

PENGARUH KADAR KEHALUSAN BUTIR TERHADAP KETAHANAN GESER TANAH PASIR VULKANIK Effect of Fine Soils Content of the Volcanic Sand Shear Resistance

Silvia F. Herina

Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan-Kabupaten Bandung 40393
E-mail: silvia_herina@yahoo.com

Diterima : 02 November 2011 ; Disetujui : 11 Januari 2012

Abstrak

Tanah pasir vulkanik yang merupakan hasil erupsi dari gunung berapi terdapat di hampir seluruh wilayah Indonesia. Tanah ini umumnya berbentuk menyudut, dari tinjauan sifat mekanis faktor ini dianggap menguntungkan terutama bagi kekuatan geser tanah karena posisinya yang seolah bisa saling mengunci. Namun karena partikel pasir yang bisa digolongkan sebagai partikel kasar, pasir murni tetap akan lebih mudah terurai, berdilatasi atau berkontraksi jika mengalami tegangan geser dibandingkan dengan tanah berkarakteristik lain, seperti clay atau silty clay. Ada beberapa kontroversi pendapat bahwa penambahan kadar butir halus pada pasir dapat meningkatkan kuat gesernya, karenanya penelitian ini selain untuk mengkaji adanya pengaruh butiran halus pada pasir vulkanik juga dimaksudkan untuk mengkaji kontroversi yang ada. Dalam penelitian ini diuji sebelas sampel pasir vulkanik yang berasal dari daerah Srandakan (Bantul, Yogyakarta) dan Gantiwarno (Klaten-Yogyakarta). Pengujian kuat geser dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat triaxial dengan menerapkan beban monotonik tidak teralir (consolidated undrained). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pasir vulkanik mempunyai karakteristik geser yang sama dengan pasir alluvial, penambahan kadar butiran halus dalam tanah pasir vulkanik tidak mempengaruhi kenaikan kuat gesernya, tetapi gradasi yang baik terbukti dapat meningkatkan kuat geser tanah (Sr 1-4; Sr 2-4; Sr 3-4; Sr 4-4). Karena adanya perbedaan dari beberapa hasil studi terdahulu termasuk kajian ini, disimpulkan bahwa adanya butiran halus dalam tanah pasir, baik itu pasir vulkanik atau alluvial (endapan) belum dapat disimpulkan akan meningkatkan ketahanan geser statis maupun siklik. Beberapa faktor lain harus ditinjau, seperti adanya perbedaan plastisitas tanah atau perbedaan riwayat pada tanah yang mengandung butiran halus.

Kata Kunci : Pasir vulkanik, kadar kehalusan butir, kuat geser, gradasi butir, wet tamping

Abstract

Volcanic sand which is the result of eruptions of volcanoes are found in almost all parts of Indonesia. The sands is generally shaped angle, from a review of mechanical properties of these factors are considered especially beneficial for soil shear strength due to its position that seemed to be interlocked. However, because the sand particles can be classified as coarse particles, clean sand would be easier dilated or contracted under a shear stress, compared with other characteristics soil, like clay or silty clay. There is some controversy of opinion that the addition of the fine grain of sand levels can increase the shear strength, therefore this study in addition to assessing the influence of fine grains in the volcanic sand is also intended to review the existing controversy. In this study tested a sample of eleven volcanic sand from the area Srandakan (Bantul, Yogyakarta) and Gantiwarno (Klaten-Yogyakarta). Shear strength tests performed in laboratory using triaxial equipment by applying monotonic consolidated undrained. Test results show that the volcanic sand has the same characteristic shear with alluvial sand, additional levels of fine grains in the volcanic sand soil did not affect the increasing of shear strength. Some of the gains obtained by high shear strength soils Sr. 1-4; Sr. 2-4; Sr. 3-4; 4-4 Sr content proved that well graded soil may affect the shear stress resisting of soil. Because of differences in the results of several previous studies including this study, it was concluded that the presence of fine grains of sand in the soil, either volcanic or alluvial sand (sediment) can not be concluded will increase the static and cyclic shear resistance. Several other factors must be considered, such as the existence of differences in soil plasticity, or differences in soil histories of fine grains.

Keywords : Volcanic sands, fines content, shear stress, gradation, wet tamping

PENDAHULUAN

Tanah vulkanik merupakan hasil erupsi dari gunung berapi yang terdistribusi secara eksklusif

di daerah *volcano* aktif, biasanya jenis tanah ini mendominasi wilayah sekitar gunung berapi, dan terdapat di hampir seluruh wilayah Indonesia.

Tanah ini di golongkan dalam dua grup utama yaitu piroklastik (*pyroclastic*) berupa deposit yang ditembakkan keluar oleh gas pijar yang berkecepatan tinggi, termasuk dalam deposit ini adalah batuan dan pasir, juga batuan scoria (*vesiculated scoria*), dan partikel-partikel lain, deposit ini terbang tinggi sebelum jatuh ke bumi dalam kondisi dingin. Deposit grup kedua dikenal dengan nama *epiclastic* yang merupakan semua bahan vulkanik yang dikeluarkan dengan cara mengalir, termasuk *debris* vulkanik longsor, *mudflows*, *debris flows*, juga lahar, *alluvium volcano* dan *volcanic loess*. Kedua grup di atas mengalami resedimentasi, dalam posisi tercampur tanah dari lokasi asal yang dilewatinya atau tertimbun oleh tanah setempat yang bergerak karena suatu getaran atau gerakan lempeng bumi.

