

KARAKTERISTIK STABILITAS PEMECAH GELOMBANG KANTONG PASIR TIPE TENGGELAM

Ferry Fatnanta^{1*)}, Widi Agoes Pratikto², Haryo Dwito Armono², dan Wahyudi Citrosiswoyo²

1. Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya, Pekanbaru 28294, Indonesia

2. Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya 40711, Indonesia

^{*)}E-mail: fatnanto5@yahoo.com

Abstrak

Struktur pemecah gelombang merupakan salah satu cara untuk mengatasi masalah abrasi. Pantai merupakan daerah yang relatif sedikit memiliki material batuan sehingga jenis material pemecah gelombang harus menjadi pertimbangan utama. Kelebihan penggunaan kantong pasir sebagai pemecah gelombang adalah dapat dimanfaatkannya material setempat. Atas pemikiran tersebut, dilakukan penelitian mengenai perilaku stabilitas pemecah gelombang kantong pasir tipe tenggelam. Permukaan kantong pasir relatif halus sehingga gaya gesek antar kantong (*interlocking*) relatif kecil. Sesuai fenomena tersebut, dilakukan kajian parameter yang berpengaruh terhadap stabilitas susunan kantong pasir. Parameter tersebut adalah kemiringan susunan, bentuk dan susunan kantong pasir. Penelitian ini bersifat eksperimental model fisik 2-D, dilakukan di kolam Gelombang Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya. Skala model yang digunakan adalah 1 : 10. Kantong dibuat menjadi dua bentuk, B1 dan B2. Kemiringan model dibuat menjadi dua tipe, 1 : 1,5 dan 1 : 2,0, lebar puncak ditentukan 60 cm. Gelombang teratur (*reguler*) digunakan pada penelitian ini, periode gelombang ditentukan 1,5 detik, sedangkan tinggi gelombang disesuaikan dengan tingkat stabilitas susunan kantong pasir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon susunan kantong pasir dipengaruhi oleh gaya gesek antar kantong. Stabilitas susunan kantong pasir dipengaruhi perubahan gaya gelombang sebagai akibat perubahan kemiringan dan perubahan luas penampang, seperti jenis susunan dan bentuk kantong.

Abstract

The Stability Characteristics of Sandbag Submerged Breakwater. Breakwater is one of coastal structures to overcome problems of abrasion. Due to difficulties in obtaining rock material at the coastal area. The using of sandbags as a breakwater provides advantages in utilizing local materials. A Sandbag has a smooth surface, so the internal shear forces are relatively small. According to these phenomena, the research for parameters that are expected to affect the stability of the sand bags. These parameters are a slope, shape and formation of sand bags. This experimental research conducted in two dimensional physical model and took place on the flume tank of Ocean Engineering Department, Faculty of Marine Technology, ITS. Scaled model 1 : 10. The bag was made in shapes, B1 and B2. Sand bags were prepared with the slope 1 : 1.5 and 1 : 2,0, width of top was 60 cm. The waves were regular waves, period of 1.5 seconds. The wave height was adjusted with the level of stability sand bags. It showed that the response of the sandbag was influenced by interlocking between sandbags. As a result, the stability depended on the change of wave forces, as a consequence of the change of slope and cross areas due to sandbags shape and formation type.

Keywords: interlocking, internal friction, sandbag breakwater

1. Pendahuluan

Penggunaan kantong pasir sebagai struktur bangunan pantai mempunyai kelebihan, antara lain mudah dilaksanakan di lapangan [1], adanya kesulitan pengadaan batuan yang akan berimplikasi pada biaya [1-4], dan tersedianya material pasir yang cukup banyak

di lokasi [3,5]. Black and Mead [6] menyatakan penggunaan pemecah gelombang *soft shore protection* tidak mempunyai dampak buruk terhadap ekologi di daerah tersebut.

Oleh sebab itu, diperlukan tipe pemecah gelombang yang dapat memanfaatkan bahan setempat dan seminimal

mungkin berdampak negatif terhadap lingkungan [5]. Pemecah gelombang kantong pasir tipe tenggelam merupakan salah satu tipe pemecah gelombang yang diharapkan dapat memenuhi kriteria-kriteria tersebut.

