

Perilaku Deformasi Pemecah Gelombang Kantong Pasir Tipe Tenggelam

Ferry Fatnanta

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya, Pekanbaru 28294
e-mail: fatnanto5@yahoo.com, fatnanto1964@gmail.com

Widi Agoes Pratikto

Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya,
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111, e-mail:wapratik@rad.net.id

Haryo Dwito Armono

Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya,
Kampus ITS Sukolilo Surabaya Surabaya 60111, e-mail: armono@oe.its.ac.id

Wahyudi Citrosiswoyo

Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya,
Kampus ITS Sukolilo Surabaya Surabaya 60111, e-mail:wahyudictr@oe.its.ac.id

Abstract

Breakwater is one of coastal structures to overcome problems of abrasion. Due to difficulties in obtaining rock material at the coast area, so the using of sandbags as a breakwater providing advantages in utilizing local materials. Therefore, the problem of the rock material supply can be overcome. The 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 the stability of submerged sandbag breakwater is carried out this experimental research conducted in 2-D physical model and take place on the flume tank of Laboratory Ocean Engineering Department, ITS Surabaya for stability test, it shows that the deformation of the sandbags is influenced by the elasticity of sandbags which depends on its dimension and density. The sandbags size influences the grip zone. As a result, the deformation of sandbag depends on the wave forces, 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

Keyword: Sandbag breakwater, deformation, dimension and density of sandbags.

Abstrak

Pemecah gelombang merupakan salah satu struktur pantai yang digunakan untuk mengatasi permasalahan abrasi. Namun sering sulit ditemukan material batuan di lokasi tersebut, maka penggunaan kantong pasir sebagai pemecah gelombang menguntungkan karena menggunakan material lokal. Sehingga permasalahan suplai material batuan dapat terselesaikan. Pengaman pantai yang berwawasan lingkungan sangat diperlukan untuk mengamankan pantai tanpa merusak pemandangan pantai. Oleh sebab itu penelitian ini melakukan studi mengenai perilaku stabilitas pemecah gelombang kantong pasir tipe tenggelam. Penelitian ini berbentuk pengujian model fisik 2-D skala lab, yang dilakukan di Flume Tank Laboratorium Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya. Pada uji stabilitas menunjukkan bahwa respon kantong pasir dipengaruhi oleh elastisitas kantong pasir, sedangkan elastisitas kantong pasir tergantung pada dimensi kantong dan kepadatan kantong. Ukuran kantong berpengaruh terhadap zona jepitan, dimana zona jepitan ini dipengaruhi oleh perbandingan panjang dan tebal kantong. Perilaku deformasi kantong pasir tergantung pada elastisitas kantong. Sesuai hasil pengujian, deformasi kantong pasir tergantung pada gaya yang bekerja pada kantong, jadi deformasi kantong dipengaruhi oleh kemiringan dan luas penampang kantong, sebagai akibat perubahan bentuk kantong dan jenis susunan. Jenis susunan SK1 mempunyai stabilitas relatif tinggi; struktur dengan kemiringan landai lebih stabil, dan bentuk kantong B1 lebih stabil dibandingkan bentuk B2 untuk susunan yang sama.

Kata-kata Kunci: Pemecah gelombang kantong pasir, deformasi, ukuran dan kepadatan kantong pasir .

1. 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 salah 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.

2. 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**.

Penentuan berat model kantong pasir mengacu hasil penelitian penggunaan kantong pasir untuk struktur pengaman 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:

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

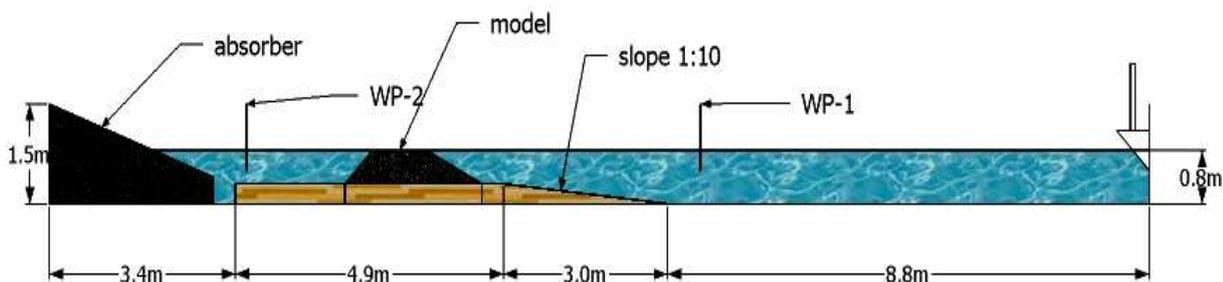
Pada kondisi pasir kering, berat model dapat dihitung sebagai berikut :

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

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%.

