $X3 = 2a$ ,  $X4 = -a$  dan  $X5 = -2a$ .



**Gambar 6. Profil Gelombang di  $Xl=0$  untuk  $a/h = 0,975$**



**Gambar 7. Profil Gelombang di  $Xl=0$  untuk  $a/h = 0,750$**



**Gambar 8. Profil Gelombang di  $Xl=0$  untuk  $a/h = 0,50$**

Berdasarkan Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8, menunjukkan bahwa hasil analisis profil gelombang metode analitik dan metode numerik akan menghasilkan nilai yang mendekati sama jika digunakan nilai tinggi relatif struktur ( $a/h$ )  $\leq 0,5$ .

Semakin besar nilai  $a/h$  maka hasil analisis metode analitik dan metode numerik

akan semakin berbeda. Begitu pula hasil analisis tinggi gelombang ( $H$ ) menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $a/h$  maka nilai tinggi gelombang metode analitik dan metode numerik semakin berbeda dan akan menghasilkan nilai yang mendekati sama jika  $a/h \leq 0,5$  berdasarkan selisih rata-rata yang dihasilkan.



**Tabel 2. Perbandingan Tinggi Gelombang di X1 dan X2**

a/h	Lokasi X1 = 0			Lokasi X2 = a		
	Analitik (m)	Numerik (m)	Selisih	Analitik (m)	Numerik (m)	Selisih
0,975	2,178	3,150	0,972	1,658	1,760	0,102
0,875	2,160	2,492	0,332	1,744	1,813	0,069
0,750	2,106	2,350	0,244	1,842	1,884	0,042
0,500	2,036	2,064	0,028	1,954	2,000	0,046
	Rata-rata =		0,394	Rata-rata =		0,065

**Tabel 3. Perbandingan Tinggi Gelombang di X3 dan X4**

a/h	Lokasi X3 = 2a			Lokasi X4 = -a		
	Analitik (m)	Numerik (m)	Selisih	Analitik (m)	Numerik (m)	Selisih
0,975	1,664	1,982	0,318	2,520	2,280	0,240
0,875	1,774	1,988	0,214	2,321	2,186	0,135
0,750	1,882	1,994	0,112	2,169	2,098	0,071
0,500	1,988	2,000	0,012	2,058	2,018	0,040
	Rata-rata =		0,164	Rata-rata =		0,122

**Tabel 4. Perbandingan Tinggi Gelombang di X5**

a/h	Lokasi X5 = -2a		
	Analitik (m)	Numerik (m)	Selisih
0,975	2,000	1,982	0,018
0,875	2,000	1,988	0,012
0,750	2,000	1,994	0,006
0,500	2,000	2,000	0,000
	Rata-rata =		0,009

**SIMPULAN**

1. Koefisien *scatter* ( $K_s$ ) pemecah gelombang ambang rendah *halfcylinder* akan meningkat jika nilai  $a/h$  ( $a$  = jari-jari *halfcylinder*,  $h$  = kedalaman air) dan periode gelombang ( $T$ ) bertambah besar
2. Pada saat nilai  $a/L$  yang cukup kecil atau besar sekali, gelombang akan dilewatkan saja tanpa mengalami gangguan
3. Nilai koefisien *scatter* ( $K_s$ ) akan bernilai maksimum jika nilai  $a \approx L$  ( $L$  = panjang gelombang).
4. Verifikasi hasil menunjukkan bahwa metode analitik dan metode numerik menggunakan potensial kecepatan

sebagai variabel dasar mendekati hasil yang sama untuk nilai  $a/h \leq 0,5$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

- Ahmed, H. and Schlenkhoff, A. (2014). Numerical Investigation of Wave Interaction with Double Vertical Slotted Walls. *International Journal of Environment, Ecological and Manning Engineering*, 8(8).
- Ahmed, H. (2010). *Wave Interaction with Vertical Slotted Walls as Permeable Breakwater*. Ph.D Thesis, Hydro Science (IGAW), Bergische Universitat Wupertal, Germany.