Secara umum, stabilitas struktur pemecah gelombang ditentukan oleh gaya berat dan kekasaran permukaan (*internal friction*) bahan pemecah gelombang [7]. Namun terdapat perbedaan mendasar antara kantong pasir dengan bahan pemecah gelombang lainnya, yaitu kekasaran permukaan (*internal friction*). Permukaan kantong pasir relatif lebih halus (*smooth*) dibandingkan bahan pemecah gelombang lainnya. Hal ini berpengaruh terhadap stabilitas susunan kantong pasir, susunan kantong pasir makin peka terhadap perubahan kemiringan susunan dan bentuk kantong pasir terhadap serangan energi gelombang. Atas pemikiran tersebut, layak dilalukan penelitian lebih lanjut mengenai perbedaan stabilitas pemecah gelombang susunan kantong pasir dengan bahan pemecah gelombang *rubble mound*.

2. Metode Penelitian

Set-up Eksperimental. Kolam gelombang yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai ukuran panjang 20 m, tinggi 1,5 m, lebar 0,8 m, dengan kedalaman air 0,80 m. Mempertimbangkan panjang kolam gelombang dan supaya mendekati kondisi pantai yang sebenarnya, maka kemiringan dasar kolam dibuat 1 : 10 sehingga elevasi dasar kolam dinaikkan 30 cm. Pada penelitian ini digunakan dua buah *wave probe*, masing-masing *wave probe* dipasang di depan dan di belakang model. *Wave probe* digunakan untuk pengukuran tinggi dan periode gelombang datang dan transmisi (Gambar 1).

Gelombang uji dibuat oleh pembangkit gelombang (*wave maker*) yang telah disediakan oleh Kolam Gelombang (*flume tank*). Jenis gelombang yang digunakan pada pengujian tersebut adalah gelombang teratur (*regular waves*) dimana tinggi dan periode gelombang selalu sama pada setiap pembangkitan gelombang.

Bentuk dan Susunan Kantong Pasir. Bentuk kantong merupakan parameter yang diharapkan berpengaruh terhadap stabilitas susunan kantong pasir. Oleh sebab itu kantong pasir dibuat menjadi dua bentuk yaitu kantong B1 dan B2 (Gambar 2).

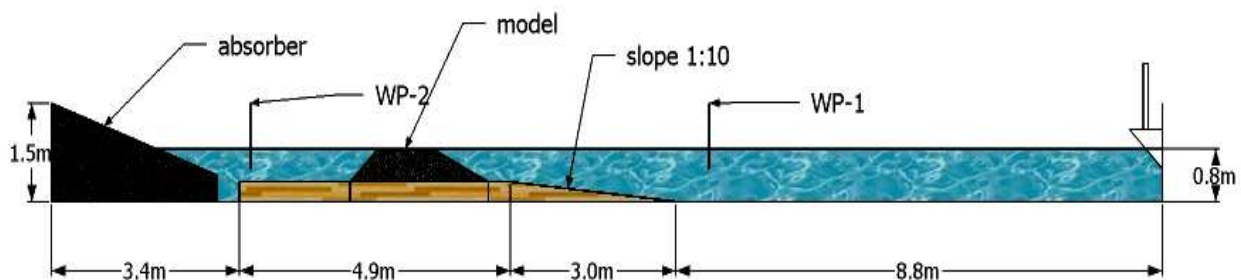
Sesuai dengan skala dimensi dan pertimbangan ukuran lebar kolam, maka dimensi kantong rata-rata dibuat dengan panjang 17,70 cm dan lebar 8,63 cm, tebal 8,13 cm untuk kantong B1. Sedangkan kantong B2 mempunyai dimensi panjang 18,55 cm, lebar 15,20 cm dan tebal maximum 4,88 cm.

Pada studi ini, koefisien *Blockiness*, B_{Lc} [8] diadopsi untuk parameterisasi bentuk kantong pasir. Hasil parameterisasi bentuk kantong B1 dan B2 dapat dilihat pada Tabel 1.

Selain bentuk, jenis susunan kantong pasir diharapkan berpengaruh terhadap stabilitas susunan kantong pasir. Susunan kantong pasir dibuat sebanyak tiga variasi, yaitu SK1, SK2 dan SK3 (Gambar 3). Susunan SK1 adalah susunan kantong dimana sumbu panjang kantong sejajar arah gelombang, SK2 adalah susunan kantong dimana sumbu pendek sejajar arah gelombang, sedangkan SK3 merupakan kombinasi susunan SK1 dan SK2 yang dipasang satu lapis demi satu lapis bergantian. Parameterisasi susunan kantong mengadopsi parameter *axial ratio* yang diusulkan oleh Newberry [8]. Hasil parameterisasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Berat Kantong Pasir. Berat model kantong pasir ditentukan mengacu pada Heerten dan Jackson [9], yaitu kurang lebih 2000 kg. Pasir yang digunakan mempunyai kepadatan kering $1,537 \text{ gram/cm}^3$, sedangkan pada kondisi jenuh air, kepadatan total pasir sebesar $1,927 \text{ gram/cm}^3$. Pada studi ini, skala model ditentukan 1 : 10. Menurut Sharp dan Khader [10] hubungan skala berat prototip dan model dapat dituliskan sebagai:

