

Sudut Tenang Pasir Pantai dan Pasir Merapi Pada Kondisi Runtuh Dengan Variasi Kadar Lempung

Anto Budi Listyawan^{1*}, Renaningsih², Qunik Wiqoyah³, Aditya Galih Pradana⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A Yani, Tromol Pos I Pabelan, Surakarta
*Email: anto.Budi@ums.ac.id

Received 19 June 2020; Reviewed 05 September 2020; Accepted 04 December 2020
Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

Soil layer is the combination of many types as well as the soil in the slope area. The soil in the slope is frequently the mixture of clay and sand. The stability of slope becomes dominantly issue on the geotechnical engineering area. The collapse of slope occurs because the gravity of external forces is exceeding the shear strength of soil. The recent research develops the apparatus to determine the angle of repose of the sand-clay soil in the failure conditions. Sandy soil is taken from Beach and Merapi volcano. The clay added into the sand in the proportion of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%. The experiment is conducted by taking the height of falling material of 15cm, 25cm, and 35 cm. Adding 0% to 15% clay brings the sand into SP Category, then adding 20%-30% makes the sand in SC category. The Modulus of fine grain of sand beach is smaller than Merapi sand. As the percentage of clay added to the sand higher, the difference of angle of repose of Merapi sand before and after failure is getting smaller, but it is not the case in Beach sand. Percentage of loss of volume of Merapi sand after failure is also going down as the portion of clay higher. The loss of volume of Beach sand added by clay is getting higher in failure condition.

Kata kunci: *angle of repose, clay, Merapi sand, Beach sand, failure*

Abstrak

Lapisan tanah merupakan kombinasi dari beberapa jenis, termasuk tanah di sebuah lereng. Akan tetapi merupakan campuran beberapa jenis tanah seperti pasir dan lempung. Lereng yang tidak stabil akan rentan mengalami kelongsoran, yang salah faktor penyebabnya adalah sudut lereng yang besar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sudut tenang tanah campuran pasir lempung pada kondisi runtuh. Tanah pasir diambil dari lokasi pantai dan lereng gunung Merapi yang masing-masing dicampur dengan lempung sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Pengujian dilakukan dengan alat pengukur sudut tenang dengan variasi tinggi jatuh 15cm, 25cm, dan 35cm. Hasil uji fisis memperlihatkan bahwa dengan penambahan 0% hingga 15% lempung, tanah pasir bergradasi buruk (SP) dan pada persentase penambahan 20%-30% merupakan pasir berlempung (SC), selain itu dilakukan pula pengujian modulus halus butiran yang mendapatkan hasil pasir pantai memiliki MHB yang lebih kecil dari pasir Merapi. Seiring penambahan persentase lempung, selisih sudut tenang pasir Merapi sesbelum dan setelah runtuh semakin kecil, berkebalikan dengan situasi yang sama untuk pasir pantai. Persentase kehilangan volume pasir Merapi setelah runtuh juga mengecil dengan bertambahnya lempung. Sedangkan pasir pantai yang ditambah lempung mengalami kehilangan volume yang cenderung semakin besar bila runtuh.

Kata kunci: *sudut tenang, lempung, pasir Merapi, pasir pantai, keruntuhan*

1. Pendahuluan

Pasir merupakan material granular alam yang belum terkonsolidasi yang pembentukannya dari silikon dioksida. Pasir terdiri dari butiran-butiran yang berukuran 0,075 sampai 2 milimeter. (AASHTO). Pasir berasal dari 2 sumber diantaranya pasir alam yang bersumber dari gunung, sungai, pasir laut dan bekas rawa sedangkan pasir pabrikan yaitu pasir yang didapatkan dari penggilingan bebatuan yang kemudian diolah dan disaring, pasir banyak dijumpai dimana saja termasuk lereng (Listyawan dan Kusumaningtyas, 2018).

