

KARAKTER STABILITAS PEMECAH GELOMBANG KANTONG PASIR TIPE TENGGELAM

Ferry Fatnanta ¹⁾, Jaji Abdurrosyid ²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Riau, e-mail: fatnanto5@yahoo.com

²⁾ Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta, e-mail: jarrosyid@yahoo.com

ABSTRACT

Breakwater is one of coastal structures to overcome problems of abrasion. Due to difficulties in obtaining rock material at the coast area, the material for breakwater must be primarily considered. The using of sandbags as a breakwater providing advantages in utilizing local materials. Therefore, the problem of the rock material supply can be overcome. Considering that the coast has a relatively high economic value, environmentally oriented conservation of the coastal protection is necessarily built without damaging the beauty of the coast itself. That is why this research on behavior of wave transmission and the stability of submerged sandbag breakwater is carried out. This experimental research conducted in two dimensional physical model and take place on the flume tank of The Environmental and Ocean Energy Laboratory of Ocean Engineering Department, Faculty of Marine Technology, ITS Surabaya. The sandbag formation have a smooth surfaces. It is relative impermeable, so that the internal flows did not occur. For stability test, it shows that the response of the sandbag is influenced by the elasticity of sandbag which depends on its dimension and density. The sandbags size influences the grip zone, which is a ratio of length to the thickness of sandbags. The behavior of sandbags deformations depend on the elasticity of sandbags. As a result, the stability depend on the change of wave forces on the structure, as a consequence of the change of slope and cross areas due to sandbags shape and formation type. The formation of SK1 has relatively high stability; the structure with mild slope is more stable, and the sandbag shapes B1 more stable than B2.

Keywords: sandbag breakwater, stability, dimension and density of sandbags

ABSTRAK

Breakwater merupakan salah satu bangunan pantai untuk mengatasi masalah abrasi. Karena kesulitan dalam memperoleh bahan batu di daerah pantai, bahan untuk breakwater harus terutama dipertimbangkan. Penggunaan karung pasir sebagai pemecah gelombang memberikan keuntungan dalam memanfaatkan bahan lokal. Oleh karena itu, masalah pasokan bahan batu dapat diatasi. Menimbang bahwa pantai memiliki nilai ekonomi yang relatif tinggi, konservasi lingkungan berorientasi perlindungan pesisir selalu dibangun tanpa merusak keindahan pantai itu sendiri. Itulah sebabnya penelitian tentang perilaku transmisi gelombang dan stabilitas dari breakwater karung pasir terendam dilakukan. Penelitian eksperimen ini dilakukan dalam model fisik dua dimensi dan berlangsung pada tangki flume di Laboratorium Lingkungan dan Energi Kelautan Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya. Formasi karung pasir memiliki permukaan halus. Hal ini relatif kedap air, sehingga arus internal tidak terjadi. Pada tes stabilitas, menunjukkan bahwa respon dari karung pasir dipengaruhi oleh elastisitas karung pasir yang tergantung pada dimensi dan rapat massa. Ukuran karung pasir mempengaruhi zona pegangan, yang merupakan rasio panjang dengan ketebalan dari karung pasir. Perilaku deformasi karung pasir tergantung pada elastisitas karung pasir. Akibatnya, stabilitas tergantung pada perubahan gaya gelombang pada struktur bangunan, sebagai konsekuensi dari perubahan lereng dan daerah lintas karena bentuk karung pasir dan jenis formasi. Pembentukan SK1 memiliki stabilitas yang relatif tinggi; struktur dengan kemiringan ringan lebih stabil, dan karung pasir bentuk B1 lebih stabil dari B2.

Kata-kata Kunci: Pemecah gelombang karung pasir, stabilitas, dimensi, rapat massa karung pasir

PENDAHULUAN

Penerapan kantong pasir sebagai struktur bangunan pantai merupakan hasil pengembangan oleh para praktisi dengan beberapa pertimbangan antara lain kemampuan melaksanakan di lapangan (Restall, dkk., 2002), biaya dan kesulitan pengadaan batuan (Silvester dan Hsu, 1992; Restall, dkk., 2002; Zhu, dkk., 2004; Shin dan Oh, 2007), kemudahan dalam pelaksanaan dan pengadaan pasir yang banyak tersedia di lokasi (Zhu, dkk., 2004), dapat memanfaatkan bahan yang terdapat di lokasi pekerjaan (Yuwono, 1992).

Black (2001) menyatakan bahwa penggunaan pemecah gelombang tipe *subaerial* atau *seawall* dapat mengganggu pemandangan serta menyulitkan aktifitas masyarakat pantai. Suatu struktur pelindung pantai diperlukan untuk melindungi pantai terhadap erosi, namun diharapkan tidak merusak keindahan pantai (Yuwono, dkk., 1997). Penggunaan pemecah gelombang *soft shore protection* tidak mempunyai dampak buruk terhadap ekologi di daerah tersebut (Black and Mead, 1999).

Penjelasan tersebut di atas menunjukkan diperlukan tipe pemecah gelombang yang dapat menggunakan bahan setempat dan seminimal mungkin berdampak negatif terhadap lingkungan. Pemecah gelombang kantong pasir tipe tenggelam merupakan sa-

lah satu tipe pemecah gelombang yang diharapkan dapat memenuhi kriteria-kriteria tersebut di atas.

Kantong pasir merupakan struktur komposit, gabungan antara kantong dan bahan pengisi kantong. Kantong pasir merupakan struktur fleksibel (Hornsey, dkk., 2003), dimana tingkat elastisitas ditentukan oleh sifat bahan pengisi kantong, tingkat kepadatan dan ukuran kantong. Oleh sebab itu kekasaran permukaan kantong, kemiringan susunan, ukuran kantong dan bentuk kantong pasir berpengaruh kepada respon susunan kantong pasir terhadap gaya gelombang. Atas pemikiran tersebut maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai perilaku stabilitas pemecah gelombang kantong pasir dengan memasukkan pengaruh kemiringan, susunan dan bentuk kantong.