$$N_{Wa} = \frac{N\gamma_a}{N\left(\frac{\gamma_a}{\gamma_w} - 1\right)} N_L^3 = 1.080 \quad (1)$$



Gambar 1. Detail Flume Tank dan Penempatan *Wave Probe*

Pada kondisi pasir kering, berat model adalah:

$$(W_a)_m = \frac{(W_a)p}{N_{Wa}} = \frac{2.000}{1.080} \approx 1.85 \text{ kg} \quad (2)$$

Pada kondisi pasir jenuh air, berat kantong pasir meningkat menjadi 2.330 kg. Kepadatan relatif Δ sebesar 0,933. Kepadatan rata-rata pengisian kantong B1 dan B2 masing-masing adalah 88,00% dan 73,00%.

Kondisi Pengujian. Stabilitas pemecah gelombang tipe tenggelam mengalami kondisi kritis apabila elevasi puncak pemecah gelombang sama dengan elevasi muka air. Mengacu pada kondisi tersebut, maka tinggi susunan kantong ditentukan 50 cm, sesuai dengan



Gambar 2. Bentuk Kantong Pasir

Tabel 1. Karakterisasi Bentuk Kantong Pasir

Keterangan	Bentuk B1	Bentuk B2
BLc	0,975	0,880

Tabel 2. Parameterisasi Susunan Kantong Pasir

Parameter	Nilai Axial Ratio, Ar					
	SK1		SK2		SK3	
Kantong	S1,5	S2,0	S1,5	S2,0	S1,5	S2,0
Kantong B1	2,470	2,470	1,203	1,203	1,618	1,618
Kantong B2	1,610	1,610	1,139	1,139	1,450	1,450

elevasi muka air kolam gelombang, sehingga diperoleh *freeboard* sebesar 0 cm.

Pemecah gelombang kantong pasir ini, kantong pasir disusun dengan kemiringan 1 : 1,5 ($\cot \alpha = 1,50$) dan 1 : 2 ($\cot \alpha = 2,0$) (Tabel 3). Perbedaan kemiringan yang relatif kecil dibuat agar dapat diketahui sejauh mana pengaruh gaya gesek antar kantong terhadap stabilitas susunan kantong pasir. Lebar puncak (*crest width*) dibuat tetap 60 cm.

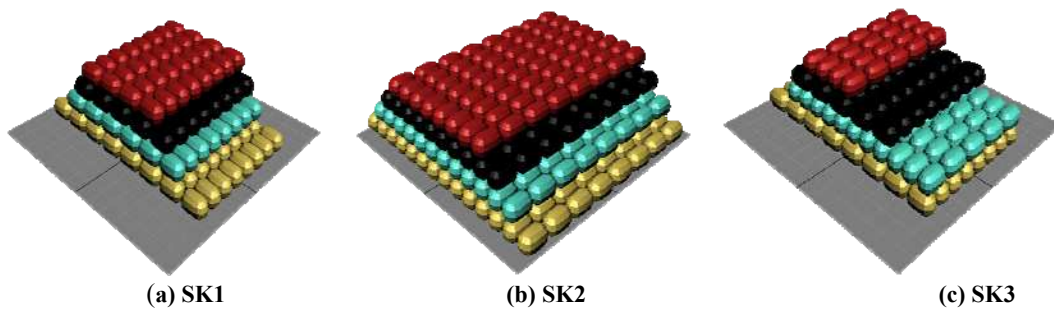
Sesuai kemampuan alat pembangkit gelombang, periode gelombang ditentukan 1,5 detik. Tinggi gelombang maksimum yang mampu dibangkitkan adalah 30 cm. Tinggi gelombang uji disesuaikan dengan kemampuan susunan kantong pasir dalam menerima gaya gelombang. Sedangkan jumlah gelombang pengujian pada studi ini adalah 1200 gelombang, terbagi dalam 6 tahap, setiap tahapan pengujian gelombang membutuhkan waktu 5 menit atau 200 gelombang.

