

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN LEMPUNG PADA TANAH PASIR TERHADAP SUDUT TENANG

Anto Budi Listyawan¹, Qunik Wiqoyah², Shely Eka Setyorini³

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: Anto.Budi@ums.ac.id¹

Abstrak

Butiran pasir dapat ditemukan di daerah pesisir pantai, sungai, dan lereng gunung berapi. Salah satu material yang berada di lereng yaitu campuran pasir-lempung. Untuk mengantisipasi terjadinya longsor di lereng dibutuhkan dinding penahan, untuk mendesain strukturnya membutuhkan data sudut tenang. Berdasarkan hasil uji pendahuluan tersebut maka perlu adanya penelitian ini dengan mengetahui nilai sudut tenang campuran pasir-lempung, menggunakan dua jenis pasir yaitu pasir merapi dan pasir pantai. Penelitian yang dilakukan dengan mencampur pasir tersebut dengan lempung dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, variasi tinggi jatuh penuangan 15 cm, 25 cm, 35 cm, dan perbedaan kekasaran dasar permukaan. Sudah dilakukan pengujian untuk mengetahui jenis pasir menurut klasifikasi USCS dengan hasil untuk kandungan lempung 0%, 5%, 10%, 15% termasuk pasir bergradasi buruk (SP) sedangkan untuk kandungan lempung 20%, 25%, 30% termasuk pasir berlempung (SC). Berdasarkan pengujian modulus halus butir menunjukkan pasir pantai memiliki butiran lebih halus daripada pasir merapi. Hasil uji sudut tenang menunjukkan bahwa semakin besar kandungan lempung didapatkan nilai sudut tenang yang semakin besar, dikarenakan ketika kadar lempung semakin banyak menimbulkan gesekan yang tidak terlalu besar karena sifat lempung sudah mulai dominan terhadap benda uji sehingga terbentuk timbunan yang semakin curam. Berbanding terbalik dengan tinggi jatuh penuangan yang semakin besar membuat nilai sudut tenang semakin kecil dikarenakan dengan tingginya penuangan benda uji maka ketika benda uji jatuh menyentuh dasar permukaan menimbulkan kejutan yang besar yang membuat diameter benda uji melebar dan menghasilkan timbunan yang lebih landai. Hasil terakhir dengan semakin kasarnya dasar permukaan membuat nilai sudut tenang semakin besar dikarenakan semakin kasar permukaan yang digunakan maka koefisien gesek yang ditimbulkan akan semakin besar sehingga gesekan antara permukaan dengan material timbunan hanya berlangsung sebentar kemudian membentuk timbunan dengan diameter yang kecil dan tinggi timbunan yang curam.

Kata kunci: Lempung; Pasir Merapi; Pasir Pantai; Sudut Tenang

Pendahuluan

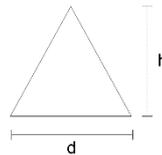
Pasir adalah material butiran yang umumnya berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter. Butiran pasir dapat ditemukan di daerah pesisir pantai, sungai, dan lereng gunung berapi. Beberapa jenis pasir yang mudah ditemukan antara lain pasir beton dan pasir silika. Contoh dari pasir beton yaitu pasir merapi dan contoh dari pasir silika yaitu pasir pantai. Salah satu parameter untuk menentukan kekuatan pasir dapat dilakukan dengan cara menghitung nilai sudut tenang pasir tersebut.

Sudut tenang adalah sudut antara permukaan gundukan terhadap permukaan horizontal. Menurut Sahay dan Singh (1994), nilai sudut tenang dari suatu bahan dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, kadar air, dan orientasi bahan. Sifat teknik dari suatu bahan berbentuk granular yang dituang dalam suatu permukaan horizontal maka akan terbentuk suatu gundukan berbentuk kerucut. Sudut antara permukaan gundukan terhadap permukaan horizontal inilah yang disebut dengan *angle of repose* (Khatir, 2006). Car dalam Peleg (1983) menyatakan bahwa sudut tenang sebesar $\leq 35^\circ$ menandakan bahwa bahan tersebut mudah mengalir, sudut tenang 35° - 45° menandakan bahwa bahan tersebut sedikit bersifat kohesif, sudut tenang sebesar 45° - 55° menandakan bahwa bahan bersifat kohesif (kehilangan sifat mudah mengalir), dan sudut tenang $\geq 55^\circ$ menandakan bahan bersifat sangat kohesif dan sulit mengalir.