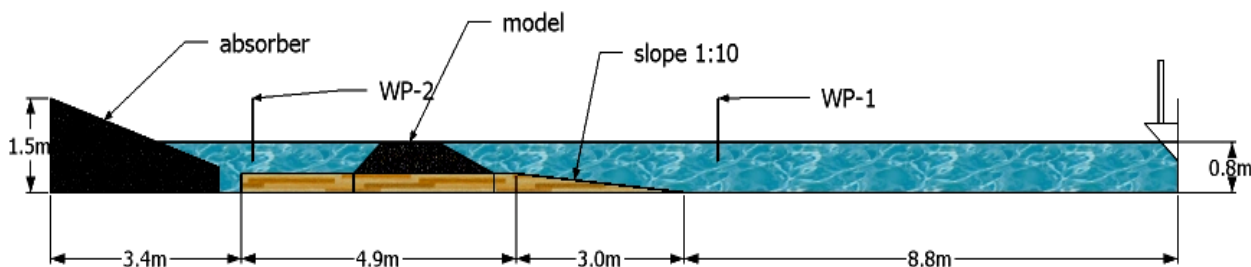
METODE PENELITIAN

Set-up Eksperimental

Kolam gelombang yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai dimensi panjang 20m, tinggi 1,5m, lebar 0,8m, dengan kedalaman air 0,80m. Pada posisi dimana pemecah gelombang diletakkan, elevasi dasar kolam dinaikkan 30cm dan dibuat kemiringan dasar 1:10.

Pada penelitian ini digunakan dua buah *wave probe*, sesuai dengan kemampuan peralatan kolam gelombang, dipasang satu *wave probe* di depan dan di belakang model. Untuk pengukuran

gelombang datang, *wave probe* dipasang dengan jarak satu panjang gelombang maksimum terhadap kaki struktur maupun pembangkit gelombang, seperti tampak pada Gambar 1.



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

Penentuan berat model kantong pasir mengacu hasil penelitian penggunaan kantong pasir untuk struktur pengamanan pantai seberat 2 ton (Heerten dan Jackson, 2000). Pasir yang digunakan pada penelitian ini mempunyai densiti kering 1,537 gram/cm³. Pada kondisi jenuh air, densiti total pasir sebesar 1,927 gram/cm³. Apabila ditentukan skala model adalah 1 : 10, menurut Sharp and Khader (1984) hubungan skala berat prototip dan model dapat ditulis sebagai:

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

Pada kondisi pasir kering, berat model dapat dihitung sebagai berikut :

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

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

Kondisi Pengujian

Pemecah gelombang kantong pasir ini, kantong pasir disusun dengan kemiringan 1 : 1.5 dan 1 : 2, tinggi struktur ditentukan 50cm, sedangkan tinggi muka air dibuat tetap, yaitu 50cm sehingga *freeboard* sebesar 0cm. Lebar puncak (*crest width*) dibuat tetap 60cm. Kondisi geometri struktur pemecah gelombang kantong pasir dapat dilihat pada Tabel 1.

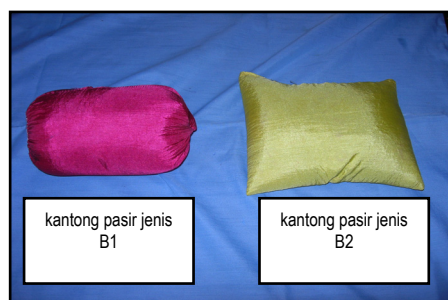
Tabel 1. Kondisi Struktur pada Pengujian

Kondisi geometri	Dimensi:	
	Kondisi 1	Kondisi 2
Kemiringan struktur	1 : 1.5	1 : 2
Lebar puncak, Bw, cm	60	60
Freeboard, Fb, cm	0	0

Sesuai kemampuan peralatan yang tersedia, periode gelombang uji ditentukan sebesar 1.5detik. Sedangkan jumlah gelombang pengujian pada studi ini adalah 1200 gelombang.

Bentuk dan Susunan Kantong Pasir

Pada penelitian ini bentuk kantong pasir dibuat menjadi dua variasi yaitu bentuk B1 dan bentuk B2 seperti tampak pada Gambar 2. Dimensi kantong rata-rata adalah panjang, 17,70cm dan lebar 8,63cm, tebal 8,13cm untuk kantong jenis B1, sedangkan kantong B2 mempunyai dimensi panjang 18,55 cm, lebar 15,20 cm dan tebal maximum 4,88cm.



Gambar 2. Bentuk Kantong Pasir

Pada studi ini, koefisien *Blockiness*, BLC (Newberry, dkk., 2002) diadopsi untuk parameterisasi bentuk kantong pasir. Hasil parameterisasi bentuk kantong B1 dan B2 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi Bentuk Kantong Pasir

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

Pada studi ini ditinjau pengaruh susunan kantong pasir terhadap stabilitas pemecah gelombang kantong pasir. Susunan kantong pasir dibuat tiga variasi susunan, seperti yang tampak pada Gambar 3. Susunan kantong pasir direncanakan sebanyak 3 susunan, yaitu SK1, SK2 dan SK3. Susunan SK1 adalah susunan kantong dimana sumbu panjang kantong sejajar arah gelombang, SK2 adalah susunan kantong dimana sumbu pendek sejajar arah gelombang, sedangkan SK3 susunan selang seling berlapis SK1 dan SK2. Parameterisasi susunan kantong mengadopsi parameter *axial ratio* (Newberry, dkk., 2002). Hasil parameterisasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