- Allo, D. B. P. dan Paotonan, C. (2012). Transmisi Gelombang Melalui Struktur Bawah Air Berbahan *Geotextile Tube* Sebagai Pelindung Pantai Buatan. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, 10(20).
- Banerjee, P.K. dan Butterfield, R. (1981). *Boundary Element Methods in Engineering Science*. McGraw-Hill Book Co., London, UK.
- Chakrabarti, Subrata K. (1987). *Hydrodynamics of Offshore Structures*. 1st Editions, Computational Mechanic Publications, Southampton, UK.
- Chyon, M. S. A., Rahman, A., dan Rahman, M. A. (2017). Comparative study on hydrodynamic performance of porous and non-porous submerged breakwater. *Procedia Engineering*, 194: 203–210.
- Danudirgo, Eko. (1991). *Analisa Difraksi Gelombang Dengan Metode Elemen Batas*. Tesis S2 Teknik Sipil ITB.
- Daniel, M. Arsyad Thaha, dan Mukhsan Putra Hatta. (2013). *Eksperimental Transmisi Gelombang Melalui Breakwater tipe Kubus Berongga*. Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Ekowiyanto, D. (1991). *Analisa Difraksi Gelombang dengan Metode Elemen Batas*. Thesis Magister Teknik Sipil ITB, Bandung.
- Ippen, Arthur T. (1966). *Estuary and Coastal Hydrodynamic*. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Ji, C.H. dan Suh, K.D. (2008). Reflection and Transmission of Irregular Waves by Multiple-Row Curtain wall-Pile Breakwater. Proceedings of the Eighteenth (2008) International Offshore and Polar Engineering Conference Vancouver, BC, Canada.
- Koraim, A. S. (2014). Hydraulic Characteristics of Pile-supported L-shaped Bars Used as a Screen Breakwater. *Ocean Engineering* 83 : 36-51.
- Koraim, A.S., Iskander, M.M., dan Elsayed, W.R. (2014). Hydrodynamic Characteristics of Double Rows of Pile Suspending Horizontal C Shaped Bar. *Ocean Engineering* 84 : 81-96.
- Kokkinowrachos and Zibell (1984). Wave Interaction with Multiple Cross-sections in Finite Water Depth. Proceedings of the Third International Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE) Symposium, New Orleans, Louisiana.
- Laju, K., Sundar, V., and Sundaravadivelu, R. (2011). Hydrodynamic Characteristics of Pile Supported Skirt Breakwater Models. *Applied Ocean Reseach* 33 : 12-22.
- Liu, Y. and Li, Y.C. (2011). Wave Interaction with a Wave Absorbing Double Curtain-wall Breakwater. *Ocean Engineering* 38 :1237-1245.
- Mei, C. dan Black, L. (1969). *Scattering and Radiation of Water Wave*. Water Resources and Hydrodynamic Laboratory Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Mathisen (1982). Improved Strip Theory for Wave-induced Loads on Twin-hull Semi-submersible. Proceedings of the First Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE) Symposium, New Orleans, Louisiana.
- Mei, C.C. (1989). *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*. Vol.-1 Advanced Series on Ocean Engineering, World Scientific, Singapore.
- Naftzger and Chakrabarti, SK., 1979. Scattering of wave by two-dimensional circular obstacles in finite water depths. *Journal of Ship Research*.
- Nejadkazem, O. and Gharabaghi, A.R.M., 2012. Non-propagating Waves and Behavior of Curtain wall-pile Breakwaters, *Journal of Persian Gulf (Marine Science)* 3 :11-26.

- Paotonan, C. dan Yuwono, N. (2011). Disipasi Energi Gelombang yang Merambat Melalui Struktur Bawah Air. *Dinamika Teknik Sipil*, 11(2).
- Rageh, O.S., Koraim, A.S., dan Salem, T.N. (2009). Hydrodynamic Efficiency of Partially Immersed Caissons Supported on Piles. *Ocean Engineering* 36 : 1112-1118.
- Rageh, O.S. and Koraim, A.S. (2010). Hydraulic Performance of Vertical Walls with Horizontal Slots Used as Breakwater. *Coastal Engineering* 57 : 745-756 Elsevier.
- Suh, K.D., Jung, H.Y., and Pyun, C.K. (2007). Wave Reflection and Transmission by Curtain wall–pile Breakwaters Using Circular Piles. *Ocean Engineering* 34 : 2100-2106.
- Suh, K.D., Shin, S. and Cox, D.T. (2006). Hydrodynamic Characteristics of Pile Supported vertical Wall Breakwaters. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 132 (2) : 83-96.
- Syawaluddin. H. (1994). *Analisa Dinamika Gelombang (Difraksi, Refraksi, dan Resonansi) dengan Metode Elemen Batas*. Thesis Magister Teknik Sipil ITB, Bandung.
- Sorensen, R.M. (2006). *Basic Coastal Engineering*. Third Edition. Springer Science Business Media, Inc. New York.
- Sulaiman, DM. (2012). Rehabilitasi Pantai dengan Pemecah Gelombang Ambang Rendah berbahan Geotube. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 3(2).
- Zhang, S. and Li, X. (2014). Design Formulas of Transmission Coefficients for Permeable Breakwaters. *Water Science and Engineering* 7(4) : 457-467.