2.1. 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



Gambar 1. Detail flume tank dan penempatan *wave probe*

0cm. Lebar puncak (*crest width*) dibuat tetap 60cm. Kondisi geometri struktur pemecah gelombang kantong pasir dapat dilihat pada **Tabel 1**.

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

2.2. 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, 17,70 cm dan lebar 8,63 cm, tebal 8,13 cm untuk kantong jenis *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, *BLc* (Newberry, dkk., 2002) diadopsi untuk parameterisasi bentuk kantong pasir. Hasil parameterisasi bentuk kantong *B1* dan *B2* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

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 perlapis *SK1* dan *SK2*. Parameterisasi susunan kantong mengadopsi parameter axial ratio, *Ar* (Newberry, dkk., 2002). Hasil parameterisasi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 1. Kondisi struktur pada pengujian

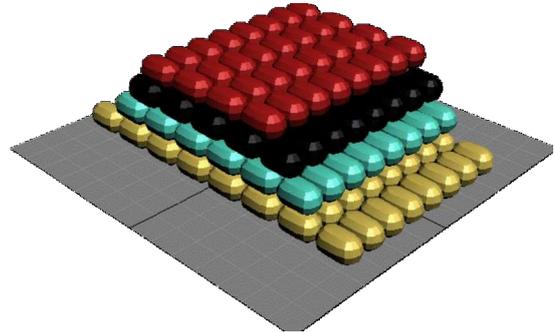
Kondisi geometri	Dimensi:	
	Kondisi 1	Kondisi 2
Kemiringan struktur	1 : 1.5	1 : 2
Lebar puncak, <i>B_w</i> , cm	60	60
Freeboard, <i>F_b</i> , cm	0	0



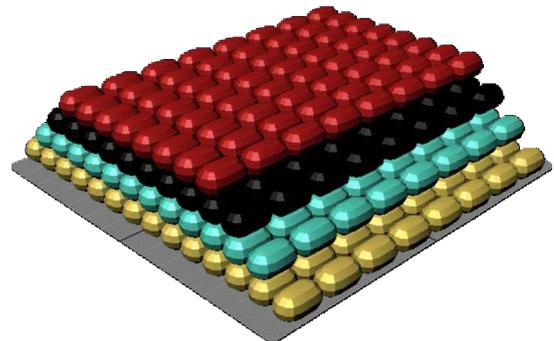
Gambar 2. Bentuk kantong pasir

Tabel 2. Karakterisasi bentuk kantong pasir

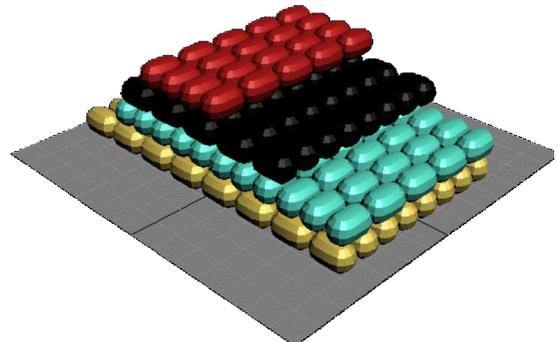
Keterangan	Bentuk <i>B1</i>	Bentuk <i>B2</i>
<i>BLc</i>	0,975	0,880



(a) *SK1*



(b) *SK2*



(c) *SK3*

Gambar 3. Variasi susunan kantong

Tabel 3. Parameterisasi susunan kantong pasir

Parameter	Nilai Axial Ratio, <i>Ar</i>					
	<i>SK1</i>		<i>SK2</i>		<i>SK3</i>	
Susunan Kantong	S1.5	S2.0	S1.5	S2.0	S1.5	S2.0
Kantong <i>B1</i> :	2,470	2,470	1,203	1,203	1,618	1,618
Kantong <i>B2</i> :	1,610	1,610	1,139	1,139	1,450	1,450

2.5. Skala model

Untuk mencegah pengaruh skala terhadap pengujian model skala kecil, Van der Meer (1988) menyarankan batas minimum nilai bilangan Reynold dalam rentang antara $1 - 4 \times 10^4$. Sedangkan Shirlal dan Manu (2007) menyatakan bahwa bilangan Reynold diatas $3,5 \times 10^4$, pengaruh skala model menjadi tidak berarti. Pada penelitian ini nilai bilangan Reynold, Re minimum sebesar $1,06 \times 10^5$.