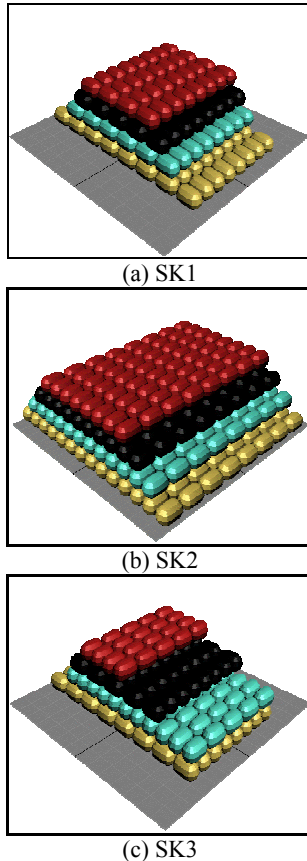
Tabel 3. Parameterisasi Susunan Kantong Pasir

Susunan Kantong	Nilai Axial Ratio, Ar					
	SK1		SK2		SK3	
	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

Skala Model

Untuk mencegah pengaruh skala terhadap pengujian model skala kecil, Van der Meer (1988) menyarankan batas minimum nilai bilangan Reynold dalam rentang antara 1 – 4 x 10⁴. Sedangkan Shirlal, dan Manu (2007) menyatakan bahwa bilangan Reynold diatas 3,5 x 10⁴, pengaruh skala model menjadi tidak

berarti. Pada penelitian ini nilai bilangan Reynold, Re minimum sebesar $1,06 \times 10^5$.



Gambar 3. Variasi Susunan Kantong

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum konsep respon kantong pasir terhadap gaya gelombang didasarkan pada kondisi keseimbangan antara gaya hidrodinamis gelombang dan gaya penahan material pemecah gelombang. Gaya hidrodinamis gelombang pada setiap unit kantong pasir merupakan resultan gaya seret (*drag force*) dan gaya angkat (*lift force*). Sedangkan gaya penahan adalah gaya gravitasi dan gaya gesek antar kantong pasir.

Kriteria Gelombang Uji

Pada pengujian stabilitas, gelombang uji diberikan secara bertahap, dari gelombang paling rendah, 10cm, meningkat sampai paling tinggi, 24cm, sedangkan periode gelombang ditentukan 1,5detik. Sesuai data gelombang uji, perbandingan tinggi gelombang maximum terhadap kedalaman, H/d mempunyai rentang nilai antara 0,352 sampai 0,514, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. Nilai H/d tersebut masih di bawah kriteria gelombang pecah Mc Cowan (CERC, 1984).

Kondisi tersebut sesuai dengan hasil pengamatan pada saat pengujian. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa gelombang mengalami pecah pada saat mengenai model.

Tabel 4. Perbandingan Tinggi Gelombang Maximum terhadap Kedalaman (H/d)

Susunan	SK1		SK2		SK3	
	S1.5	S2.0	S1.5	S2.0	S1.5	S2.0
Kantong B1	0,497	0,514	0,446	0,492	0,474	0,481
Kantong B2	0,439	0,439	0,446	0,467	0,352	0,442

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 (1974), tipe gelombang pecah pada pengujian ini dapat diklasifikasikan sebagai gelombang pecah tipe *plunging* cenderung ke arah *surgings*.

Gaya Gelombang Pada Struktur

Gaya gelombang pada struktur pantai dapat dibedakan menjadi gelombang pecah, gelombang sudah pecah dan gelombang belum pecah (CERC, 1984). Kondisi gelombang tersebut berpengaruh terhadap beban struktur pantai, sebab terdapat hubungan antara gaya tubrukan (*impact*) dengan gelombang pecah. Pada saat tubrukan gelombang, terjadi tekanan sangat tinggi pada waktu singkat dan pada luasan sempit (Fuhrboter, 1994). Selama proses gelombang pecah terjadi perubahan energi yang sangat kompleks, dari energi potensial menjadi energi kinetik.

Gelombang *run-up* merupakan hasil perubahan bentuk energi potensial menjadi energi kinetik pada saat gelombang pecah. Energi tersebut sebagian energi diserap oleh gerakan turbulen, sedangkan sebagian energi lain berbentuk *running up* (Fuhrboter, 1994). Tinggi *run-up* dipengaruhi oleh kemiringan struktur, geometris gelombang dan kondisi permukaan (Burchart, 1994)

Fuhrboter (1994) juga menyatakan bahwa gelombang pecah pada bidang miring menyebabkan terjadinya *up-rush*. Fenomena *up-rush* mengakibatkan kecepatan aliran gelombang relatif tinggi, hal ini sebagai penyebab terjadinya gaya tangensial (*shear forces*) pada struktur pemecah gelombang.

Pada studi ini digunakan susunan kantong pasir sebagai pemecah gelombang, dimana permukaan kantong pasir relatif halus (*smooth*) dan kedap air dibandingkan permukaan batuan. Sehingga dimungkinkan kecepatan aliran gelombang (*over flow*) pada kantong pasir lebih tinggi dibandingkan pada permukaan batuan yang kasar dan *permeable*.

Pada pengujian stabilitas, susunan kantong pasir bersifat *overtopping*, sehingga sebagian energi gelombang dapat melewati struktur. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran *up-rush* lebih dominan sebagai penyebab kantong pasir tercabut dari susunan pada sisi depan struktur dibandingkan kecepatan *down-rush*, seperti tampak pada Gambar 4. Fenomena ini berbeda dengan Jensen (1984); Recio dan Oumeraci (2008), yang mana fenomena akibat *down-rush* merupakan kondisi kritis untuk stabilitas pemecah gelombang.



Gambar 4. Fenomena *Up-Rush* Sebagai Penyebab Terlepasnya Kantong Pasir dari Susunannya

Pergerakan Kantong Pasir Pada Zona Puncak Struktur

Pada struktur *overtopping*, dimana sebagian energi gelombang digunakan sebagai pencabut kantong pada daerah kemiringan, sedangkan sebagian energi lainnya akan melewati puncak struktur. Energi gelombang yang melewati puncak struktur ini mengakibatkan kantong akan terseret ke belakang, seperti ditampilkan pada Gambar 5.