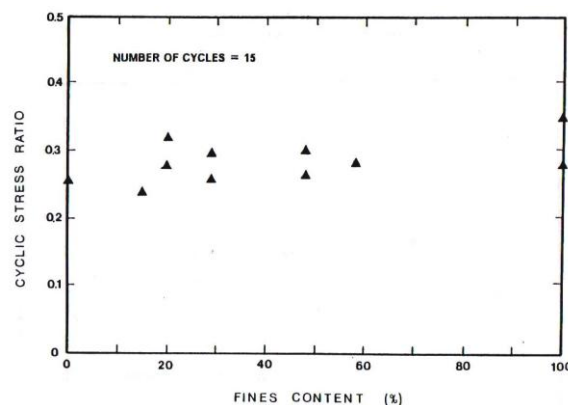
Partikel butiran pasir yang terdapat pada deposit tanah vulkanik segar pada umumnya berbentuk menyudut, keadaan ini tampak jelas pada pasir deposit piroklastik muda yang belum lama terendapkan. Dari tinjauan sifat mekanis faktor ini dianggap menguntungkan terutama bagi kekuatan geser tanah karena posisinya yang bisa saling mengunci. Namun karena partikel pasir yang bisa digolongkan sebagai partikel kasar, pasir murni tetap akan lebih mudah terurai, berdilatasi atau berkontraksi jika mengalami tekanan dibandingkan dengan tanah berkarakteristik lain, seperti *clay* atau *silty clay*.

Jika ada gaya geser yang bekerja secara cepat, seperti beban gempa, terhadap lapisan pasir yang ada dalam kondisi jenuh atau dibawah muka air tanah, air pori yang tidak sempat keluar membuat tekanan air pori naik dan menyebabkan tegangan yang dipunyai lapisan tersebut menurun sehingga butiran pasir bergerak dan saling menggelincir.

Sebagaimana banyak ditemui, beberapa faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah pasir adalah *void ratio* atau kepadatan relatif, bentuk partikel, distribusi keragaman butiran, kekasaran permukaan partikel, air, ukuran partikel, tegangan awal yang pernah diterima. Kuat geser ini memegang peranan penting ketika tanah tersebut akan digunakan sebagai dasar bangunan di daerah yang rawan terhadap gempa ataupun longsor. Saat kuat geser mencapai batas runtuhnya tanah pasir dapat mencair (*liquifaksi*), terjadi penyebaran lateral atau menggelincir. Bangunan di atasnya dapat mengalami penurunan, retak dan bahkan runtuh. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji peranan butiran halus dalam deposit pasir vulkanik, serta mengkaji kontroversi pendapat yang ada saat ini. Kajian kuat geser dilakukan dengan pengujian laboratorium menggunakan alat uji Triaxial dan menerapkan metode "terkonsolidasi tidak teralir" (*consolidated undrained*).

TINJAUAN LITERATUR

Chang et al (1982) menyusun pendekatan secara sistematis untuk mengevaluasi pengaruh kadar kehalusan butir pada kuat geser siklik dari pasir kelanauan (*silty sands*), kadar kehalusan diukur dengan penambahan lanau 10% sampai 60% pada pasir. Chang menemukan bahwa sampel yang mempunyai kadar kehalusan (lanau) 10% sampai 30% mempunyai kuat geser yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan pasir yang mengandung 60% lanau. Pengaruh keberadaan butiran halus terhadap kuat geser tanah yang diperoleh Brandon, Th. L.; Clough, G.W.; Rahardjo, P.P., 1990, memberikan hasil yang berbeda. Brandon et al melakukan uji geser terhadap beberapa sampel pasir alluvial dengan kadar kehalusan butir yang berbeda, dan menemukan bahwa penambahan kadar kehalusan butir hampir tidak mempunyai pengaruh terhadap kenaikan kuat geser siklik tanah (gambar 1).

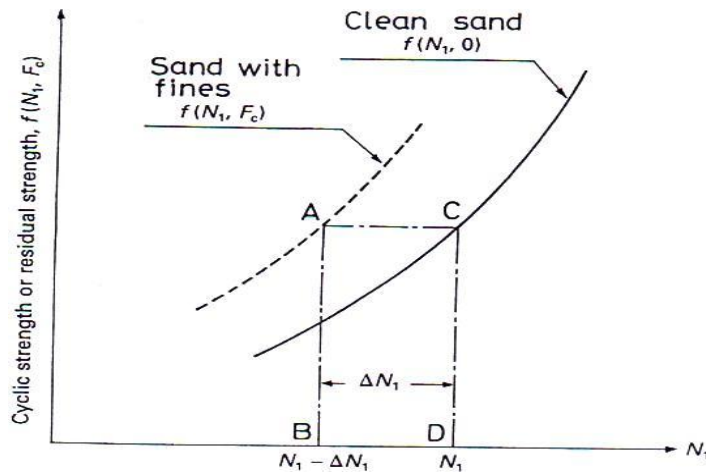


Gambar 1 Kuat Geser Pasir Alluvial vs Kadar Butiran Halus

Meskipun ada beberapa kontroversi, ada beberapa ahli (*Chang et al, 1982; Ishihara, K., 1996 dll*) yang menyatakan keberadaan butiran halus dalam lapisan pasir dapat mengurangi potensi mencairnya tanah jika mengalami getaran atau menerima gaya geser.