3. Analisa Respon Susunan Kantong Pasir Terhadap Gaya Gelombang

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.

3.1. 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 (H) terhadap kedalaman (d), 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.

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. Sesuai Battjes (1974), tipe gelombang pecah pada pengujian ini dapat diklasifikasikan sebagai gelombang pecah tipe plunging cenderung ke arah surging.

3.2 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 tangential (*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.

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



Gambar 4. Fenomena *up-rush* sebagai penyebab terlepasnya kantong pasir dari susunannya



Gambar 5. Pergerakan kantong pasir pada zona puncak susunan

3.3 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.

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

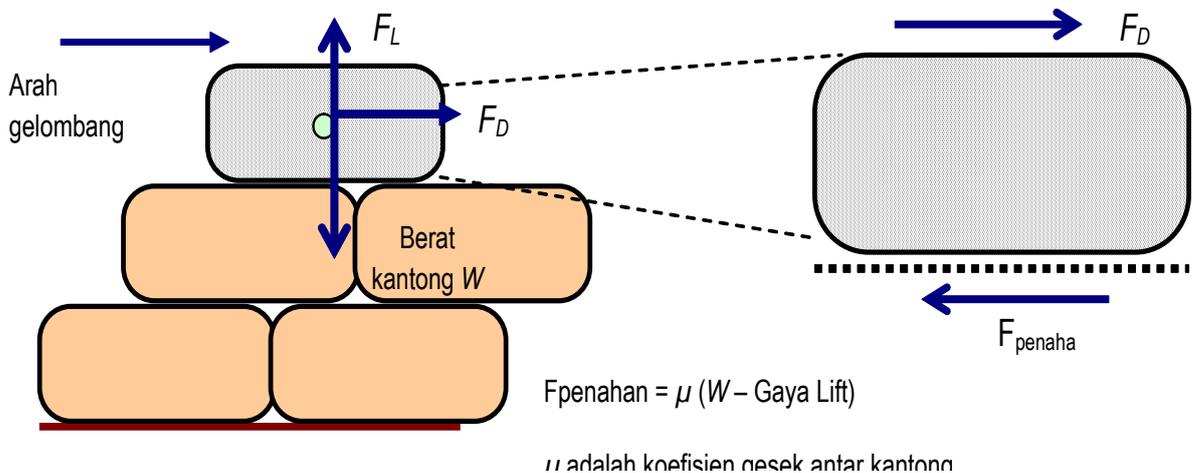
Sesuai skema gaya yang telah ditampilkan pada Gambar 6, resultan gaya pada posisi seimbang dapat dituliskan sebagai:

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

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

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.

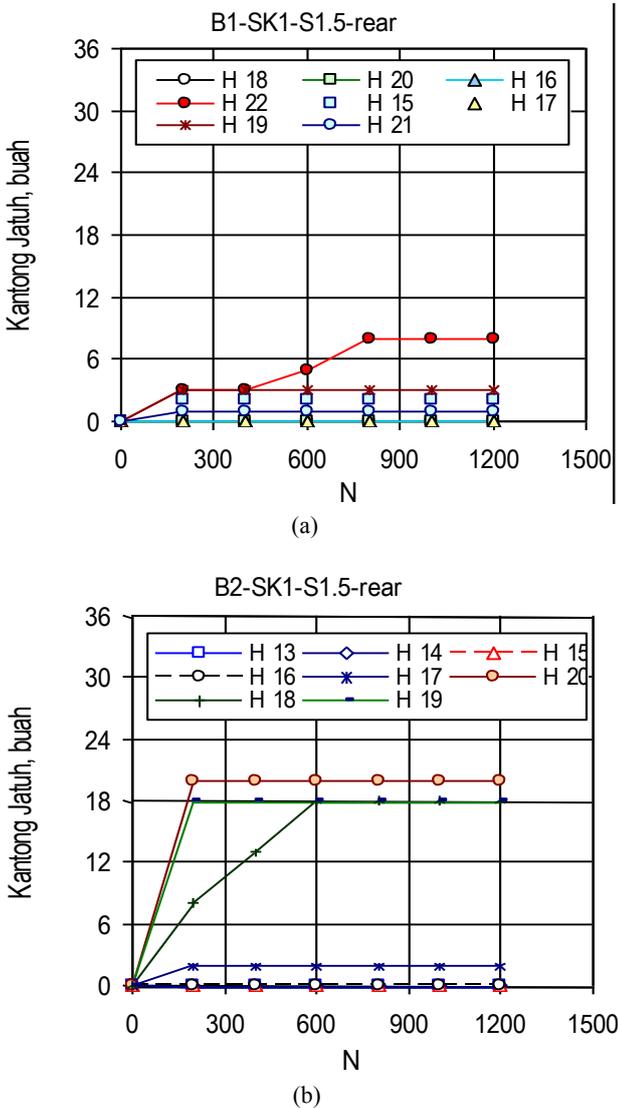
Pada susunan kantong yang sama, misal *SKI*, luas A_T kantong *B2*, adalah 281cm^2 , lebih besar dibandingkan luas A_T kantong *B1* sebesar 152cm^2 . Hal ini