Skala Model. Tinggi gelombang uji dan berat kantong pasir tergantung kepada skala model yang digunakan. Untuk skala model 1 : 10, maka pada penelitian ini, bilangan Reynold, Re mempunyai rentang nilai $(1,10-1,70) \times 10^5$. Kondisi tersebut sesuai Shirlal dan Manu [11] yang menyatakan bahwa bilangan Reynold diatas $3,5 \times 10^4$, menunjukkan pengaruh skala sangat kecil.

Karakteristik Ukuran Kantong Pasir. Pada perhitungan stabilitas, parameter yang perlu diperhatikan adalah karakteristik ukuran kantong pasir. Untuk pemecah gelombang tipe *armour stone*, perbandingan ukuran

Tabel 3. Kondisi Struktur pada Pengujian

Kondisi geometri	Dimensi:	
	Kondisi 1	Kondisi 2
Kemiringan struktur	1 : 1,5 $\cot \alpha = 1,5$	1 : 2 $\cot \alpha = 2,0$
Lebar puncak, Bw, cm	60	60
Freeboard, Fb, cm	0	0



Gambar 3. Ilustrasi Jenis Susunan Kantong

panjang, lebar, dan tebal batuan mendekati nilai 1 [12], maka karakteristik ukuran batuan merupakan karakteristik diameter:

$$D = \sqrt[3]{W/\gamma} \quad (3)$$

Untuk kantong pasir, yang mana ukuran panjang kantong beberapa kali lebih besar dari lebar atau tebal kantong, sehingga perhitungan karakteristik diameter tersebut tidak cocok apabila diterapkan pada kantong pasir [13].

Menurut Recio, terdapat dua pilihan untuk menganalisis karakteristik ukuran kantong pasir, D tersebut, pertama D merupakan rata-rata ukuran kantong pasir, kedua D merupakan panjang kantong pasir searah gelombang, [14]. Pada studi ini pilihan pertama diadopsi untuk analisa stabilitas dengan pertimbangan susunan dan bentuk kantong pasir dibuat bervariasi. Di samping pertimbangan tersebut, kantong pasir mempunyai bentuk yang mudah diukur.

3. Hasil dan Pembahasan

Kriteria Gelombang Uji. Pada pengujian stabilitas, gelombang uji diberikan secara bertahap, dari gelombang paling rendah, 10 cm, meningkat sampai paling tinggi, 24 cm, sedangkan periode gelombang sebesar 1,5 detik. Sesuai data gelombang uji, perbandingan tinggi gelombang maximum terhadap kedalaman, H/d mempunyai rentang nilai antara 0,352 sampai 0,514. Nilai H/d tersebut masih di bawah kriteria gelombang pecah Mc Cowan [15]. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil pengamatan pada saat pengujian, dimana gelombang mengalami pecah pada saat mengenai model.

Tipe gelombang pecah dapat ditentukan berdasarkan pada kemiringan struktur dan kecuraman gelombang. Sesuai kondisi pada pengujian, nilai parameter *surf similarity*, ξ_0 antara 3,214-1,658 untuk pengujian kantong B1 dan 3,053-1,677 untuk kantong B2. Menurut Battjes [16] tipe gelombang pecah pada pengujian ini dapat digolongkan sebagai gelombang pecah tipe *plunging* cenderung ke arah *surging*.

Tingkat dan Kriteria Kerusakan. Tingkat kerusakan ditentukan berdasarkan perbandingan jumlah kantong pasir terlepas dari susunan terhadap total jumlah kantong pasir pada zona aktif. Kriteria kantong pasir terlepas dari susunannya adalah kantong pasir yang telah tercabut dari susunannya pada zona kemiringan struktur. Sedangkan perpindahan kantong pasir ke belakang struktur tidak diperhitungkan. Kriteria jumlah kantong pasir pada zona aktif adalah jumlah kantong pasir yang berada antara antara paras muka air tenang dengan posisi lapisan kantong paling bawah yang terlepas dari susunannya.

Kerusakan terkecil yang terjadi selama pengujian diklasifikasikan sebagai kerusakan awal, $S = 3\%$. Untuk kantong B1, terdapat 3 kantong yang jatuh, total kantong pada zona aktif 120 kantong, sedangkan kantong B2, terdapat 4 kantong jatuh, total kantong 132 buah.