Sementara itu dengan mengacu pada hasil uji penetrasi di lapangan, Ishihara, K., 1996 menemukan bahwa pasir bersih dengan kuat geser yang sama, ketahanan penetrasinya lebih kecil dengan adanya penambahan butir halus, dan kenyataannya dengan ketahanan penetrasi yang sama, pasir yang mengandung butiran halus mempunyai kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan pasir bersih.

Kajian Ishihara ini diilustrasikan pada gambar 2. Beberapa studi lain yang berhubungan dengan kuat geser pasir dan kadar kehalusan butir yang dikandungnya diilustrasikan dalam tabel 1.



Gambar 2 Pengaruh Penambahan Kadar Kehalusan Butir terhadap Ketahanan Penetrasi (N_1) dan Kuat Geser Siklik (sumber : Ishihara, K., 1996)

Tabel 1 Beberapa Studi Laboratorium Ketahanan Geser Pasir yang Mengandung Butiran Halus

Lokasi	Material	% Fines	D_{50} (mm)	IP	Penyiapan Sampel	Void Ratio	τ/σ'_o OCR=1	τ/σ'_o OCR=2	Konklusi	Referensi
Koto A	Sandy silt	58	0.061	20	Slurry	0.83-0.85	0.281	0.417		
Koto A	Silt	100	0.023	20	Slurry	0.89-1.02	0.281	0.479	OCR menaikkan tegangan geser, pengaruhnya lebih tampak pada tanah dengan kadar kehalusan tinggi	Ishihara et al, 1978
Koto B	Silty sand	15	0.282	N/A	Slurry	0.82-0.90	0.238	0.321		
Suzuki	Silt	100	0.009	N/A	Slurry	1.40-1.60	0.350	0.478		
Thsago	Sand	0	0.180	N/A	Slurry	0.82-0.91	0.255	0.334		
Owl-Fls	Silty sand	35	0.102	Low	Undisturbed	0.75-0.85	0.255	N/A		
	Silty fine sand	20.58	N/A	N/A	Undisturbed					
Upper S.Fernando Hyd fill	Coarse sand	0.25	N/A	N/A	Undistrubed	$Dr=51.58\%$	0.250	N/A	Tidak tampak jelas perbedaannya pada fine silty sand dan clean sand	Lee et al, 1975
Lower S.Fernando Hyd fill	Silty sand	0.05	<0.32	N/A	Undisturbed	0.48-0.71	0.258	N/A	Tidak ada perbedaan	Hsing and Seed, 1988

Sumber : Brandon, Th. L et al

METODE PENELITIAN

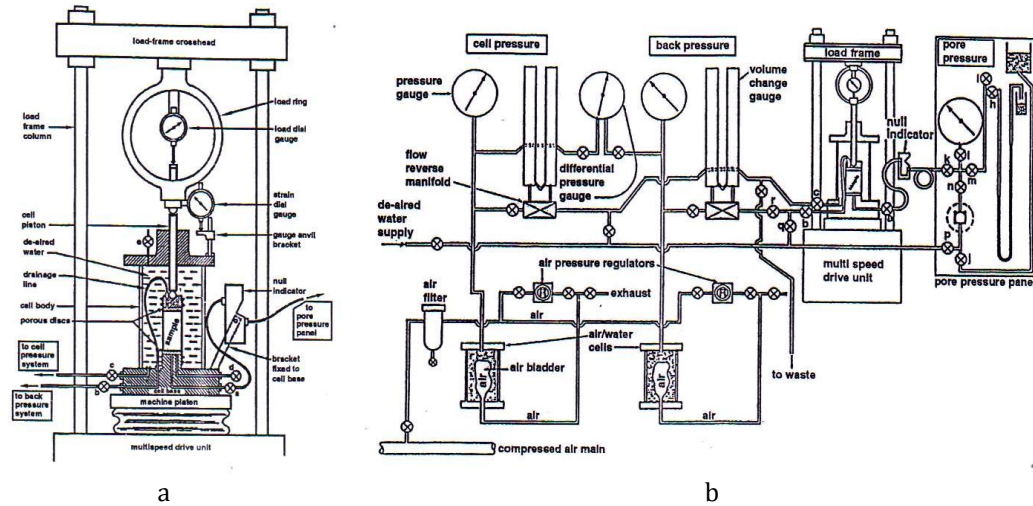
Sistem Kerja Triaxial Terkonsolidasi Tidak Teralir

Untuk memperoleh prediksi ketahanan geser, tanah pasir diuji dibawah beban monotonik terkonsolidasi tidak teralir (Triaxial CU). Dilakukan pengujian CU terhadap 11 sampel uji dari Srandakan (Bantul), Gantiwarno (Klaten).