Contoh pengaplikasian dari sudut tenang untuk meramalkan apakah suatu timbunan (lereng) akan terjadi longsor. Salah satu material yang berada di lereng yaitu campuran pasir-lempung. Untuk mengantisipasi terjadinya longsor di lereng dibutuhkan dinding penahan, untuk pertimbangan menggunakan dinding penahan membutuhkan data sudut tenang.

Evesque dan Rajchenbach (Powder Technology, 2018) menyelidiki faktor yang memengaruhi stabilitas lereng dari timbunan material granular yang mengalami getaran vertikal frekuensi rendah dan amplitudo yang cukup besar. Mereka menyimpulkan bahwa stabilitas lereng diatur oleh sudut tenang, amplitudo getaran, transportasi konvektif dalam material tersebut, dan percepatan getaran. Besar kecilnya sudut tenang dapat dipengaruhi oleh besarnya gesekan yang terjadi. Gesekan tersebut dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, massa bahan, dan kadar air bahan. Selain pengaruh yang terdapat pada bahan itu sendiri, sudut tenang juga dipengaruhi oleh sifat alas bahan tersebut. Material untuk pembuatan alas dapat mempengaruhi koefisien geseknya terhadap bahan.

Ghazavi, dkk (2008) memperkenalkan metode kerucut yang dimodifikasi untuk mengukur sudut tenang pasir. Sudut tenang dapat diukur dengan mengamati tinggi kerucut h (cm) di atas alas dan jari-jari timbunan (cm) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sudut tenang tanah

Besar sudut tenang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\tan \alpha = \frac{h}{d} \quad (1)$$

dengan: α = sudut tenang
 h = tinggi kerucut timbunan campuran pasir-lempung
 d = diameter timbunan campuran pasir-lempung

Berdasarkan data dan kondisi yang telah disebutkan diatas maka, perlu diadakannya penelitian untuk menganalisis nilai sudut tenang campuran pasir-lempung. Penelitian ini akan mengaji mengenai jenis pasir menurut klasifikasi USCS, nilai sudut tenang terhadap variasi penambahan lempung, variasi tinggi jatuh penuangan, dan kekasaran dasar permukaan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dimulai dari pengujian batas-batas *attrerberg*, gradasi butiran (*hydrometer*, analisis saringan, modulus halus butir), pengujian tinggi jatuh penuangan, dan pengujian kekasaran dasar permukaan. Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi air, pasir pantai, pasir merapi, lempung (data sekunder Nadia, 2018).

Alat yang digunakan untuk pengujian meliputi satu set alat uji batas-batas *atterberg*, *hydrometer*, analisis saringan, dan modulus halus butir, serta alat uji sudut tenang seperti terlihat pada Gambar 2. Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama merupakan tahap awal penelitian yang dimulai dengan studi literatur, menentukan lokasi pengambilan pasir, pengeringan, dan penyaringan lolos no 4, menentukan lokasi pengambilan lempung, pengeringan, dan penyaringan lolos no 30. Tahap kedua menyiapkan campuran pasir merapi-lempung dan pasir pantai-lempung dengan variasi penambahan lempung 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, dengan berat total 1 kg dalam keadaan kering udara. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan uji sifat fisis pasir yaitu gradasi butiran meliputi *hydrometer*, analisis saringan, dan modulus halus butir. Selagi melakukan uji sifat fisis, dilakukan juga pengujian sudut tenang berupa tinggi jatuh penuangan (Gambar 3) dan kekasaran dasar permukaan. (Gambar 4) Tahap ketiga berdasarkan hasil pengujian dari beberapa tahapan diatas didapatkan hasil yang kemudian dilakukan analisis untuk membuat kesimpulan dan saran jika diperlukan pada penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 2. Alat Ukur Sudut Tenang