Kerusakan terbesar dianggap mewakili kerusakan lanjut, $S = 20\%$. Untuk kantong B1, terdapat 27 kantong yang jatuh, total kantong 120 kantong. Sedangkan kantong B2, terdapat 22 kantong jatuh, total kantong 125 buah. Kriteria kerusakan ini berlaku untuk kantong pasir yang jatuh ke arah gelombang.

Pengaruh Kemiringan Lereng. Pemecah gelombang kantong pasir merupakan susunan kantong dengan kemiringan tertentu. Sifat permukaan kantong pasir relatif halus mengakibatkan gaya gesek antar kantong (*interlocking*) menjadi kecil. Keadaan ini menyebabkan susunan kantong pasir peka terhadap perubahan gaya gelombang. Kondisi ini sesuai dengan penelitian Irschik [17] bahwa gaya hidrodinamis gelombang dipengaruhi oleh kemiringan suatu struktur.

Sesuai Irschik [17], kemiringan landai menyebabkan berkurangnya gaya hidrodinamis gelombang terhadap struktur tersebut. Pengurangan gaya gelombang tersebut mengakibatkan kantong pasir menjadi tidak mudah jatuh, sehingga terjadi peningkatan stabilitas susunan kantong pasir. Hasil pengujian memperlihatkan struktur dengan kemiringan landai, SK1-S2,0, dengan kemiringan 1:2,0, lebih stabil terhadap terjangan gelombang dari pada struktur dengan kemiringan curam, SK1-S1,5, dengan kemiringan 1 : 1,5 (Gambar 4). Kondisi yang sama nampak secara jelas pada kantong B2.

Pengaruh Susunan dan Bentuk Kantong Pasir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa susunan SK1 mempunyai stabilitas paling tinggi, fenomena ini menunjukkan bahwa stabilitas susunan dipengaruhi penempatan kantong. Susunan kantong dengan sumbu panjang sejajar searah gelombang memberikan tingkat stabilitas lebih tinggi, hal ini sesuai [18] dan [19].

Untuk kemiringan yang sama, gaya gelombang pada struktur dipengaruhi luas penampang kantong pasir. Pada kantong pasir B1, susunan SK1 mempunyai luas penampang lebih kecil, 8,63 cm dari pada susunan SK2, 17,70 cm, sehingga gaya gelombang terhadap susunan SK1 lebih kecil dari pada susunan SK2. Hal ini menyebabkan susunan SK1 mempunyai tingkat kerusakan paling sedikit dibandingkan susunan SK2. Sedangkan susunan SK3 mempunyai luas tampang kombinasi antara SK1 dan SK2, sehingga mempunyai stabilitas diantara kedua susunan tersebut, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5. Fenomena serupa juga terjadi pada kantong B2, namun karena perbandingan

antara lebar dan panjang kantong relatif kecil, maka pengaruh susunan terhadap stabilitas hanya nampak pada energi gelombang tinggi.

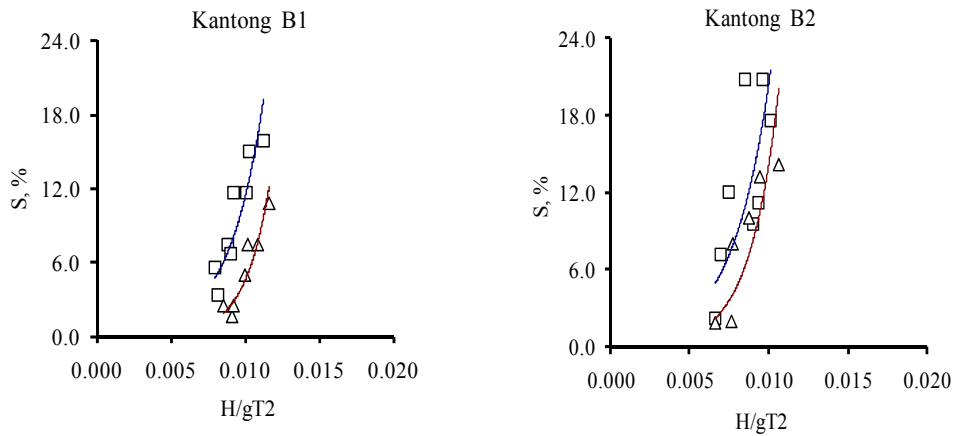
Perbandingan Perilaku Stabilitas dengan Pemecah Gelombang *Rubble Mound*. Pada saat diberi gaya gelombang beberapa kantong pasir tercabut dari susunan. Jumlah kumulatif kantong pasir yang tercabut dari susunannya disebut tingkat kerusakan struktur. Tingkat kerusakan merupakan indikator stabilitas suatu struktur. Apabila kita mengacu pada persamaan Hudson [12] maka diperoleh Koefisien Stabilitas, K_D kantong pasir (Tabel 4).