Gambar 6. Skema gaya kantong pasir pada zona puncak struktur

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, 70 cm^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.

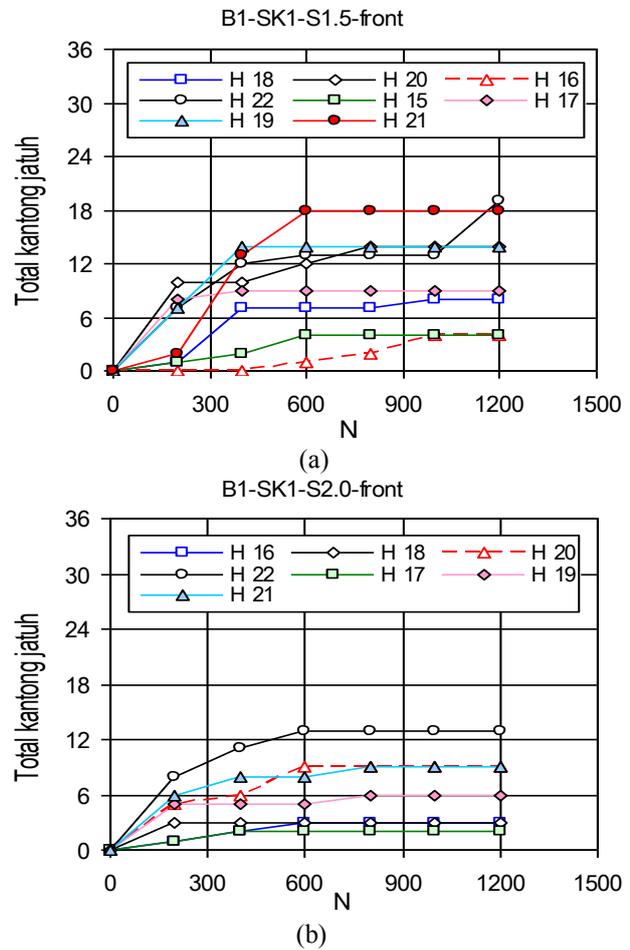


Gambar 7. Pengaruh bentuk kantong terhadap jumlah kantong pasir yang jatuh pada zona puncak struktur

3.4 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.

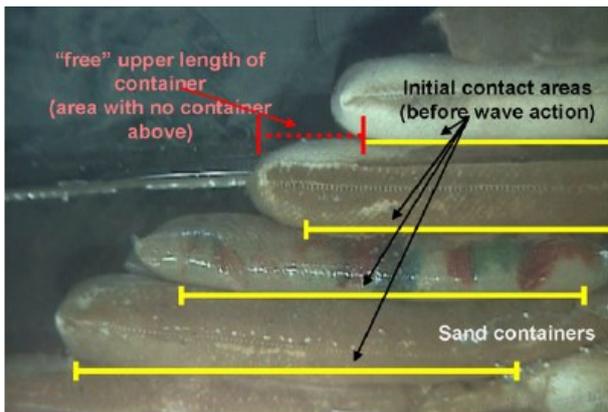
Hasil pengujian stabilitas menunjukkan bahwa jumlah kantong yang terseret pada puncak susunan dipengaruhi oleh kemiringan struktur. Pada susunan dan bentuk kantong sama, jumlah kantong pasir terseret pada struktur dengan kemiringan curam ($\cot \alpha = 1,5$) lebih banyak dibandingkan pada struktur dengan 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.