Gambar 3. Penguujian Tinggi Jatuh Penuangan



Gambar 4. Penguujian Kekasaran Dasar Permukaan

Hasil dan Pembahasan

Penguujian Gradasi Butiran

Penguujian gradasi pasir dan *hydrometer* dilakukan untuk menentukan gradasi butiran pasir pada pasir merapi murni dan pasir pantai murni dengan pasir yang sudah ditambahkan lempung, dengan hasil berupa jenis pasir yang sesuai dengan klasifikasi USCS. Uji gradasi pasir bertujuan untuk menentukan ukuran butiran pasir yang lebih dari 0,075 mm (No.200). Sedangkan uji *hydrometer* digunakan untuk menentukan jumlah butiran tanah yang kurang dari 0,075 mm. Penguujian ini didukung dengan data batas-batas *atterberg* yang sudah dilakukan penguujian. Hasil uji sifat fisis pasir untuk melihat klasifikasi pasir berdasarkan USCS sudah disajikan di Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil penguujian sifat fisis pasir pantai

Penambahan Lempung (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Lolos No.200 (%)	Cu	Cc	Klasifikasi USCS
0	-	-	-	0	1,29	0,97	SP
5	-	-	-	2	1,29	0,97	SP
10	-	-	-	3	1,29	0,92	SP
15	-	-	-	5	4,41	0,38	SP
20	17,91	10,64	7,26	16	-	-	SC
25	20,46	11,95	8,51	21	-	-	SC
30	22,80	13,46	9,34	25	-	-	SC

Tabel 2. Hasil penguujian sifat fisis pasir merapi

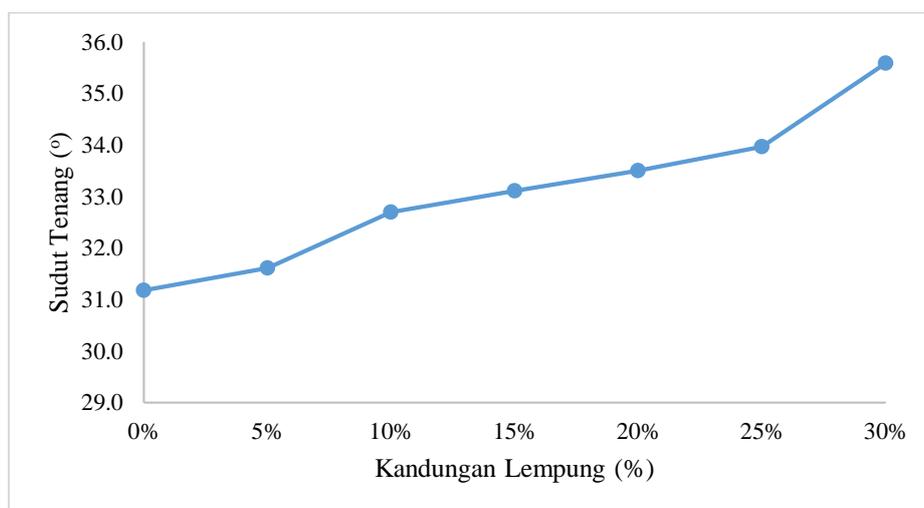
Penambahan Lempung (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Lolos No.200 (%)	Cu	Cc	Klasifikasi USCS
0	-	-	-	0	11,36	0,65	SP
5	-	-	-	1	11,90	0,69	SP
10	-	-	-	2	9,00	1,00	SP
15	-	-	-	4	7,06	0,82	SP
20	15,37	8,09	7,28	15	-	-	SC
25	17,20	8,96	8,24	19	-	-	SC
30	19,29	9,82	9,46	23	-	-	SC