Hasil perhitungan stabilitas menunjukkan nilai Koefisien Stabilitas, K_D untuk kantong B1 mempunyai rentang perbedaan relatif besar, antara 0,86–5,70, dengan nilai rata-rata 2,98, standar deviasi 1,97. Sedangkan pada kantong B2, perbedaan nilai K_D antar

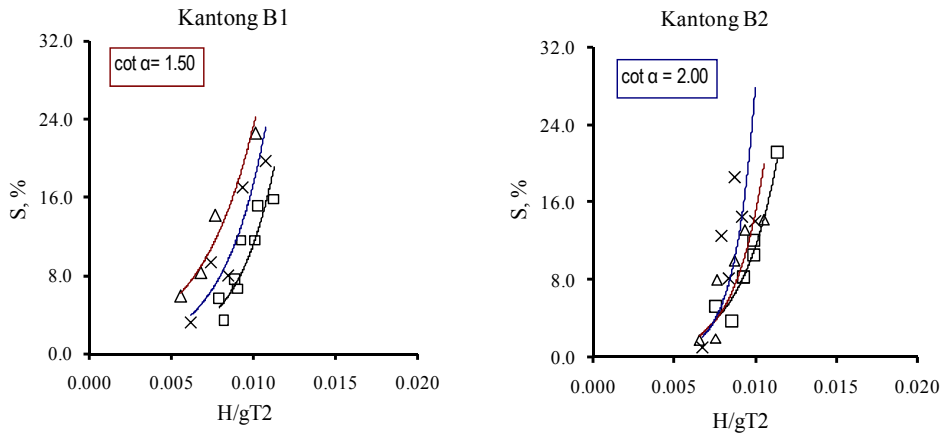
susunan mempunyai rentang relatif sempit, antara 2,25–2,92, dengan nilai rata-rata 2,59, standar deviasi 0,24.

Hudson [12] menentukan koefisien stabilitas, K_D , untuk material batuan sebagai representasi berbagai variabel yang berperan di dalam proses stabilitas. Nilai K_D ditentukan dengan didasarkan pada standar kerusakan tertentu. Sesuai kriteria kerusakan $S = 0-5\%$, diperoleh nilai Koefisien Stabilitas K_D , (Tabel 5).

Menurut Tabel 5, untuk tipe batuan halus dan tak bersudut, dengan penempatan acak pada kondisi gelombang tidak pecah oleh Hudson [20] ditentukan nilai K_D sebesar 2,4, sedangkan untuk kondisi kasar, bersudut dan pemasangan khusus, dengan sumbu panjang tegak lurus gelombang ditentukan nilai K_D sebesar 5,5. Kedua nilai K_D tersebut berlaku untuk rentang sudut kemiringan, $1,5 \leq \cot \alpha \leq 3,0$.



Gambar 4. Pengaruh Kemiringan Struktur terhadap Tingkat Kerusakan Susunan Kantong Pasir, Kantong B1, SK1-S1,5 (□), SK1-S2,0 (Δ); Kantong B2, SK2-S1,5 (□), SK2-S2,0 (Δ)



Gambar 5. Pengaruh Jenis Susunan terhadap Tingkat Kerusakan Susunan Kantong Pasir, SK1 (□), SK2 (Δ), dan SK3 (X)

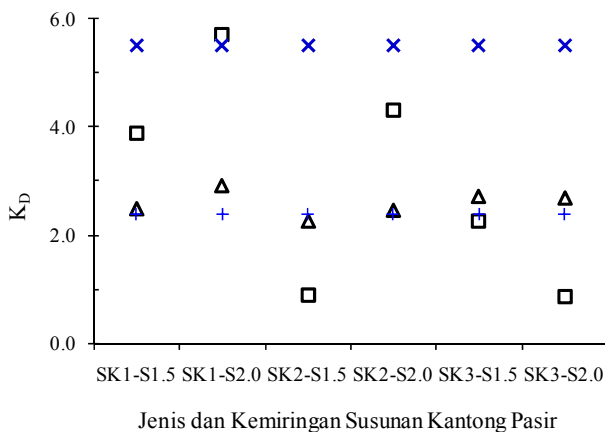
Tabel 4. Nilai Koefisien Stabilitas K_D Kantong Pasir untuk Tingkat Kerusakan 5,00%