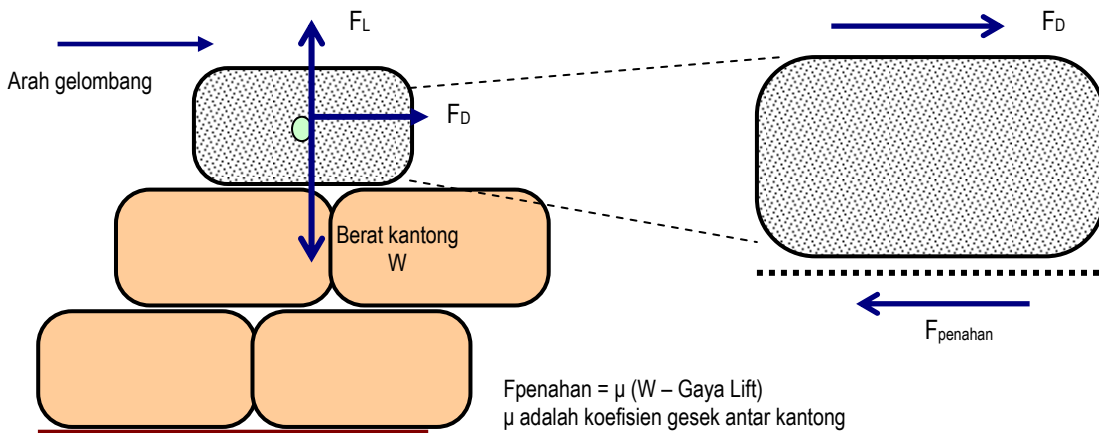
Gambar 5. Pergerakan Kantong Pasir pada Zona Puncak Susunan

Gaya hidrodinamis gelombang yang berperan pada proses terseretnya kantong pada puncak susunan adalah gaya seret (*drag force*). Sedangkan gaya angkat (*lift force*) dan gaya gravitasi berpengaruh terhadap pergerakan vertikal kantong, seperti skema gaya yang ditampilkan pada Gambar 6. Sesuai gaya yang berperan, fenomena terseretnya kantong di puncak struktur tersebut dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan luas tampang kantong. Luas tampang kantong ditentukan oleh jenis susunan dan bentuk kantong.

Sesuai skema gaya yang telah ditampilkan pada Gambar 6, resultan gaya pada posisi seimbang dapat dituliskan sebagai:

$$\mu (W - F_L) = F_D \tag{3}$$

$$\mu (\Delta g V - 0,5 C_L A_T u^2) = 0,5 C_D A_S u^2 \tag{4}$$



Gambar 6. Skema Gaya Kantong Pasir pada Zona Puncak Struktur

Sesuai Persamaan 4, luasan A_T makin besar, gaya angkat juga makin meningkat. Peningkatan gaya angkat tersebut akan mengurangi gaya gesek antar kantong. Luas A_S makin besar menyebabkan gaya seret, juga makin meningkat. Peningkatan gaya seret akan mempermudah terseretnya kantong pasir.

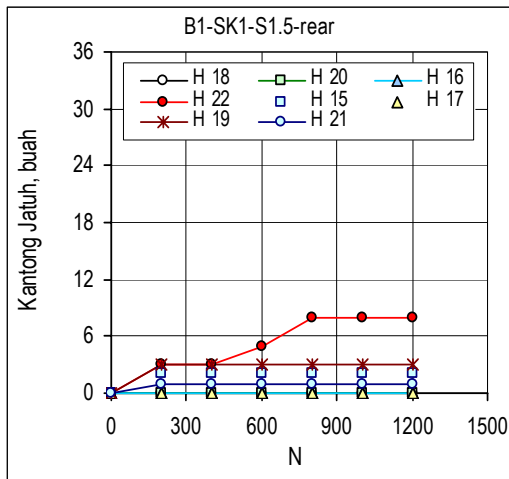
Pada susunan kantong yang sama, misal SK1, luas A_T kantong B2, adalah 281cm^2 , lebih besar dibandingkan luas A_T kantong B1 sebesar 152cm^2 . Hal ini menyebabkan gaya angkat pada kantong B2 lebih besar dibandingkan kantong B1. Sedangkan gaya berat W pada kedua jenis bentuk kantong adalah sama, $W_{B2}=W_{B1}$. Kondisi ini diperkuat oleh luas A_S kantong B2, $74,2\text{cm}^2$, lebih besar dibandingkan luas A_S kantong B1, 70cm^2 . Kondisi ini menyebabkan gaya seret kantong B2 lebih besar dibandingkan kantong B1. Sesuai penjelasan tersebut di atas, terlihat bahwa kantong bentuk B2 lebih mudah bergerak dibandingkan bentuk kantong B1.

Kondisi ini sesuai dengan hasil pengujian seperti yang ditampilkan pada Gambar 7. Pada Gambar 7, terlihat bahwa pada susunan sama yang sama, kantong B2 lebih mudah terseret ke belakang struktur dibanding kantong B1. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bentuk kantong berpengaruh terhadap terseretnya kantong pasir di puncak struktur.