Berdasarkan tabel 1 dan 2, didapatkan hasil untuk kandungan lempung 0%, 5%, 10%, 15% termasuk klasifikasi SP yaitu pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, dengan sedikit atau tanpa butiran halus sedangkan kandungan lempung 20%, 25%, 30% termasuk klasifikasi SC pasir berlempung, campuran pasir, dan lempung bergradasi buruk

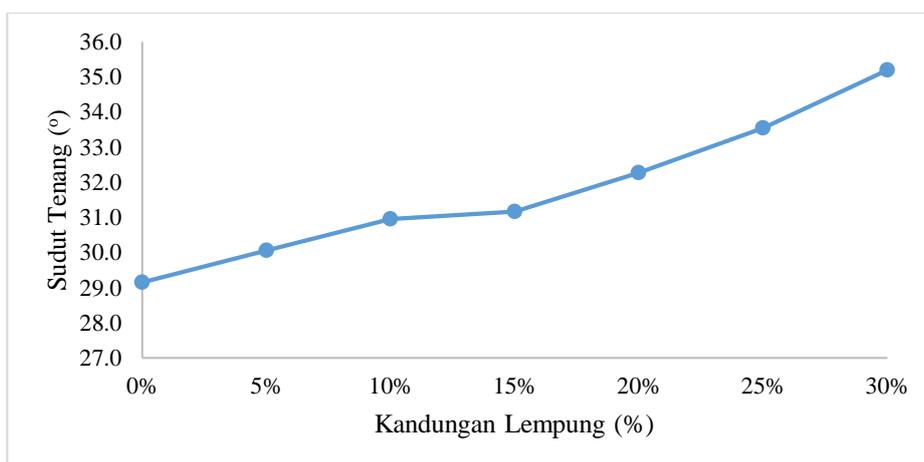
Pengujian modulus halus butir dilakukan untuk menentukan butiran yang lebih halus antara pasir merapi dan pasir pantai. Menurut Tjokrodinuljo (1996), pasir mempunyai modulus halus butir (mhb) antara 1,5 sampai dengan 3,8. Didapatkan hasil modulus halus butir sebesar 3,63 untuk pasir merapi dan 1,62 untuk pasir pantai. Dapat disimpulkan bahwa pasir pantai mempunyai butiran yang lebih halus daripada pasir merapi terlihat dari hasil modulus halus butir pasir pantai yang lebih kecil daripada pasir merapi.

Hasil Test Pengujian Secara Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan lempung dan nilai sudut tenang pada campuran pasir-lempung dengan empat puluh dua sampel percobaan yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Penelitian ini terdiri dari dua variasi pasir yaitu pasir pantai dan pasir merapi, menggunakan tujuh variasi penambahan lempung dengan kadar 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, serta menggunakan variasi tinggi jatuh 15 cm, 25 cm, 35 cm. Pasir yang diuji merupakan pasir dengan kondisi lepas dan kering udara. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hubungan antara Kandungan Lempung dan Sudut Tenang untuk Pasir Merapi