Secara fisik, sudut tenang adalah sudut yang membedakan perpindahan fase pada tanah granuler (Liu, 2011). Sudut tenang juga didefinisikan sebagai sudut paling curam pada material yang lepas, yang diukur dari bidang horizontal dimana material tanah bisa berdiri tanpa ada keruntuhan (Mehta dan Barker, 1994). Menurut Sahay dan Singh (1994), sudut tenang dari suatu bahan dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, kadar air, dan orientasi bahan. Sudut tenang berada di antara $0^\circ - 90^\circ$. Faktor-faktor yang memengaruhi sudut tenang adalah tinggi timbunan, laju penguangan, kekasaran alat (Miura, dkk, 1997). Penelitian yang dilakukan (Wang, dkk, 2013) pada endapan puing-puing yang disebabkan oleh Gempa Bumi Sichuan 2008 di China diperoleh hasil bahwa nilai sudut tenang yang diperoleh di laboratorium lebih besar daripada di lapangan. Penelitian tersebut juga menyelidiki faktor-faktor yang memengaruhi sudut tenang, yaitu pemadatan relatif, ukuran partikel, dan ketidakseragaman.

Sudut gesek dalam campuran lempung-pasir sebesar $35,7^\circ$ untuk pasir homogen, yang mengalami peningkatan ke nilai puncak sebesar $38,7^\circ$ dengan kandungan lempung 10%, secara bertahap mengalami penurunan menjadi $34,0^\circ$ pada kandungan lempung 30%. Namun, sudut tenang mengalami peningkatan hingga kandungan lempung 25% dengan penguangan yang signifikan dari hasil pengujian yang kemungkinan disebabkan oleh dominasi kandungan lempung dalam campuran. Sudut tenang berada dalam hubungan linier dengan sudut gesek dalam pada kandungan lempung yang rendah, sedangkan keduanya tidak berkorelasi pada kandungan lempung yang lebih tinggi (Donghwi et. Al, 2008).

Ghazavi dan Hosseini (2008) menghasilkan alat khusus untuk mengukur sudut tenang pasir yang diendapkan. Pasir yang telah dituangkan dari ketinggian tertentu melalui katup pembuka jalur outlet. Sudut gesek dalam dari pasir yang diendapkan pada kepadatan yang sama juga diukur menggunakan alat uji geser.

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan perbedaan sudut tenang pada kondisi normal dan kondisi runtuh. Kondisi runtuh diasumsikan terjadi ketika timbunan dan lereng mengalami gerakan akibat beban dari luar, seperti beban gempa. Material granuler yang dipakai adalah pasir pantai dan pasir Merapi yang dicampur dengan tanah lempung dengan berat yang bervariasi.

1.1. Tanah Pasir

Pasir Merapi

Pasir Merapi merupakan pasir yang memiliki kandungan silika lebih dari 60% (Lasino dan Cahyadi, 2016) Kandungan silika pada pasir tersebut dapat dijadikan sebagai bahan adsorben khususnya untuk penjernihan air serta dapat digunakan sebagai pasir beton. Kandungan logam dalam tanah vulkanik di sekitar wilayah Merapi yaitu untuk logam Al berkisar 1,8-5,9%, Mg sebesar 1-2,4%, Si sebesar 2,6-28%, dan Fe sebesar 1,4-9,3% (Lasino dan Cahyadi, 2016).

Pasir Pantai

Menurut Izon (2018), kandungan dari pasir pantai selatan Jawa sebagian besar didominasi oleh SiO_2 , minimum 38%. Diikuti Al_2O_3 , Fe_3O_3 , dan CaO . terdiriyang paling banyak adalah kalsium (kapur), Pasir pantai sebagai salah satu jenis material agregat halus memiliki ketersediaan dalam kuantitas yang besar, namun secara kualitas masih perlu diteliti lebih lanjut terhadap struktur beton. Pasir laut umumnya memiliki karakteristik butiran yang halus dan bulat gradasi yang seragam serta mengandung garam (Fauzi, 2011)

1.2. Tanah Lempung

Tanah liat atau lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Lempung atau tanah liat adalah suatu silika hidraaluminium yang kompleks dengan rumus kimia $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot k\text{H}_2\text{O}$ dimana n dan k merupakan nilai numerik molekul yang terikat dan bervariasi untuk masa yang sama. Partikel-partikel lempung mempunyai tenaga tarik antar partikel yang sangat kuat, menyebabkan kekuatan yang sangat tinggi pada suatu bongkahan kering (batu lempung) (Terzaghi, 1987).