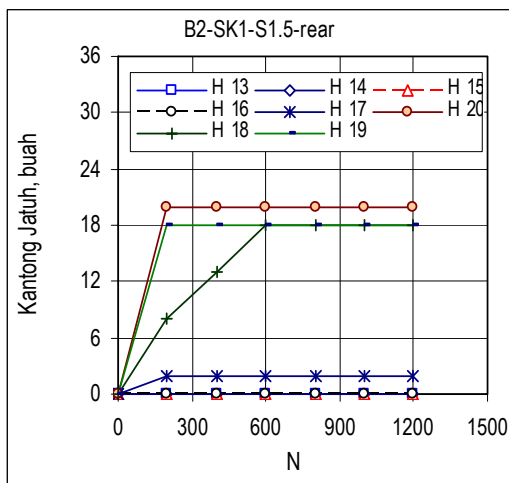
Pergerakan Kantong Pasir Pada Zona Kemiringan Struktur

Sesuai Persamaan 4, bahwa selain luas tampang, gaya hidrodinamis gelombang juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran, u. Pada saat aliran gelombang berinteraksi dengan susunan kantong, terjadi gesekan antara aliran dengan permukaan struktur. Semakin luas bidang gesek, gaya gesek makin meningkat. Sesuai peningkatan gaya gesek, kecepatan aliran gelombang berkurang, sehingga terjadi penurunan gaya gelombang.

Hasil pengujian stabilitas menunjukkan bahwa jumlah kantong yang terseret pada puncak susunan dipengaruhi oleh kemiringan struktur. Pada susunan dan bentuk kantong sama, jumlah kantong pasir terseret pada struktur dengan kemiringan curam ($\cot \alpha = 1,5$) lebih banyak dibandingkan pada struktur dengan kemiringan landai ($\cot \alpha = 2,0$), seperti ditampilkan pada Gambar 8. Kondisi tersebut disebabkan terjadinya penurunan gaya gelombang sebagai akibat penurunan aliran gelombang. Aliran gelombang dipengaruhi oleh luas bidang gesek, sedangkan luas bidang gesek ditentukan kemiringan struktur.



(a)



(b)

Gambar 7. Pengaruh Bentuk Kantong terhadap Jumlah Kantong Pasir yang Jatuh pada Zona Puncak Struktur

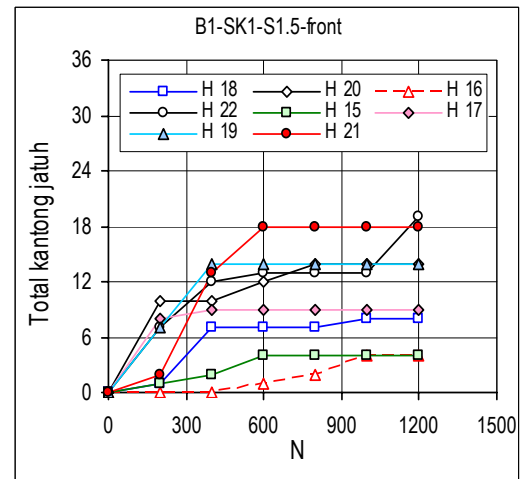
Recio dan Oumeraci (2008) menyatakan bahwa beberapa saat setelah serangan gelombang, pasir terkumpul di ujung kantong dan mengurangi zona kontak dengan kantong di atas dan di bawahnya, seperti tampak pada Gambar 9. Pendapat tersebut benar apabila posisi kantong dijepit secara kuat oleh kantong pasir lainnya.

Perilaku tersebut di atas tidak berlaku apabila zona jepitan antar kantong relatif pendek, gaya jepit antar kantong menjadi lemah. Lemahnya gaya jepit antar kantong mengakibatkan kantong pasir dapat bergerak secara keseluruhan kantong (kaku), seperti ditampilkan pada Gambar 10. Fenomena ini terjadi apabila kekakuan kantong pasir lebih kuat dari pada gaya jepit antar kantong.

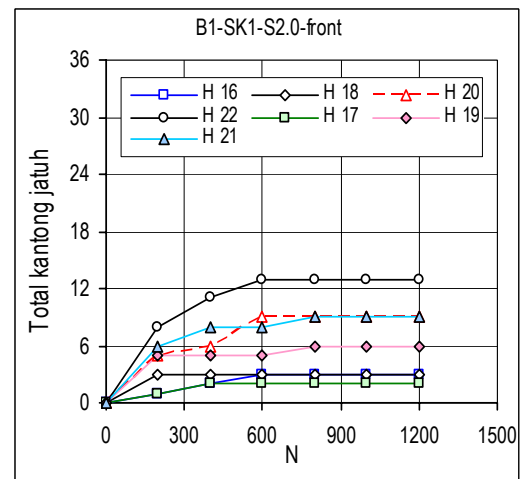
Sesaat setelah gelombang pecah, kantong pasir bergerak ke atas dan ke bawah sesuai pergerakan *up-rush* gelombang dan gaya berat kantong. Proses tercabutnya kantong pasir dari susunannya dipengaruhi oleh tinggi gelombang. Apabila energi gelombang relatif besar, kantong pasir tercabut dan jatuh ke lapisan kantong di bawahnya. Namun apabila gaya gelombang relatif kecil, kantong pasir tercabut dari susunannya dengan posisi kantong berdiri, seperti tampak pada Gambar 11.

Mekanisme pergerakan kantong pasir di daerah kemiringan juga dipengaruhi oleh kepadatan kantong. Kepadatan kantong B1 relatif lebih padat (88%) dibandingkan kepadatan kantong B2 (73%), sehingga kantong B1 tidak mempunyai ruang gerak pasir pengisi di dalam kantong. Sedangkan kantong B2, kondisi kan-

tong kurang padat, terjadi perubahan bentuk akibat pergerakan pasir pengisi, seperti tampak pada Gambar 11.