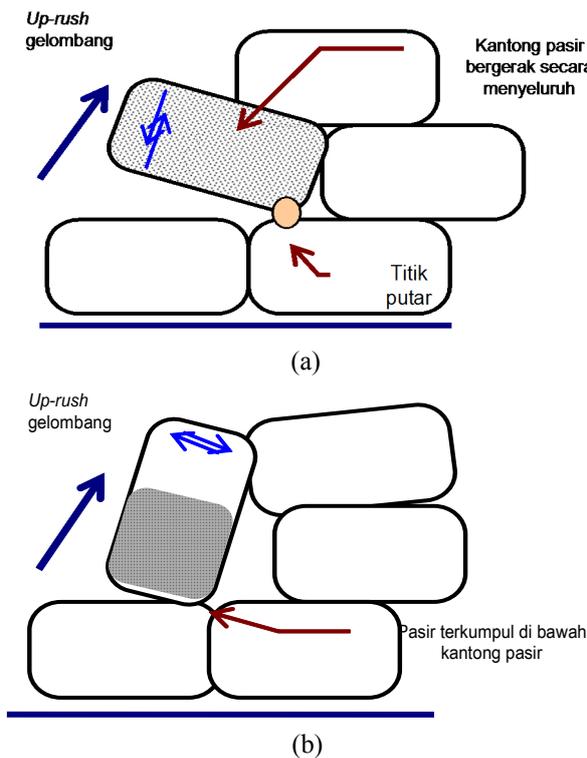
Gambar 8. Pengaruh kemiringan susunan terhadap jumlah kantong pasir yang jatuh pada zona kemiringan struktur

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.



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

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



(a)



(b)

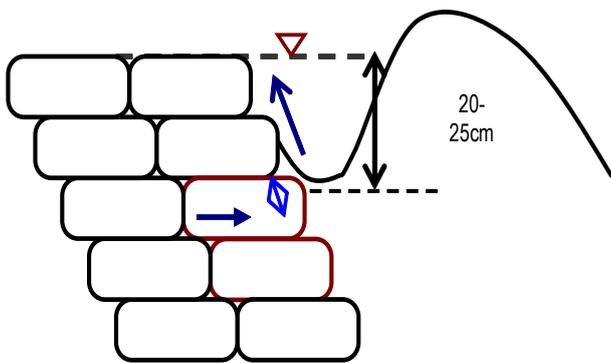
Gambar 11. Perilaku kantong pasir pada saat menerima gaya gelombang pada zona kemiringan struktur

Perbandingan dimensi panjang dan ketebalan kantong juga ikut berperan terhadap elastisitas kantong. Kantong *B1* memiliki perbandingan panjang (l) terhadap ketebalan kantong (t), 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)



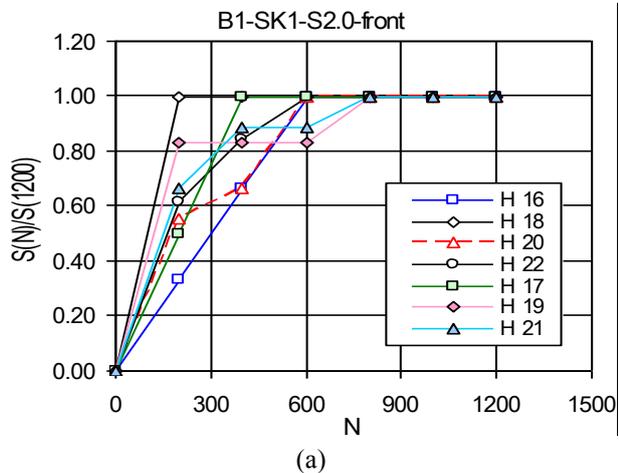
(b)

Gambar 12. Pergerakan kantong pasir dimulai pada lapisan kantong di bawah gelombang pecah

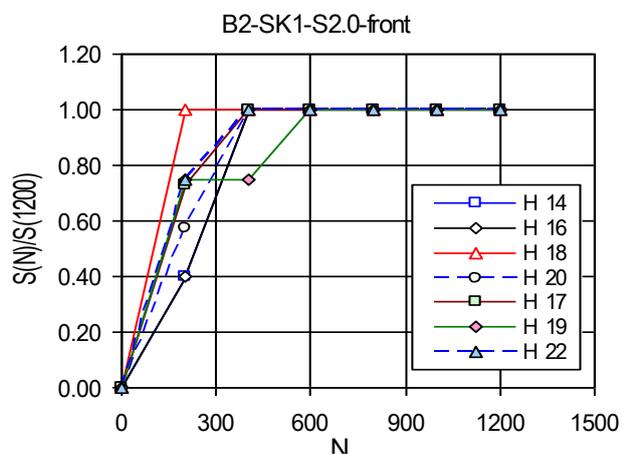
3.5 Jumlah gelombang

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).