Gambar 6. Hubungan antara Kandungan Lempung dan Sudut Tenang untuk Pasir Pantai

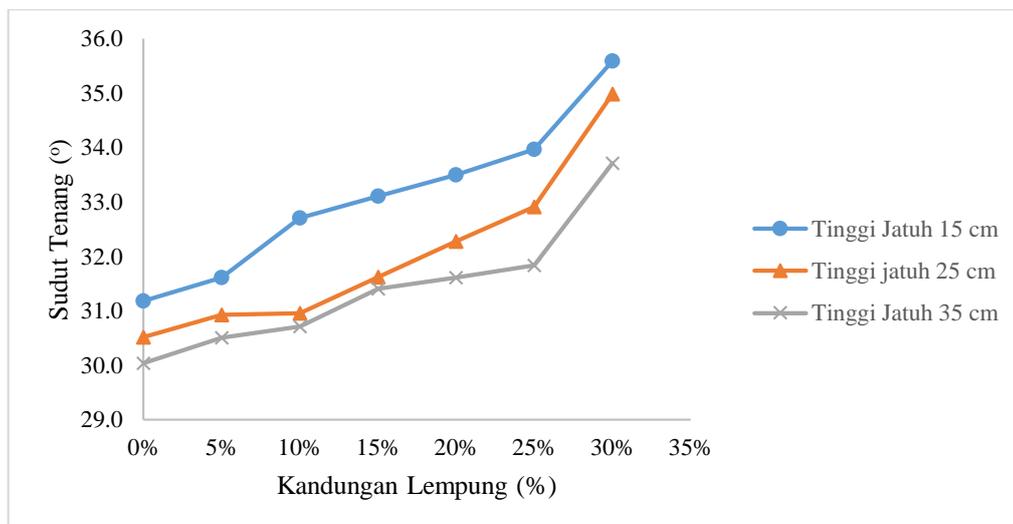
Berdasarkan Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan lempung dalam campuran lempung-pasir pantai maupun pasir merapi maka semakin besar nilai sudut tenang yang dihasilkan, dikarenakan ketika kadar lempung semakin banyak dengan kondisi lempung yang mempunyai butiran lebih halus daripada pasir saat campuran lempung-pasir dituangkan menimbulkan gesekan yang tidak terlalu besar karena sifat lempung sudah mulai dominan terhadap benda uji sehingga terbentuk timbunan yang semakin curam.

Pasir merapi dan pasir pantai menghasilkan nilai sudut tenang yang berbeda dikarenakan mempunyai karakteristik pasir yang juga berbeda. Pasir merapi mempunyai nilai sudut tenang yang lebih besar daripada pasir

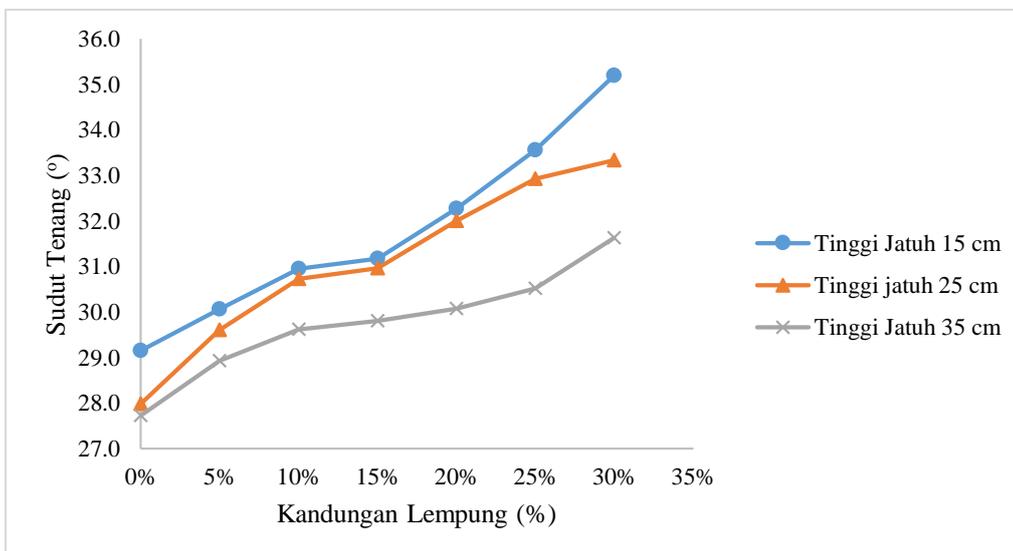
pantai. Berdasarkan hasil pengujian butiran pasir menunjukkan bahwa pasir merapi mempunyai karakteristik butiran yang lebih kasar dibandingkan pasir pantai, sehingga ketika proses penuangan benda uji butiran daripada pasir merapi kurang mengisi rongga yang ada pada pasir sehingga membentuk timbunan yang tidak beraturan, saling menumpuk, dan lebih curam. Sedangkan pada pasir pantai, yang mempunyai karakteristik butiran lebih halus pada saat proses penuangan dapat mengisi rongga daripada pasir sehingga membentuk timbunan yang padat, saling mengisi, dan tidak terlalu curam.