Kerusakan %	Koefisien Stabilitas, K_D					
	SK1-S1.5	SK1-S2.0	SK2-S1.5	SK2-S2.0	SK3-S1.5	SK3-S2.0
Kantong B1	3,89	5,70	0,89	4,31	2,25	0,86
Kantong B2	2,48	2,92	2,25	2,46	2,73	2,68

Tabel 5. Nilai Koefisien Stabilitas K_D Batuan [20] (dalam [21]). Nilai K_D oleh SPM 1977, $H = H_s$, untuk Sudut Kemiringan $1,5 \leq \cot \alpha \leq 3,0$ (Didasarkan pada Pengujian Gelombang Teratur)

Bentuk batuan	Pemasangan	Kerusakan, D^4			
		0-5%		5-10%	
		Gelombang pecah ¹	Gelombang tidak pecah ²	Gelombang tidak pecah	Gelombang tidak pecah
Halus, tak bersudut	Acak	2,1	2,4	3,0	3,6
Kasar, bersudut	Acak	3,5	4,0	4,9	6,6
Kasar, bersudut	Khusus ³	4,8	5,5	-	-

Sumber: CERC [21]

¹) Gelombang pecah sebagai gelombang kedalaman terbatas²) Gelombang pecah tidak terbatas kedalaman terjadi di depan tereng lapisan pelindung³) Pemasangan khusus dengan sumbu panjang batuan dipasang tegak lurus terhadap permukaan lereng⁴) D didefinisikan sesuai SPM

Gambar 6. Perbandingan Nilai K_D , Batuan [20] (dalam [21]) dan Kantong Pasir, Tingkat Kerusakan $S = 0-5,00$ %, Kantong B1 (\square); Kantong B2 (Δ); Hudson, pemasangan acak, 1974 (+); Hudson, pemasangan khusus, 1974 (x).

Nilai K_D untuk kantong pasir sangat bervariasi tergantung dengan bentuk kantong, kemiringan susunan dan jenis susunan (Gambar 6). Sedangkan nilai K_D [12] untuk batuan hanya tergantung kepada bentuk batuan dan jenis susunan. Fenomena ini menunjukkan bahwa permukaan kantong yang halus sangat peka terhadap perubahan gaya gelombang. Sedikit perubahan kemiringan, $\cot \alpha = 1,50$ menjadi $\cot \alpha = 2,00$, berpengaruh terhadap stabilitas pemecah gelombang susunan kantong pasir dibandingkan pada pemecah gelombang jenis *rubble mound*.

4. Simpulan

Gaya gesek (*interlocking*) antar kantong pasir relatif kecil, sehingga susunan kantong pasir sangat peka terhadap perubahan kemiringan dan jenis susunan. Kemiringan landai menyebabkan gaya gelombang yang menerjang struktur menjadi berkurang. Hal ini terlihat pada jenis susunan yang sama, kemiringan susunan landai, $1 : 2,0$, yaitu SK1-S2,0, lebih stabil dibandingkan susunan dengan kemiringan lebih curam, $1 : 1,5$, yaitu SK1-S1,5. Sedangkan, pada kemiringan sama, luas penampang susunan lebih kecil, SK1, mempunyai tingkat stabilitas lebih tinggi dibandingkan susunan dengan penampang lebih besar, SK3 dan SK2. Sesuai hasil pengujian menunjukkan bentuk kantong pasir B1 dan susunan kantong pasir SK1 merupakan kombinasi yang perlu dikembangkan, karena mempunyai tingkat stabilitas lebih tinggi dibandingkan bentuk dan susunan lain. Apabila mengacu kepada persamaan Hudson [12] maka diperoleh koefisien stabilitas, K_D susunan kantong pasir yang sangat bervariasi. Susunan kantong pasir mempunyai harga K_D bervariasi sesuai perubahan kemiringan, susunan, dan bentuk kantong. Gaya gesek antara kantong (*interlocking*) yang relatif kecil merupakan penyebab stabilitas susunan kantong pasir peka terhadap perubahan gaya gelombang. Perubahan gaya gelombang disebabkan oleh perubahan kemiringan dan perubahan luas tampang kantong pasir sebagai akibat perubahan bentuk dan susunan kantong pasir.