(a)



(b)

Gambar 13. Pengaruh jumlah gelombang terhadap tingkat kerusakan susunan kantong pasir

4. 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 (l) dan tebal kantong (t), 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 Jurnal* Vol. 27 (4) October – December, p355-365.
- Burchart, H.F., 1994, *The Design of Breakwaters*, London: dalam Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers' Reference Book, eds. Abbot, M.B. dan Price, W.A., E & FN SPON, pp. 381-424.
- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, Washington: Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office.
- Fuhrboter, L.A., 1994, Wave Loads on Sea Dikes and Sea-Walls, London, dalam *Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers' Reference Book*, eds. Abbot, M.B. dan Price, W. A., E & FN SPON hal. 351 – 367.
- Heerten G. dan Jackson, L.A., 2000, New Development With Mega Sand Containers of Non Woven Needle-Punched Geotextiles For The Construction Of Coastal Structure, Sydney Australia: *International Conference on Coastal Engineering*.
- 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, Auckland New Zealand: *Australasian Coastal & Ocean Engineering Conference*.
- Jensen, O. J., 1984, *A Monograph on Rubble Mound Breakwaters*, Denmark: Danish Hydraulic Institute.

- Matsumi, Y., Ohno K.I. dan Kimura A., 2004, Minimum Number Of Waves In Irregular Wave Trains For Laboratory Stability Test Of Armour Units, Lisbon, Portugal: *Proceedings of the 29th International Conference National Civil Engineering Laboratory*, eds. Smith J. M., 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, Cardiff Wales: *Proceeding of the 28th International Conference Coastal Engineering*, eds. Smith Jane M., pp 1436-1448.
- Recio, J.A., 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 Harbor Models Involving Permeable Rubble-Mound Structures*, Symposium on Scale Effects in Modeling 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, hal 2093-2099.
- Silvester R. dan Hsu J.R.C., 1992, *Coastal Stabilization, Innovative Concepts*, New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Van der Meer, J.W., 1988, *Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack*, Delft Hydraulic Publication No. 396, November.
- Yuwono, N., 1992, *Dasar Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT UGM, Yogyakarta. p. V-6
- Yuwono, N., 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, Yogyakarta: PAU Ilmu Teknik UGM
- Zhu, L., Wang J., Cheng N.S., 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.

Notasi:

- A_r = 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
- BL_c = Koefisien Blockiness
- = $\frac{\text{Volume batuan}}{X.Y.Z} \times 100\%$
- B_1 = kantong pasir bentuk guling
- B_2 = kantong pasir bentuk bantal
- C_D = koefisien empiris gaya seret (*drag forces*)
- C_L = koefisien empiris gaya angkat (*lift forces*)
- C_w = konstanta stabilitas kantong pasir
- D = panjang karakteristik kantong pasir
- F_L = gaya angkat (*lifting force*)
- F_D = gaya seret (*drag force*)
- H = tinggi gelombang
- $H_{15}, H_{20} \dots \dots \text{dst}$
- = tinggi gelombang 15cm, 20cm..dst
- H_s = tinggi gelombang signifikan
- N = Jumlah gelombang
- N_L = skala panjang
- $N_{\gamma a}$ = skala densiti
- $N_{W a}$ = 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, $\cot \alpha = 1.5$		
$S2.0$	=	kemiringan struktur kantong pasir, $\cot \alpha = 2.0$		
T	=	periode		
b	=	lebar kantong pasir		
$\cot \alpha$	=	cotangen α		
g	=	percepatan gravitasi		
l	=	panjang kantong pasir		
t	=	tebal kantong pasir		
u	=	kecepatan aliran		
α	=	kemiringan lereng model		
Δ	=	densiti relatif	=	$\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$
μ	=	koefisien gesek		
ξ_0	=	surf similarity	=	$\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0/L_0}}$