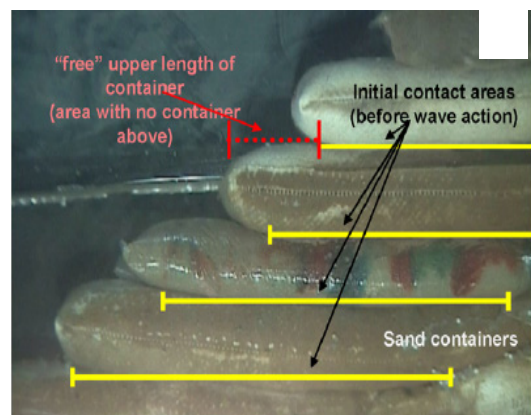


(a)

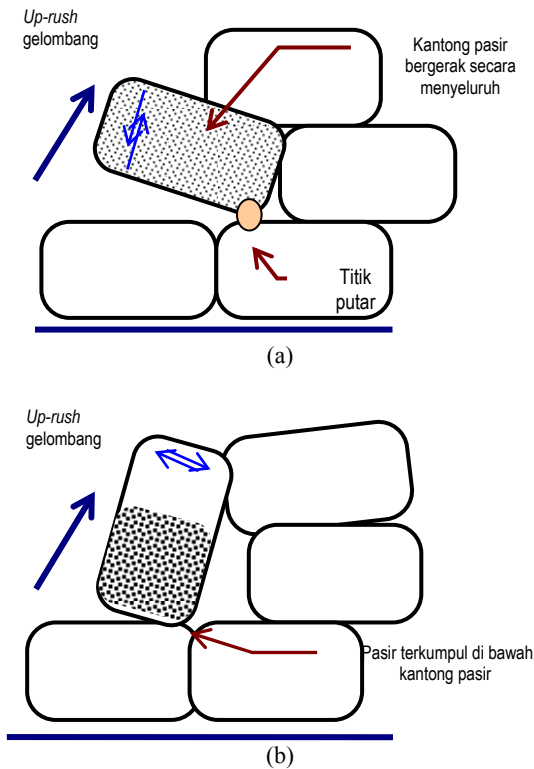


(b)

Gambar 8. Pengaruh Kemiringan Susunan terhadap Jumlah Kantong Pasir yang Jatuh pada Zona Kemiringan Struktur



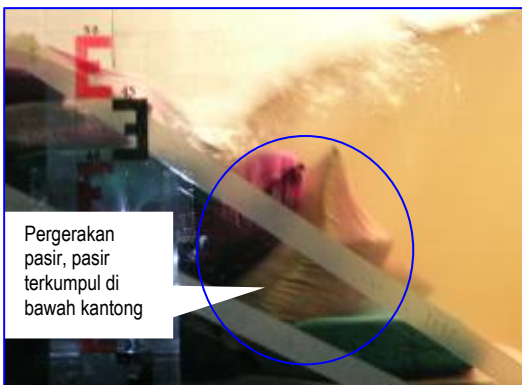
Gambar 9. Skema Zona Kontak antar Kantong Pasir (Recio dan Oumeraci, 2008)



Gambar 10. Skema Pergerakan Kantong Pasir Akibat Gaya Gelombang Pada Zona Kemiringan Struktur



(a)



(b)

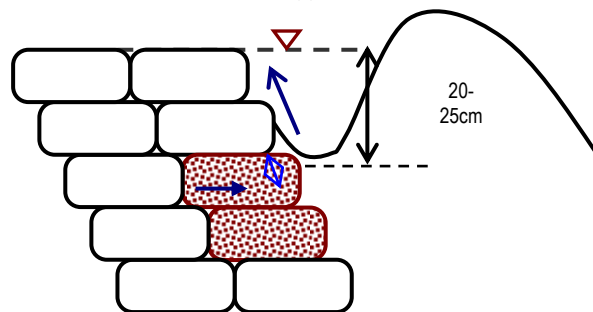
Gambar 11. Perilaku Kantong Pasir pada saat Menerima Gaya Gelombang Pada Zona Kemiringan Struktur

Perbandingan dimensi panjang dan ketebalan kantong juga ikut berperan terhadap elastisitas kantong. Kantong B1 memiliki perbandingan panjang terhadap ketebalan kantong, l/t sebesar 2,18, kantong B2 memiliki l/t sebesar 3,81. Recio (2007) melakukan studi stabilitas kantong pasir dengan tingkat kepadatan sebesar 80% dan nilai l/t sebesar 5,00. Didasarkan pada data tersebut dapat disimpulkan bahwa kepadatan dan perbandingan panjang terhadap tebal kantong berpengaruh terhadap elastisitas kantong pasir. Sedangkan elastisitas kantong pasir berpengaruh terhadap perilaku deformasi kantong pasir sebagai respon terhadap gaya gelombang.

Sesuai pengamatan pada saat pengujian menunjukkan bahwa pergerakan kantong dimulai pada lapisan ke 3-4 untuk bentuk B1 dan lapisan 5-6 untuk bentuk B2 atau sekitar 20-25cm di bawah paras muka air tenang (SWL). Pergerakan kantong terjadi di bawah muka air sesaat gelombang pecah. Kecepatan aliran gelombang meningkat pada sisi atas kantong pada saat gelombang pecah, mengakibatkan tekanan menjadi berkurang sehingga kantong bergerak ke atas, seperti terlihat pada Gambar 12.



(a)



(b)

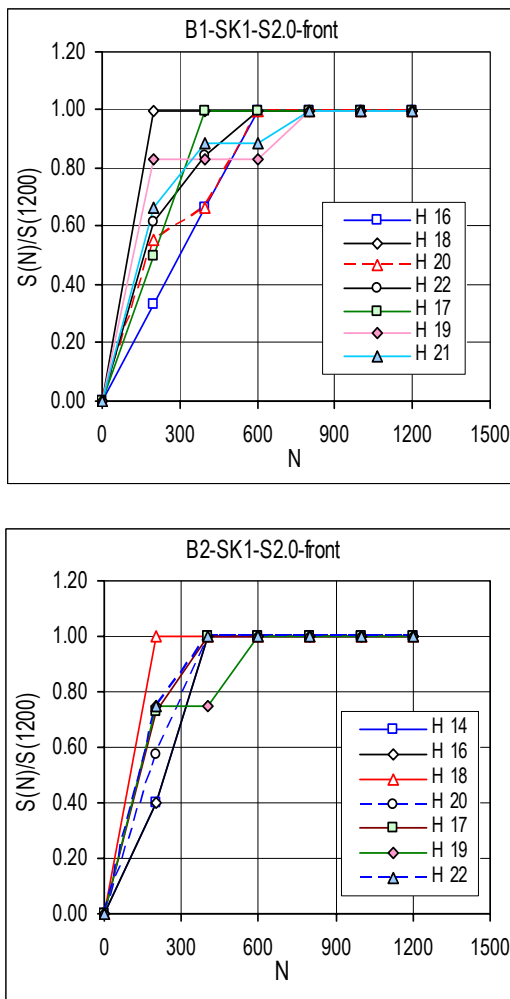
Gambar 12. Pergerakan Kantong Pasir Dimulai Pada Lapisan Kantong Di Bawah Gelombang Pecah