Uji Pengaruh Tinggi Jatuh Penuangan

Pada pengujian, tinggi jatuh penuangan benda uji mempunyai pengaruh terhadap nilai sudut tenang yang dihasilkan. Tinggi jatuh diuji untuk pasir pantai maupun pasir merapi, dengan pengujian alat uji diubah tingginya sebesar 15 cm, 25 cm, 35 cm. Untuk pengujian kali ini dasar permukaan diatur menggunakan pedestal berbentuk lingkaran sehingga besarnya diameter semua benda uji yang sudah dituangkan mempunyai nilai yang seragam, yaitu 190 mm. Hal ini bertujuan agar nilai sudut tenang yang dihasilkan lebih efisien dengan hanya memperhitungkan tinggi dari timbunan benda uji tersebut. Hasil pengujian tinggi jatuh penuangan bisa dilihat di Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hubungan antara Kandungan Lempung, Sudut Tenang, dan Tinggi Jatuh untuk Pasir Merapi



Gambar 8. Hubungan antara Kandungan Lempung, Sudut Tenang, dan Tinggi Jatuh untuk Pasir Pantai

Berdasarkan Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi penuangan benda uji maka nilai sudut tenang semakin kecil, hasil maksimal didapatkan pada tinggi jatuh penuangan 15 cm yaitu 35,6° untuk pasir merapi dan 35,2° untuk pasir pantai. Hal ini dikarenakan dengan tingginya penuangan benda uji maka ketika benda uji jatuh menyentuh dasar permukaan menimbulkan kejutan yang besar yang membuat diameter benda uji melebar dan menghasilkan

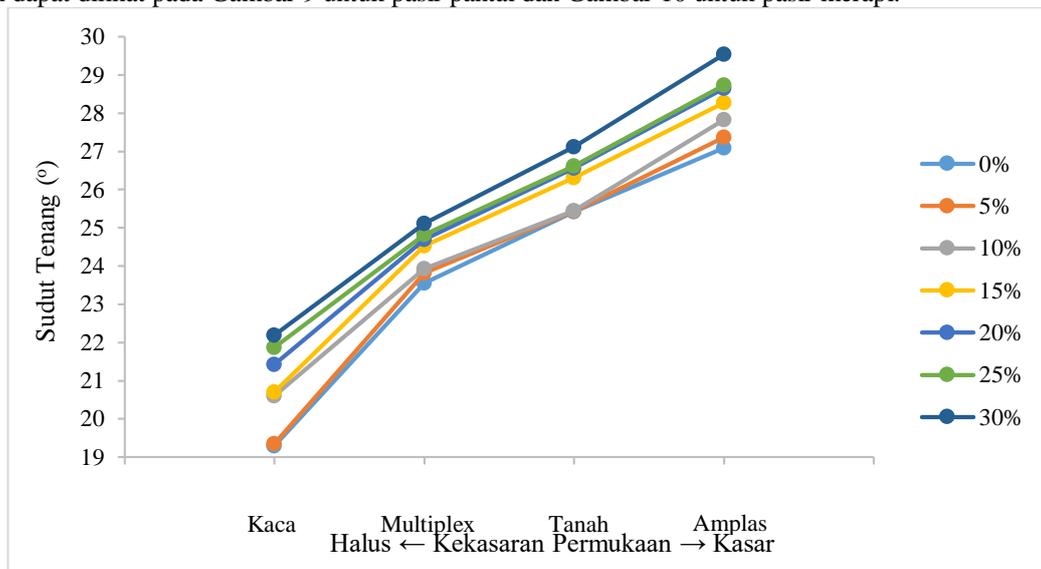
timbunan yang lebih landai. Sedangkan yang digunakan untuk perhitungan menggunakan diameter 190 mm yang sudah ditetapkan sesuai dengan ukuran pedestal pada alat uji.