Menurut Hardiyatmo (2002), sifat-sifat yang dimiliki tanah liat atau lempung adalah: ukuran butir halus kurang dari 0,002 mm; permeabilitas rendah; bersifat sangat kohesif; kadar kembang susut yang tinggi; proses konsolidasi lambat, terutama lempung dengan kandungan mineral montmorilonite tinggi.

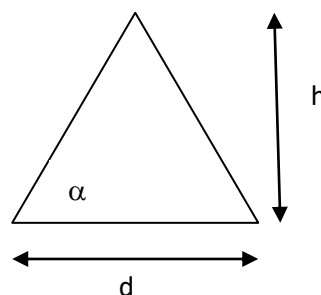
1.3. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (MHB) adalah suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir agregat. Modulus halus butir ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Susunan lubang ayakan itu ialah sebagai berikut: 40 mm; 20 mm; 10 mm; 4,80 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; dan 0,15 mm. Semakin besar nilai MHB suatu agregat maka semakin besar butiran agregatnya. Pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8. Adapun MHB kerikil diantara 5 sampai 8. Besar MHB dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\% \text{ kumulatif tertinggal}}{100} \quad (1)$$

1.4. Sudut Tenang

Sudut tenang adalah sudut antara permukaan gundukan terhadap permukaan horizontal. Ghazavi dan Hosseini (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). Besar sudut tenang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:



$$\tan \alpha = \frac{h}{1/2d} \quad (2)$$

dengan:

α : sudut tenang ($^{\circ}$)

h : tinggi kerucut timbunan campuran pasir-lempung (cm)

d : diameter timbunan campuran pasir-lempung (cm)

2. Metode Penelitian

Pengujian sudut tenang pada kondisi runtuh dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: (1) Mencampur pasir dengan lempung dengan persentase penambahan lempung terhadap berat pasir sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. (2) Menyiapkan alat uji sudut tenang yang dilengkapi dengan pedestal, ring, dan *spacer* dengan variasi tinggi jatuh 15cm, 25cm, dan 35cm. (3) Menuang pasir ke dalam alat uji sudut tenang dan buka katup tabung sehingga campuran pasir lempung membentuk tumpukan di atas pedestal. (4) Menarik *spacer* dengan cepat hingga ring jatuh kebawah dan menyebabkan pasir runtuh. (5) Mengukur ketinggian pasir yang tersisa di atas pedestal menggunakan penggaris.

Alat ukur sudut tenang terdiri dari tabung tempat material dan kerucut sebagai jalur yang dilewati material yang akan jatuh yang dilengkapi dengan katup, yang semuanya terbuat dari besi baja. Diameter kerucut yang kecil dipasang di bagian atas, agar ketika kerucut dibuka, material akan jatuh tersebar sedikit demi sedikit (Gambar 1). Setelah material jatuh pada pedestal, maka alat spacer (Gambar 2) ditarik secara cepat, sehingga material akan runtuh.



Gambar 1. Alat ukur sudut tenang



Gambar 2. Spacer (uji runtuh)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Uji Fisis Pasir

Penambahan persentase lempung menyebabkan komposisi persen lolos saringan mengalami peningkatan, berlaku untuk pasir pantai dan pasir merapi. Pada pasir murni butiran pasir yang lolos saringan No.200 sebesar 0%. Nilai terbesar butiran tanah lolos saringan No.200 diperoleh yaitu sebesar 25% pada penambahan 30% lempung untuk pasir pantai dan 23% pada penambahan 30% untuk pasir merapi. Semakin besar penambahan lempung menghasilkan gradasi butiran tanah yang semakin kecil, hal tersebut disebabkan semakin banyaknya lempung yang terurai oleh larutan pengurai. Pengujian gradasi pasir dan batas-batas Atterberg menunjukkan bahwa untuk kandungan lempung 0%, 5%, 10%, 15% tanah termasuk klasifikasi SP sedangkan kandungan lempung 20%, 25%, 30% tanah termasuk klasifikasi SC.