Penyiapan sampel yang sebagian besar merupakan tanah pasir lepas dilakukan dengan metoda penempatan secara lembab (*wet tamping*). Ketentuan dasar yang harus dipenuhi dalam metode ini adalah sampel harus homogen atau *void rasionya* terdistribusi secara seragam. Sel triaxial merupakan silinder transparan dari *flexi glass* yang diletakkan diantara suatu pelat dasar (*base plate*) dan *top plate*. Sistem kerja alat triaxial yang

digunakan dilengkapi dengan sistem tekanan sel melalui katup c, sistem tekanan balik melalui katub b, sistem tekanan air pori pada bagian bawah sampel melalui katup a, dan katup d yang digunakan untuk melakukan vakum udara. Sumber tekanan berasal dari sebuah kompresor yang

dilengkapi dengan regulator tekanan. Alat pengukur tekanan balik dan tekanan sel berupa manometer, untuk pembacaan tekanan air pori yang lebih teliti, digunakan pipa U berskala berisi air raksa (gambar 3).

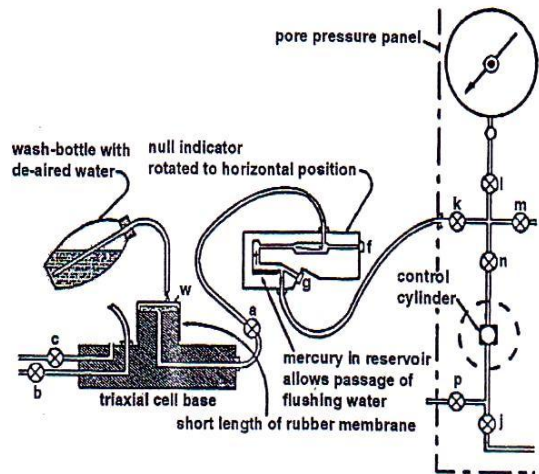


Gambar 3 a. Sketsa Sel Triaxial; b. Sistem Alat Uji Triaxial (Sumber : K.H. Head)

Tekanan air pori diukur dari dasar sampel, drainasi sampel dilakukan melalui *top plate*. Pengukuran tekanan air pori memanfaatkan *null indicator* sebagai acuan, perubahan pada posisi *null indicator* menunjukkan adanya perubahan volume, hal ini dicegah dengan memberikan tekanan sampai *null indicator* kembali pada posisi semula. Perubahan volume pada tahap konsolidasi diukur dari pembacaan perubahan tinggi muka air pada *buret*.

dilakukan dengan menyiapkan spesimen uji sesuai dengan metode yang akan diambil.

Persiapan peralatan sebelum pengujian dimulai dengan pemeriksaan sistem pengukur tekanan air pori, terutama untuk mencegah adanya gelembung udara dan kebocoran dalam sistem yang dapat mengganggu aliran air dan penjenuhan spesimen. Prosedur pemeriksaan digambarkan dalam sketsa di gambar 4 .



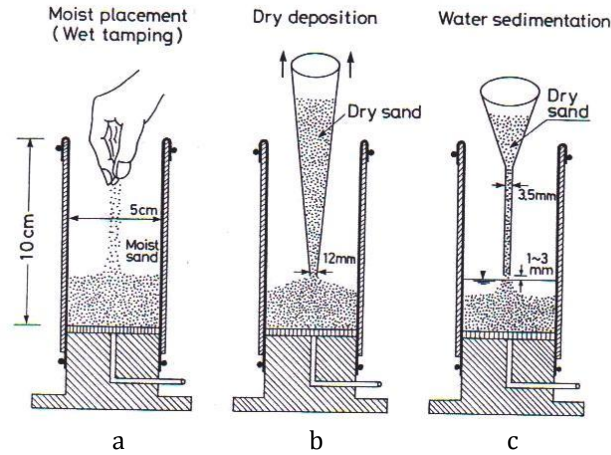
Gambar 4 Pembilasan Selang Air (Sumber K.H. Head)

Metode Penyiapan dan Bahan Sampel

Tanah pasir yang mempunyai sifat lepas atau semi lepas tidak dapat diambil secara *“undisturbed”*, sehingga semua sampel disiapkan secara rekonstitusif. Tiga macam cara yang umumnya dilakukan untuk rekonstitusi sampel, yaitu metode penempatan secara lembab (*wet tamping*) dengan menentukan kepadatan relatif yang diinginkan terlebih dahulu, kedua adalah metode deposisi kering, sampel pasir dituang secara langsung pada *mold* yang dipasang di atas pelat dasar Triaxial, kepadatan relatif sulit ditentukan sehingga parameter yang digunakan biasanya adalah *void*

ratio setelah pengujian. Cara yang ketiga adalah metode sedimentasi dalam air, biasanya cara ini digunakan untuk sampel yang diperoleh dari tempat yang secara kontinyu terendam air, seperti

tepi sungai atau lembah yang tergenang. Sketsa ketiga metode ini dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini :



Gambar 5 Metode Penyiapan Sampel Rekonstitusi, a. Metode Penempatan secara Lembab, b. Metode Deposisi Kering, c. Metode Sedimentasi dalam Air

Untuk menjaga homogenitas di sepanjang sampel, dalam kajian ini dipilih metode penempatan secara lembab karena dari analisa saring yang dilakukan, diketahui jenis tanah beragam, lempung, lempung, silt dan pasir. Sampel bukan merupakan pasir bersih (*clean sand*).

Pasir sampel kering oven dibagi menjadi lima atau enam bagian yang mempunyai berat sama, dicampur dengan air, pada kadar air kira-kira 5%. Membran dipasang pada *mould* yang dapat dibuka, yang ditaruh di atas pedestal dasar (pelat bawah) dari peralatan uji.

Masing-masing bagian dari pasir yang agak lembab tersebut ditaburkan dengan jari sampai ketinggian 1/6 bagian tinggi sampel yang ditentukan. Pada setiap tahapan, pukul pelan dengan tamper agar kepadatan merata. Karena adanya efek kapilaritas antar partikel, pasir lembab ini dapat digolongkan sebagai struktur sangat lepas yang dapat mencapai *void ratio* maksimum sebagai pasir kering (seperti prosedur dalam metode uji ASTM atau JSSMFE).

Jumlah energi optimum untuk menyiapkan struktur awal sampel yang lepas harus ditentukan lebih dahulu. Jika energi *tamping* kecil, sampel akan sangat lepas sehingga kontraksi volume saat saturasi sangat besar dan reduksi diameter sampel cenderung menyebabkan kerut-kerut vertikal pada membran. Untuk menyiapkan sampel yang paling lepas dengan metode ini Ishihara (1996) menyarankan energi *tamping* disesuaikan sehingga kontraksi volume saat saturasi kurang lebih sekitar 5% (2mm). Jika sampel yang lebih padat yang akan disiapkan, jumlah *tamping* untuk kompaksi ditambah pada setiap tahap taburan sampel. Dengan prosedur ini "*state of sand*" dengan setiap kombinasi *void ratio* dan tegangan keliling dapat dihasilkan dengan menerapkan energi kompaksi saat *tamping* yang berbeda. Sampel yang di dapat bisa sangat lepas dan kontraktif tinggi atau *dilative* pada pembebanan berikutnya, tergantung pada *void ratio* pada saat penyiapan sampel.



Gambar 6 Penyiapan Sampel, Metode Penempatan secara Lembab

Pengujian

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh parameter tegangan total dan efektif, serta regangan dari sampel, prosedur uji mengikuti metode uji dari ASTM D 4767-02, "Test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils". Pengujian dibagi dalam tiga fase yaitu fase saturasi, fase konsolidasi dan fase penggeseran. Sebelum fase pengujian dimulai, sesudah membran sampel ditutup, *top cap* dipasang, dipasang *vacuum* 20–50 kPa selama kurang lebih 2 jam (gambar 5), prosedur ini dimaksudkan untuk menghilangkan/mengurangi udara yang terperangkap dalam spesimen, kemudian air tanpa udara dialirkan. Saturasi dilakukan dengan memberikan tekanan awal sel, tekanan air pori dicatat, kemudian diberikan tekanan balik (*back pressure*) yang diatur 0,1 kg/cm² lebih kecil dari tekanan sel (ASTM D 4767-02), tekanan air pori dicatat, fase ini dilakukan

terus bergantian sehingga di dapat nilai koefisien tekanan pori = $B \geq 0.90$ melalui perubahan volume sel. Selama proses saturasi, reduksi volume akan terjadi seiring dengan runtuhnya struktur awal sampel. *Void ratio* terukur setelah saturasi diambil sebagai *void ratio* awal dari sampel. Proses sebelum dan sesudah saturasi sangat penting mengingat struktur celah intra partikel spesimen yang besar.

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_{cell}} = \frac{U_n - U_{(n-1)}}{\sigma_{cell(n)} - \sigma_{cell(n-1)}}$$

Keterangan :

- B : koefisien tekanan air pori
- Δu : peningkatan tekanan air pori akibat peningkatan tekanan sel
- $\Delta \sigma_{cell}$: peningkatan tekanan sel



a



b

Vacuum set

Gambar 7 Pelaksanaan *Vacuum* pada Spesimen, a. Spesimen yang Sedang di *Vacuum*, b. Alat *Vacuum* dengan Kapasitas 100kPa