Jumlah Gelombang

Selain tinggi gelombang, jumlah gelombang juga menentukan tingkat kerusakan struktur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa susunan mencapai titik kritis pada jumlah gelombang sekitar 600 gelombang atau 15menit waktu serangan gelombang. Setelah jumlah gelombang pengujian mencapai 600 gelombang, tingkat kerusakan struktur cenderung tidak berubah. Fenomena ini sesuai dengan Matsumi, dkk., (2004), seperti ditampilkan pada Gambar 13. Pada penelitian ini jumlah gelombang pengujian sebanyak 1200 gelombang.

Menurut pengamatan menunjukkan setelah 5 menit ketiga dan seterusnya, susunan kantong makin kuat terhadap terjangan gaya gelombang. Susunan kantong melakukan "reposisi" atau

konsolidasi sehingga susunan lebih stabil terhadap terjangan gelombang berikutnya. Kondisi ini sesuai dengan sifat kantong pasir yang mempunyai perilaku elastis, dimana bentuk kantong serta pasir yang ada di dalamnya mampu menyesuaikan terhadap serangan gelombang berikutnya. Fenomena ini sesuai dengan hasil studi Recio (2007).



Gambar 13. Pengaruh Jumlah Gelombang terhadap Tingkat Kerusakan Susunan Kantong Pasir.

KESIMPULAN

Sesuai hasil pengujian dan pembahasan respon susunan kantong pasir terhadap serangan gaya gelombang dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian stabilitas menunjukkan bahwa perilaku stabilitas kantong pasir sangat kompleks. Stabilitas susunan kantong pasir dipengaruhi oleh panjang jepitan kantong, dimensi kantong, susunan dan bentuk kantong. Sedangkan deformasi kantong pasir dipengaruhi oleh kekakuan kantong.
2. Kekakuan kantong dipengaruhi oleh perbandingan panjang dan tebal kantong, l/t serta kepadatan kantong pasir. Pada studi Recio (2007) digunakan kantong pasir dengan nilai l/t sebesar 4,18 dan kepadatan mencapai 80,00% namun kantong pasir bisa terdeformasi akibat gelombang. Sedangkan bentuk bantal (B2) mempunyai nilai l/t sebesar 3,81 dan kepadatan 73,00%, dan bentuk guling (B1) mempunyai nilai l/t sebesar 2,18 dan kepadatan 88,00%, cenderung lebih kaku. Hal ini ditunjukkan pada saat diberi gaya gelombang, kantong B1 dan

B2 bergerak secara kaku. Kekakuan kantong lebih besar dibandingkan gaya jepit antar kantong. Kekakuan kantong dipengaruhi oleh ukuran kantong dan kepadatan kantong pasir. Kondisi ini menyebabkan perilaku deformasi kantong pasir tidak sesuai dengan Recio dan Oumerachi (2008).

3. Gaya hidrodinamis gelombang dipengaruhi oleh luas penampang kantong, kemiringan struktur dan kecepatan aliran. Peningkatan luas tampang kantong pasir, menyebabkan gaya gelombang juga makin meningkat. Hasil pengujian menunjukkan bentuk B2 lebih mudah berpindah dibandingkan kantong B1. Fenomena ini disebabkan luas tampang A_T dan A_S kantong B2 lebih besar dari B1.
4. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh luas bidang gesek antara aliran gelombang dengan kantong pasir. Peningkatan gaya gesek, kecepatan aliran gelombang menjadi berkurang, sehingga terjadi penurunan gaya hidrodinamis gelombang. Hasil pengujian menunjukkan jumlah kantong pasir terseret pada struktur dengan kemiringan curam ($\cot \alpha = 1,5$) lebih banyak dibandingkan pada struktur dengan kemiringan landai ($\cot \alpha = 2,0$).
5. Perubahan posisi kantong akibat gaya tubrukan (*impact forces*) gelombang terjadi dimulai pada lapisan 3-4 untuk bentuk B1 dan lapisan 5-6 untuk bentuk B2 atau sekitar 20-25cm di bawah paras muka air tenang (SWL).
6. Kantong pasir mempunyai sifat elastis, bentuk kantong dan pasir yang ada di dalamnya menyesuaikan terhadap serangan gelombang berikutnya. Fenomena ini sesuai hasil penelitian Recio (2007). Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah gelombang mencapai 600 gelombang tidak terjadi perubahan kerusakan secara signifikan. Keadaan ini sesuai hasil studi Matsumi, dkk. (2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Battjes, J. A. (1974). "Surf Similarity Parameter". *Proceedings 14th Int. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, Copenhagen, pp. 69-85.
- Black, K.P. (2001). "Artificial surfing reefs for control and amenity: theory and application". *Challenges for 21st Century in Coastal Sciences, Engineering and Environmental. Journal of Coastal Research Special Issues, 34,1-14 (ICS 2000 New Zealand)*.
- Black, K.P. dan Mead, S.T., (1999). "A Multipurpose Artificial Reef at Mount Maunganui". *Coastal Management Journal* Vol. 27 (4) October – December, p355-365.
- Burcharth, H.F. (1994). *The Design of Breakwaters*. Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers' Reference Book, eds. Abbot, M.B. dan Price, W. A., E & FN SPON London, pp. 381 – 424.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington.
- Fuhrbater, L.A. (1994). *Wave Loads On Sea Dikes and Sea-Walls*. Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers' Reference Book, eds. Abbot, M.B. dan Price, W. A., E & FN SPON London, hal. 351 – 367.
- Hornsey W.P., Jackson L.A., Restall, S.J., dan Corbett, B.B. (2003). "Large Sand Filled Geotextile Containers As A Construction Over Poor Quality Marine Clay". *Australasian Coastal & Ocean Engineering Conference 2003-Auckland New Zealand*.
- Jensen, O. J. (1984). *A Monograph on Rubble Mound Breakwaters*. Danish Hydraulic Institute. Denmark.
- Matsumi, Y., Ohno K.I. dan Kimura A. (2004). "Minimum Number Of Waves In Irregular Wave Trains For Laboratory Stability Test Of Armour Units". *Proceedings of the 29th Inter-*