Selain itu dilakukan pula pengujian modulus halus butiran yang bertujuan untuk mengetahui kekasaran dari masing masing pasir, dan didapatkan nilai MHB pasir pantai lebih kecil dibandingkan pasir merapi yang berarti pasir pantai memiliki permukaan yang lebih halus ketimbang pasir Merapi. Menurut Tjokrodimuljo (1996), pasir mempunyai modulus halus butir (mhb) antara 1,5 sampai dengan 3,8. Dari pengujian didapatkan bahwa pasir hasil dari pengujian telah memenuhi syarat karena mempunyai 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.

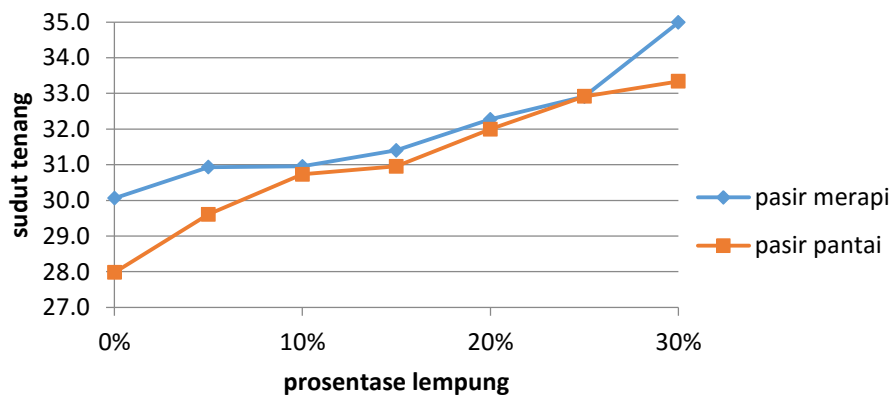
3.2. Uji sudut tenang

Uji sudut tenang ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan lempung dan nilai sudut tenang pada campuran pasir-lempung pada kondisi runtuh. 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 %, untuk memperoleh pengaruh lempung pada sudut tenang tanah pasir, serta menggunakan variasi tinggi jatuh 15 cm, 25 cm, 35 cm. Pasir

yang diuji merupakan pasir dengan kondisi lepas dan kering udara. Contoh pengujian sudut tenang saat runtuh bisa dilihat di Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 3 menunjukkan proses material yang jatuh dari tabung dan kerucut secara perlahan-lahan.



Gambar 3. Proses pengukuran sudut tenang



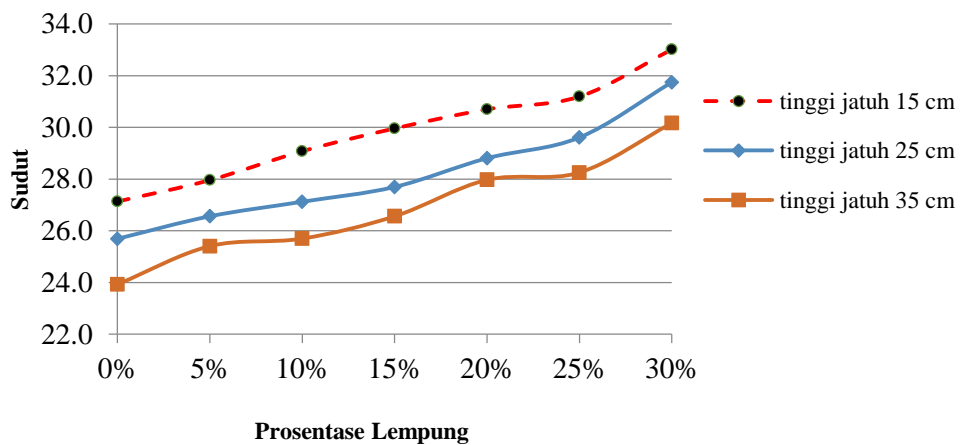
Gambar 4. Sudut tenang dengan tinggi jatuh 25 cm

Gambar 4 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.