Setelah tersaturasi, spesimen dikonsolidasikan dibawah tegangan sel (p) yang dikehendaki, σ_1 , σ_2 dan σ_3 sama. Meskipun pasir mempunyai permeabilitas tinggi, fase konsolidasi ini terkadang berjalan lambat, waktu konsolidasi tidak sama antara satu dan lain spesimen. Tekanan sel yang diberikan pada fase konsolidasi dimulai dengan penentuan tekanan efektif sel (σ'_3) yang dikehendaki, tekanan sel adalah tekanan efektif ini ditambahkan tekanan balik terakhir pada fase saturasi. $\sigma_3 = \sigma'_3 + BP$ besarnya perubahan pada buret BP dan tekanan air pori dicatat per interval waktu $t = 0,1,4,9,16,25,36,49,64,81,100,121,144$ menit dan 24 jam, fase ini dianggap selesai setelah disipasi minimal sudah tercapai 90% atau pembacaan tekanan air pori sama dengan tekanan balik. Plot hasil bacaan konsolidasi (\sqrt{t} vs selisih nilai BP) ini digunakan untuk menentukan kecepatan penggeseran.

$$\text{Kecepatan kompresi} = \frac{\epsilon_f \times H}{100 \times 1,8 \times t_{100}} \text{ mm/menit}$$

Keterangan :

- ϵ_f : regangan runtuh perkiraan (18%, KH Head, Vol 3, bab 13)
- H : tinggi spesimen
- t_{100} : waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 100% (menit)

Pada fase penggeseran, semua pengujian dilakukan dalam kondisi " tidak teralir". Tekanan keliling (*cell*) diukur dan dipertahankan. Pengujian ini dilakukan dengan mengontrol regangan, sesuai dengan ASTM D4767, tingkat regangan ditentukan berdasarkan tingkat konsolidasi spesimen.

DISKUSI DAN ANALISIS HASIL UJI

Hasil uji dipresentasikan dalam diagram grafik pada gambar 8 sampai dengan 17, gambar 8,9,10 menunjukkan grafik analisa saring butir tanah, tanah Srandakan Sr_{1-17} ; Sr_{2-17} ; Sr_{3-17} mempunyai kadar pasir 73,7% dan kadar butiran halus 26,3% ; tanah Gantiwarno Gt_1 ; Gt_2 ; Gt_3 ; Gt_4 mempunyai kadar pasir 70,7 dan kadar butiran halus 27,3%,

sedangkan tanah Srandakan Sr₁₋₄; Sr₂₋₄; Sr₃₋₄; Sr₄₋₄ mengandung pasir 87,1% dengan kadar butiran halus 12,9%. Jika ketiga jenis tanah ini di plotkan pada grafik Tsuchida 1970 (gambar 11) tanah tersebut termasuk dalam daerah sangat berpotensi mencair ketika mengalami penggeseran. Kenyataan di lapangan menunjukkan kondisi tinggi muka air tanah di daerah Srandakan berkisar antara 2,0 – 3,0 m dan di daerah Gantiwarno antara 1,0 – 2,0m, atau dengan kata lain tanah kepasiran tersebut ada dalam kondisi jenuh air, tanah berkarakteristik kepasiran dan jenuh, berpotensi mencair jika ada gaya geser yang bekerja padanya, jadi dapat dikatakan sampel tanah kepasiran yang diambil dari kedua daerah tersebut rentan terhadap tegangan geser. Asumsi kemungkinan peningkatan ketahanan geser karena adanya peningkatan sifat kohesif tanah dengan adanya sejumlah butiran halus di dasarkan pada persamaan Coulomb's sebagai berikut :

$$\tau_f = \sigma \tan \phi + c$$

Keterangan :

τ_f : kuat geser

σ : tegangan yang diberikan

ϕ : sudut geser

C : kohesi

ϕ dan c adalah parameter geser tanah.

Jika sudut geser atau kohesi bertambah kemungkinan kuat geser juga akan meningkat.

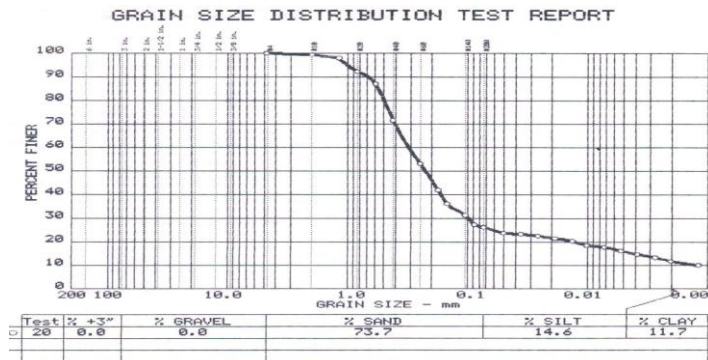
Sudut geser dalam dan kohesi yang diperoleh dari pengujian Triaxial diilustrasikan gambar 12, 14,16, untuk Sr₁₋₁₇; Sr₂₋₁₇; Sr₃₋₁₇, $\phi = 28,9^\circ$ dan sudut geser efektifnya $\phi = 34,7^\circ$; dengan kohesi c = 7 kPa dan c' = 3kPa; untuk Gt₁; Gt₂; Gt₃; Gt₄, $\phi = 36,7^\circ$ dan $\phi' = 37,3^\circ$ serta c = 8 dan c' = 5; untuk Sr₁₋₄; Sr₂₋₄; Sr₃₋₄; Sr₄₋₄, $\phi = 25,1^\circ$ dan $\phi' = 31,3^\circ$ serta c = 1 dan c' = 0. Tegangan puncak atau tegangan runtuh yang ditandai dengan tepat pada titik menurunnya tegangan aksial (perbedaan antara *major* dan *minor principal stress*) dengan berjalannya terus regangan axial diilustrasikan dalam grafik *stress path* pada gambar 13, 15 dan 17. Hasil uji kuat geser yang dikombinasikan dengan hasil analisa saring di tabelkan pada tabel 3.