Dari hasil yang sudah didapatkan, bisa dibuat kesimpulan ketika tinggi jatuh penebaran semakin besar mengakibatkan timbunan menjadi tidak padat yang dikarenakan kejutan antar partikel yang menumpuk lebih besar dan kasar kemudian tidak saling mengisi rongga pada benda uji tersebut sehingga banyak benda uji yang melebar dan membuat timbunan menjadi landai sehingga nilai sudut tenang menjadi semakin kecil.

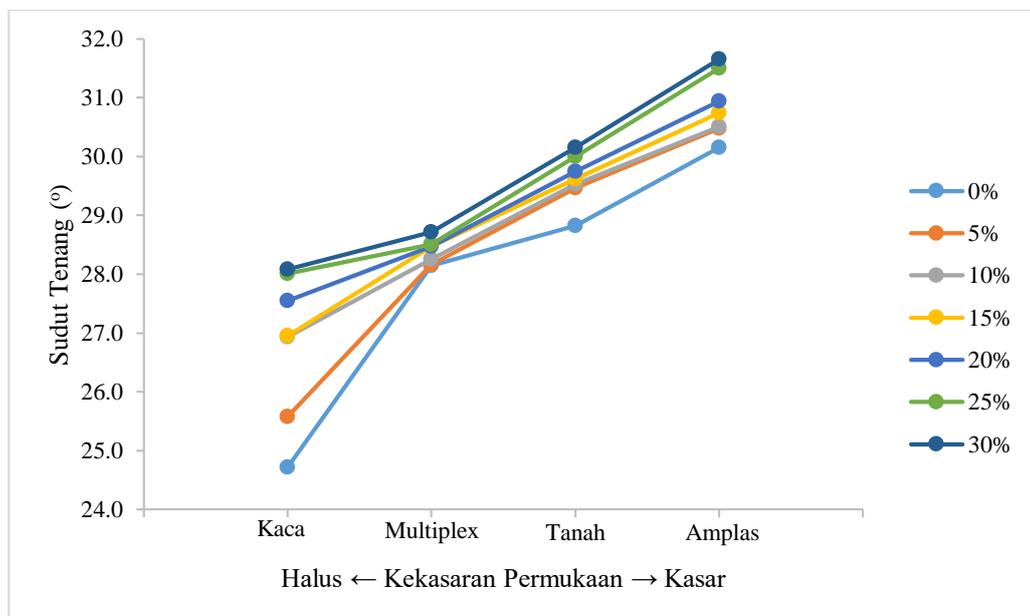
Uji Kekasaran Dasar Permukaan

Selain variasi tinggi jatuh yang digunakan, penelitian ini juga menggunakan variasi kekasaran dasar permukaan. Bahan dasar permukaan yang digunakan adalah kaca, *multiplex*, tanah, amplas. Benda tersebut diurutkan dari yang paling halus sampai yang paling kasar.

Pada pengujian kekasaran dasar permukaan, hasil yang diperhitungkan adalah diameter dan tinggi, tidak seperti di pengujian sebelumnya menggunakan dasar permukaan berupa pedestal dengan diameter yang sudah ditetapkan, untuk pengujian kali ini setiap timbunan benda uji akan memiliki diameter dan tinggi yang berbeda-beda. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 9 untuk pasir pantai dan Gambar 10 untuk pasir merapi.



Gambar 9. Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Sudut Tenang untuk Pasir Pantai



Gambar 10. Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Sudut Tenang untuk Pasir Merapi

Berdasarkan Gambar 9 dan 10, nilai sudut tenang campuran lempung-pasir dari 0 % sampai 30 % selalu mengalami peningkatan. Hasil maksimal didapat pada campuran pasir-lempung kandungan 30 % pada dasar

permukaan amplas yaitu sebesar $29,5^\circ$ untuk pasir pantai dan $31,7^\circ$ untuk pasir merapi. Nilai sudut tenang pasir pantai maupun pasir merapi semakin besar ketika permukaan semakin kasar, dikarenakan dengan semakin kasarnya permukaan maka gesekan antara permukaan dengan material timbunan semakin meningkat.