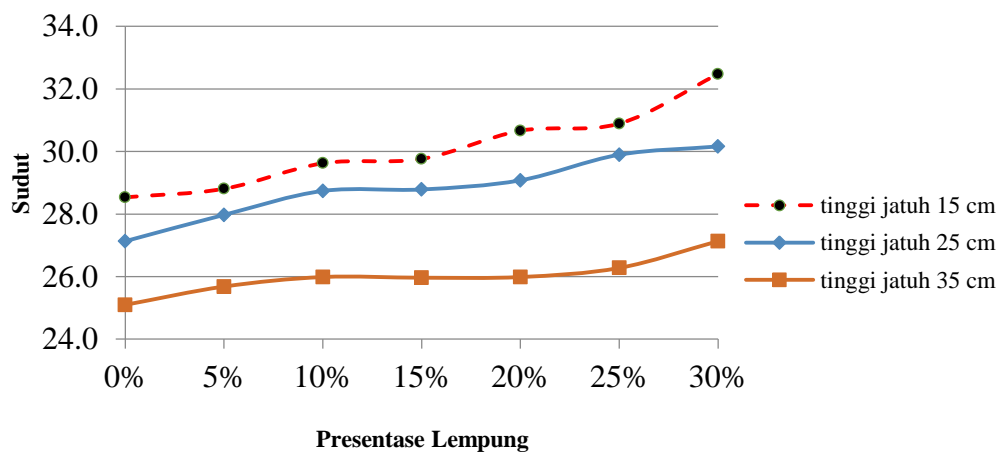
Pasir merapi dan pasir pantai menghasilkan nilai sudut tenang yang berbeda dikarenakan mempunyai karakteristik pasir yang juga berbeda. Pasir merapi mempunyai nilai sudut tenang yang

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.

3.3. Sudut tenang saat runtuh



Gambar 5. Variasi tinggi jatuh pada sudut tenang pasir merapi pada kondisi runtuh



Gambar 6. Variasi tinggi jatuh pada sudut tenang pasir pantai pada kondisi runtuh

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 sesuai dengan tinggi jatuh penuangan yang dibutuhkan. 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 sebagaimana terlihat di Gambar 5 dan Gambar 6.

Sudut tenang semakin tinggi dari penambahan lempung 0 % sampai 30 % dan dengan tinggi jatuh 15 cm, 25 cm, 30 cm hasil maksimal didapatkan pada tinggi jatuh penuangan 15 cm yaitu $35,6^\circ$ untuk pasir merapi dan $35,2^\circ$ untuk pasir pantai. Hal ini berarti tinggi jatuhpenuangan juga berpengaruh terhadap hasil sudut tenang, ditunjukkan dengan semakin tinggi penuangan benda uji maka nilai sudut tenang semakin kecil. 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. Dengan demikian tinggi jatuh penuangan 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.

3.4. Perbandingan sudut tenang saat normal dan runtuh

Perbandingan besar sudut tenang saat normal dan saat runtuh dilakukan dengan menghitung selisih sudut tenangnya seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pada pasir pantai, selisih sudut yang terjadi semakin besar tiap penambahan lempung hal ini berbanding terbalik dengan pengujian pasir merapi yang semakin kecil hal ini dapat terjadi dikarenakan pasir merapi termasuk dalam pasir kasar sedangkan pasir pantai termasuk dalam pasir halus sehingga ketika terjadi perubahan permukaan, pasir pantai akan lebih cepat turun karena gesekan antara pasir tidak terlalu besar sehingga tidak ada hambatan untuk pasir turun.