Tabel 2 Program Pengujian

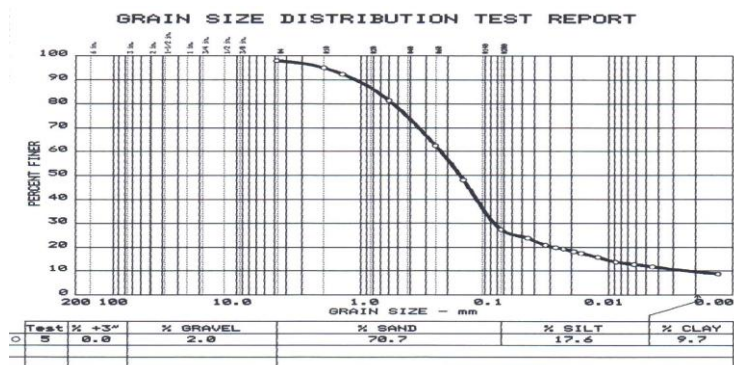
Kode Sampel (Wet Tamping)	Kepadatan Relatif (%)	Tekanan Efektif Cell (kPa)
Sr 1-17	60	30
Sr 2-17	60	60
Sr 3-17	60	120
Gt 1	60	30
Gt 2	60	60
Gt 3	60	120
Gt 4	60	200
Sr 1-4	60	30
Sr 2-4	60	60
Sr 3-4	60	120
Sr 4-4	60	200

Keterangan :

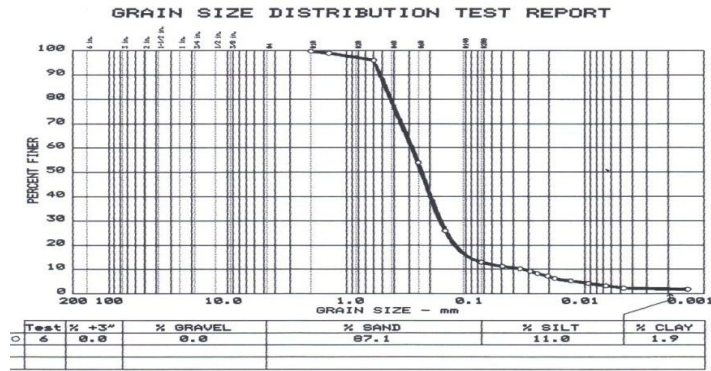
Sr₁₋₁₇; Sr₂₋₁₇; Sr₃₋₁₇ tanah Srandakan, kedalaman 17.00-18.50 m
 Gt₁; Gt₂; Gt₃; Gt₄ tanah Gantiwarno kedalaman 2.00-2.50 m
 Sr₁₋₄; Sr₂₋₄; Sr₃₋₄; Sr₄₋₄ tanah Srandakan, kedalaman 1.10-4.00 m.



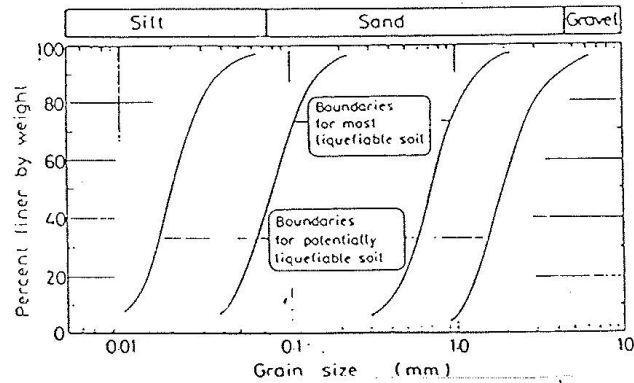
Gambar 8 Hasil Uji Analisa Saring Pasir Srandakan, Sr₁₋₁₇; Sr₂₋₁₇; Sr₃₋₁₇