Semakin kasar permukaan yang digunakan maka koefisien gesek yang ditimbulkan akan semakin besar sehingga gesekan antara permukaan dengan material timbunan hanya berlangsung sebentar kemudian membentuk timbunan dengan diameter yang kecil dan tinggi timbunan yang curam.

Kesimpulan

Pasir yang digunakan untuk penelitian adalah pasir merapi dan pasir pantai yang diuji menurut klasifikasi USCS dengan hasil pasir pantai maupun pasir merapi kandungan lempung 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, termasuk dalam jenis pasir SP yaitu pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, dengan sedikit atau tanpa butiran halus. Sedangkan pasir pantai maupun pasir merapi kandungan 20 %, 25 %, 30%, termasuk dalam jenis pasir SC yaitu pasir berlempung, campuran pasir, dan lempung bergradasi buruk.

Sudut tenang campuran pasir pantai-lempung dan pasir merapi-lempung mengalami peningkatan ketika penambahan lempung semakin banyak dan mengalami penurunan ketika tinggi jatuh penuangan semakin besar. Nilai sudut tenang terbesar didapatkan pada campuran pasir merapi-lempung dengan kandungan lempung 30 % pada tinggi jatuh penuangan 15 cm sebesar $35,6^\circ$. Sedangkan nilai sudut tenang terendah didapatkan pada campuran pasir pantai-lempung dengan kandungan lempung 0 % pada tinggi jatuh penuangan 35 cm sebesar $27,7^\circ$.

Pengaruh kandungan lempung terhadap nilai sudut tenang campuran pasir pantai-lempung dan pasir merapi-lempung adalah karakteristik lempung yang mempunyai butiran lebih halus daripada pasir mampu dengan mudah masuk ke dalam rongga pasir yang kemudian berpengaruh terhadap gesekan antar partikel dan menimbulkan timbunan yang berbeda antar variasi penambahan lempung.

Sudut tenang campuran pasir pantai-lempung dan pasir merapi-lempung mengalami peningkatan ketika kekasaran dasar permukaan semakin kasar. Nilai sudut tenang terbesar didapatkan pada campuran pasir merapi-lempung dengan bahan dasar amplas sebesar $31,7^\circ$, sedangkan nilai sudut tenang terendah didapatkan pada campuran pasir pantai-lempung dengan bahan dasar kaca sebesar $19,3^\circ$.

Daftar Pustaka

- Al-Hashemi, H.M.B. dkk. Powder Technology. *A Review on the Angle of Repose of Granular Materials*. 330:397-417.
- Donghwi, Kim dkk. 2018. *Effect of clay content on the shear strength of clay-sand mixture*. <https://link.springer.com/article/10.1186%2Fs40703-018-0087-x> (akses 10 Januari 2018)
- Ghazavi, M dkk. 2008. *A Comparison between Angle of Repose and Friction Angle of Sand*. https://www.researchgate.net/publication/255585958_A_Comparison_between_Angle_of_Repose_and_Friction_Angle_of_Sand (akses 10 Januari 2018)
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Khatir, Rita. 2006. *Penuntun Praktikum Fisiologi dan Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Banda Aceh: Faperta_UNSYIAH.
- Listyawan, A.B., dkk. 2017. *Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Miura, Kinya dkk. 1997. Soils and Foundation. *Method of Measurement for the Angle of Repose of Sands*. 37(2):89-96.
- Sahay, dkk. 1994. *Unit Operations of Agricultural Processing*. New Delhi: Vikas.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- Wikipedia. 2018. *Sudut Tenang* di https://id.wikipedia.org/wiki/Sudut_tenang (akses 3 Desember 2018)