Tabel 1. Selisih sudut tenang pasir merapi antara kondisi normal dan runtuh

Tinggi jatuh	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
35 cm	6.1	5.1	5.0	4.8	3.6	3.6	3.6
25 cm	4.4	4.4	3.8	3.7	3.5	3.3	3.2
15 cm	4.1	3.7	3.6	3.2	2.8	2.8	2.6

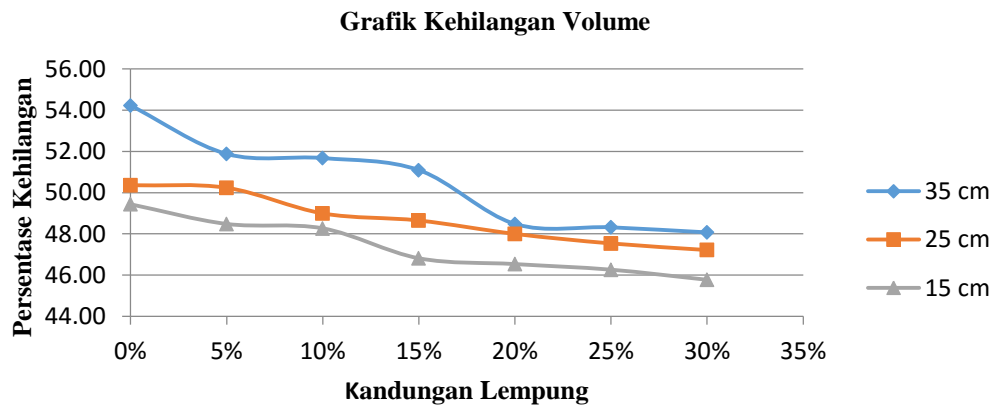
Tabel 2. Selisih sudut tenang pasir pantai antara kondisi normal dan runtuh

Tinggi jatuh	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
35 cm	2.6	3.2	3.6	3.8	4.1	4.2	4.5
25 cm	0.8	1.6	2.0	2.2	2.9	3.0	3.2
15 cm	0.6	1.3	1.3	1.4	1.6	2.7	2.7

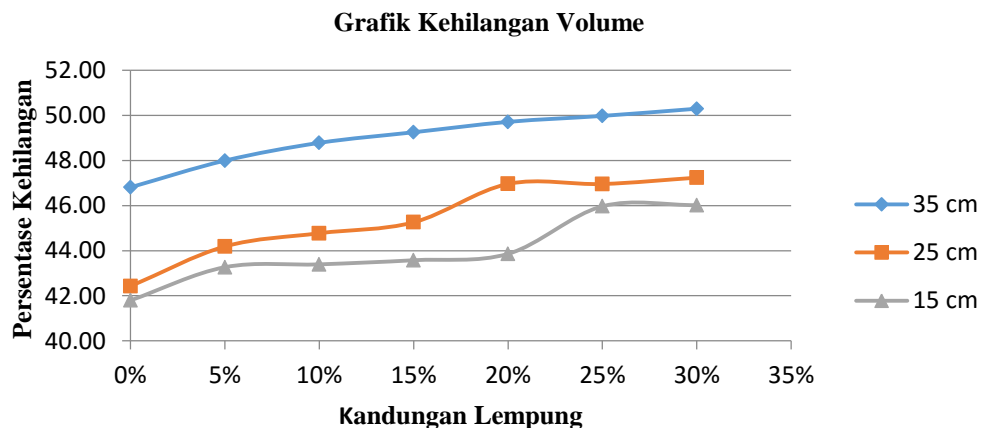
3.5. Kehilangan volume

Pada uji keruntuhan, perbedaan luas permukaan serta pemberian getaran pada pasir dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan sehingga dapat menyebabkan volume suatu tumpukan menjadi berubah lebih kecil baik pada pasir murni maupun pada pasir campuran lempung, analisa ini bertujuan untuk mengetahui berapa presentase kehilangan pasir ketika terjadi keruntuhan seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Pasir merapi terjadi penurunan kehilangan volume pada tiap

penambahan lempung, itu berarti setiap penambahan lempung dapat menahan pasir untuk runtuh hal ini sesuai dengan analisa selisih sudut dimana pada pasir merapi pada tiap penambahan lempung selisih sudutnya semakin kecil, sedangkan pada pasir pantai terjadi kenaikan kehilangan volume pada tiap penambahan lempung hal ini berbanding terbalik dengan pasir merapi, hal itu dapat terjadi karena jika dilihat pada analisa selisih sudut pada pasir pantai terjadi kenaikan selisih sudut yang disebabkan pasir pantai memiliki kekasaran yang lebih kecil dibanding pasir merapi sehingga ketika terjadi keruntuhan, pasir pantai akan turun dengan sedikit gesekan atau sedikit hambatan pada tiap permukaan pasir pantai.