Daftar Notasi

Ar	=	Axial Ratio
	=	$\frac{\text{longest axial length } (l)}{\text{shortest axial breadth } (b)}$
BLc	=	Koefisien Blockiness
	=	$\frac{\text{Volume batuan}}{X.Y.Z} \times 100\%$
B1	=	kantong pasir bentuk guling
B2	=	kantong pasir bentuk bantal
D	=	panjang karakteristik kantong pasir
D	=	damage (kerusakan) [21]
Dn	=	diameter nominal
H	=	tinggi gelombang
Hs	=	tinggi gelombang signifikan
K _n	=	konstanta stabilitas
K _D	=	koefisien stabilitas dengan tingkat kerusakan tertentu
N	=	Jumlah gelombang
N _L	=	skala panjang
N _{ya}	=	skala densiti
N _{wa}	=	skala berat
Ns	=	bilangan stabilitas
Rc	=	tinggi puncak struktur terhadap SWL
S	=	tingkat kerusakan
Sr	=	Spesific Gravity = $\frac{\rho_t}{\rho_w}$
SK1	=	susunan kantong sumbu panjang searah gelombang
SK2	=	susunan kantong sumbu panjang tegak lurus arah gelombang
SK3	=	superposisi susunan SK1 dan SK2
S1.5	=	kemiringan struktur kantong pasir, cot α = 1.5
S2.0	=	kemiringan struktur kantong pasir, cot α = 2.0
b	=	lebar kantong pasir
cot α	=	cotangen α
	=	kemiringan susunan kantong pasir
g	=	percepatan gravitasi
α	=	kemiringan lereng model
γ _r	=	densiti rubble-mound
Δ	=	densiti relatif
	=	$\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$
ξ ₀	=	surf similarity = $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0/L_0}}$
ρ _E	=	densiti pasir dalam kondisi jenuh
ρ _w	=	densiti air

Daftar Acuan

[1] S.J. Restall, L.A. Jackson, G. Heerten, W.P. Hornsey, Geotext. Geomembr. 20 (2002) 321.
 [2] R. Silvester, J.R.C. Hsu, Coastal Stabilization, Innovative Concepts, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992, p. 475.

[3] Z. Lijun., J. Wang, N.S. Cheng, et al., J. Waterw. Port Coastal Ocean Eng. 130/2 (2004) 98.
 [4] E.C. Shin, Y.I. Oh, Geotext. Geomembr. 25 (2007) 264.
 [5] N. Yuwono, Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai, Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT UGM, Yogyakarta, 1992, p. V-6.
 [6] K.P. Black, S.T. Mead, J. Coastal Manage. 27/4 (1999) 355.
 [7] H.F. Burcharth, In: M.B. Abbot, W.A. Price (eds), Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers' Reference Book, E & FN SPON London, 1994, p. 381.
 [8] S.D. Newberry, J.P. Latham, T.P. Stewart, J.D. Simm, Proceeding of the 28th International Conference Coastal Engineering, Cardiff Wales, 2002, p. 1436.
 [9] G. Heerten, L.A. Jackson, International Conference on Coastal Engineering 2000-Sydney Australia, 2000, p. 1733.
 [10] J.J. Sharp, M.H.A. Khader, Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures, ed. H. Kobus IAHR, 1984, p. 7.12-1.
 [11] K.G. Shirlal, S.R. Manu, Ocean Eng. 34 (2007) 2093.
 [12] R.Y. Hudson, Waterways Harbor Div. 85 (1959) WW3.
 [13] K.W. Pilarczyk, Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering, A.A. Balkema Rotterdam, 2000, p. 318.
 [14] J.A. Recio, PhD. Thesis, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universitat Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig, 2007.
 [15] CERC, Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, 4th ed, US Government Printing Office, Washington, 1984.
 [16] J.A. Battjes, Proceedings 14th Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE, Copenhagen, 1974, p. 69.
 [17] K. Irschik, U. Sparboom, H. Oumeraci, Proceeding of the 29th International Conference Coastal Engineering 2004, ASCE Lisbon 2004, p. 568-580.
 [18] M.J.L. Porraz, A.J.A. Maza, R.R. Medina, Proceedings Conference on Coastal Structures, ASCE, 1979, p. 270.
 [19] H. Oumeraci, M. Hinz, M. Bleck, A. Kortenhaus, Proceeding Coastal Structure, Portland Oregon USA, 2003, p. 1.
 [20] R.Y. Hudson, Miscellaneous Paper H-74-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1974.
 [21] CERC, Coastal Engineering Manual, Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington, 2001, p. V-5-65.