national Conference National Civil Engineering Laboratory, eds. Smith J. M., Lisbon, Portugal, hal 3579-3591.

Newberry S.D., Latham J.P., Stewart T.P., dan Simm J.D. (2002). "The Effect Of Rock Shape and Construction Methods On Rock Armour Layers". *Proceeding of the 28th International Conference Coastal Engineering 2002*, eds. Smith Jane M., Cardiff Wales, pp 1436-1448.

Recio, Juan Antonio. (2007). "Hydraulic Stability Of Geotextile Sand Containers For Coastal Structures-Effect Of Deformation And Stability Formulae". Dr.Ing. Disertasi, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universitat Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.

Recio, J.A., dan Oumeraci, H. (2008). "Processes Affecting the Hydraulic Stability of Coastal Revetments Made of Geotextile Sand Containers". *Geotextile and Geomembranes* (Article in Press).

Restall, S.J., Jackson, L.A., Heerten G., dan Hornsey, W.P. (2002). *Case studies showing the growth and development of geotextile sand containers: an Australian perspective*. Geotextile and Geomembrane 20, pp321 – 342, Elsevier.

Sharp, J.J., and Khader, M. H. A. (1984). "Scale Effects in Harbour Models Involving Permeable Rubble-Mound Structures". *Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures*, ed. H.Kobus IAHR, pp. 7.12-1-7.12-5.

Shin, E.C., dan Oh, Y.I. (2007). "Coastal Erosion Prevention by Geotextile Tube Technology". *Geotextile and Geomembranes*, 25, p 264-277.

Shirlal, K.G., dan Manu, S. R. (2007). "Ocean Wave Transmission By Submerged Reef-A Physical Model Study". *Ocean Engineering* 34 (2007), hal 2093-2099.

Silvester R. dan Hsu J.R.C. (1992). *Coastal Stabilization, Innovative Concepts*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Van der Meer, J.W. (1988). *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*. Delft Hydraulic Publication No. 396, November 1988.

Yuwono, Nur (1992). *Dasar Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT UGM, Yogyakarta. p. V-6.

Yuwono, Nur, Nizam dan Mundra, I.W. (1997). *Studi Model Fisis Stabilitas Dan Unjuk Kerja Reef Buatan Pada Perlindungan Pantai*. Kumpulan Naskah Ilmiah Teknik Pantai Dan Pelabuhan, PAU Ilmu Teknik UGM Jogjakarta

Zhu Lijun., Wang J., Cheng N.S., dkk. (2004). "Settling Distance and Incipient Motion of Sandbags in Open Channel Flows". *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol 130 No. 2, hal. 98-103.

Hs	=	tinggi gelombang signifikan
N	=	Jumlah gelombang
N _L	=	skala panjang
N _{ya}	=	skala densiti
N _{wa}	=	skala berat
S	=	tingkat kerusakan
Sr	=	densiti relatif = $\frac{\rho_t}{\rho_w}$
SK1	=	susunan kantong sumbu panjang searah gelombang
SK2	=	susunan kantong sumbu panjang tegak lurus arah gelombang
SK3	=	superposisi susunan SK1 dan SK2
S(N)	=	tingkat kerusakan pada N gelombang
S(1200)	=	tingkat kerusakan pada 1200 gelombang
S1.5	=	kemiringan struktur kantong pasir, cot α = 1.5
S2.0	=	kemiringan struktur kantong pasir, cot α = 2.0
T	=	periode
b	=	lebar kantong pasir
cot α	=	cotangen α
g	=	percepatan gravitasi
l	=	panjang kantong pasir
t	=	tebal kantong pasir
α	=	kemiringan lereng model
Δ	=	densiti relatif = $\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$
μ	=	koefisien gesek
ξ ₀	=	surf similarity = $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0/L_0}}$

Notasi:

Ar	=	Axial Ratio = $\frac{\text{longest axial length (l)}}{\text{shortest axial breadth (b)}}$
A _T	=	luas penampang kantong searah gelombang
A _S	=	luas penampang kantong tegak lurus arah gelombang
BLc	=	Koefisien Blockiness
	=	$\frac{\text{Volume batuan}}{X.Y.Z} \times 100\%$
B1	=	kantong pasir bentuk guling
B2	=	kantong pasir bentuk bantal
C _D	=	koefisien empiris gaya seret (<i>drag forces</i>)
C _L	=	koefisien empiris gaya angkat (<i>lift forces</i>)
C _w	=	konstanta stabilitas kantong pasir
D	=	panjang karakteristik kantong pasir
F _L	=	gaya angkat (<i>lifting force</i>)
F _D	=	gaya seret (<i>drag force</i>)
H	=	tinggi gelombang
H15, H20dst	