Gambar 7. Persentase kehilangan volume pasir merapi dengan variasi tinggi jatuh



Gambar 8. Persentase kehilangan volume pasir pantai dengan variasi tinggi jatuh

4. Kesimpulan

Menurut USCS, 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 dengan penambahan lempung 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 $27,7^\circ$. Sudut tenang pada kondisi runtuh pasir pantai dan pasir merapi pada tiap penambahan lempung sudut tenang pada kondisi runtuh yang terjadi semakin besar.

Pada pasir merapi terjadi penurunan selisih sudut pada tiap persentase penambahan lempung hal ini disebabkan pasir merapi memiliki kekasaran yang tinggi sehingga pada tiap permukaan pasir terjadi gesekan yang tinggi yang menahan pasir untuk turun, sedangkan pada pasir pantai terjadi kenaikan selisih sudut pada tiap persentase penambahan lempung hal ini disebabkan pasir pantai memiliki kekasaran yang rendah atau cenderung halus sehingga pada tiap permukaan pasir gesekan yang terjadi sangat kecil dan tidak dapat menahan pasir untuk turun. Penambahan lempung pada pasir merapi menyebabkan volume yang hilang semakin sedikit sedangkan pada pasir pantai pada tiap penambahan lempung volume pasir yang hilang semakin besar hal ini dipengaruhi oleh kekasaran masing masing pasir.

5. Daftar Pustaka

- A. Mehta, G.C. Barker, 1994, The dynamics of sand, reports Prog. Phys., 57, pp. 383-416
- Anonim, Standard Test Method for Physical Testing of Gypsum Board Products and Gypsum Lath. ASTM C 473-93
- Donghwi K, Nam BH, Youn H. 2008. Effect of clay content on the shear strength of clay-sand mixture. International Journal of Geo-Engineering. 9:19
- Ghazavi M, Hosseini M. 2008. A Comparison between Angle of Repose and Friction Angle of Sand, In: 12th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics.
- Hardiyatmo H C. 2002 Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lasino dan Danny Cahyadi, 2016, Pemanfaatan Pasir dan Abu Merapi untuk Pembuatan Bata Beton (Conblock), Seminar Nasional Scan#7
- Listyawan AB, Kusumaningtyas N. 2018. Bearing capacity of circular skirted footing on clay soil. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 403 012019
- Miura K, Maeda K, Toki S. 1997. Soils and Foundation. Method of Measurement for the Angle of Repose of Sands. Soils and Foundations. 37(2):89-96.
- Muhammad Fauzi, 2011, Analisis Penggunaan Pasir Laut Pada Campuran Beton Terhadap Rumah Tahan Gempa, Jurnal Inersia
- Ronaldi Izon, 2018, Komposisi Kimia Pasir Pantai di Selatan Kulon Progo dan Implikasi terhadap Provenance, Jurnal Geologi dan Sumber daya Mineral, h 31-45
- Sahay KM, Singh KK,. 1994 Unit Operations of Agricultural Processing. New Delhi: Vikas

Terzaghi. 1987. Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Penerbit Erlangga: Jakarta.

Tjokrodinuljo K. 1996. Teknologi Beton. Yogyakarta: Nafiri. 1996

Wang J, Liang Y, Zhao D, Wen H. 2013. Angle of Repose of Landslide Debris Deposits Induced by 2008 Sichuan Earthquake. Engineering Geology. 156:103-110.

Z. Liu MS, 2011 Thesis: Measuring the Angle of Repose of Granular Systems Using Hollow Cylinders University of Pittsburgh