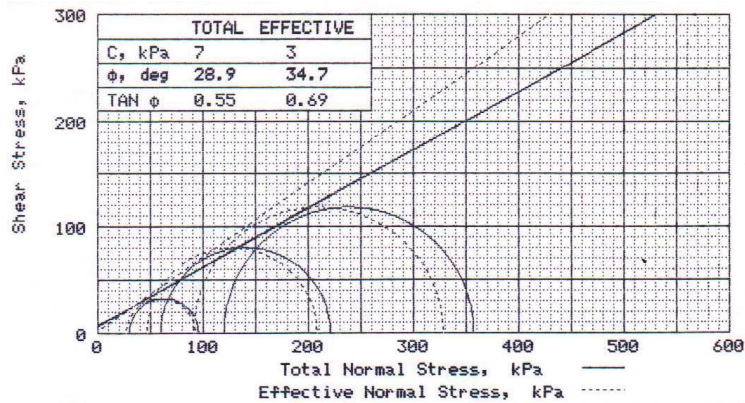
Gambar 9 Hasil Uji Analisa Saring Pasir Gantiwarno, Gt₁; Gt₂; Gt₃; Gt₄



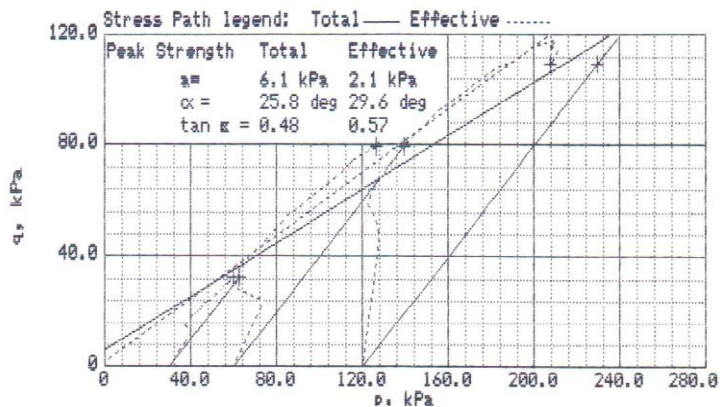
Gambar 10 Hasil Uji Analisa Saring Tanah Pasir Srandakan, Sr 1-4; Sr 2-4 ; Sr 3-4 ; Sr 4-4



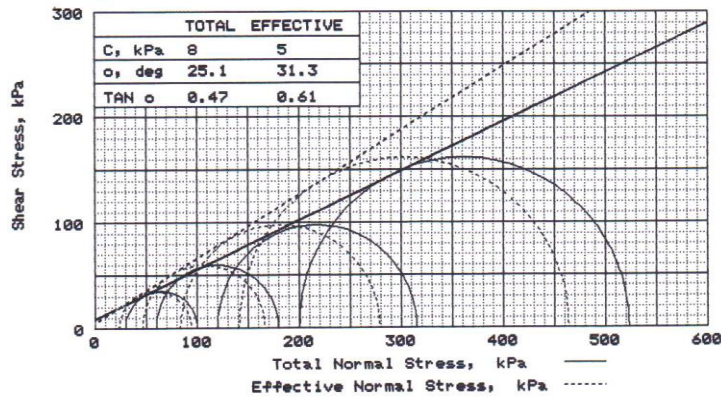
Gambar 11 Grafik Potensi Pencairan Tanah Berdasarkan Analisa Saring Tsuchida, 1970



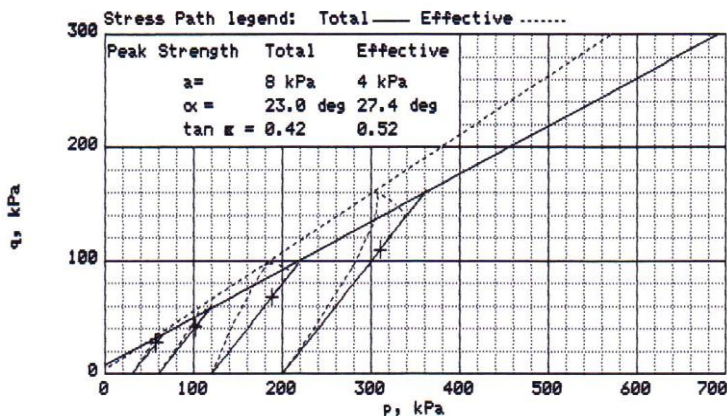
Gambar 12 Lingkaran Mohr Tegangan Tanah Srandakan, Sr 1-17 ; Sr 2-17 ; Sr 3-17



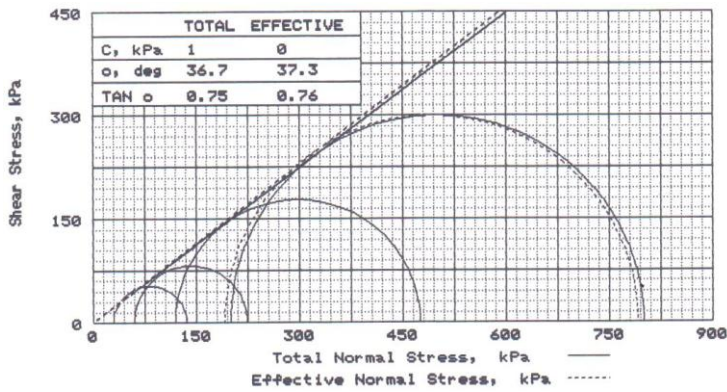
Gambar 13 Stress Path Hasil Uji Triaxial CU, Tanah Srandakan, Sr 1-17; Sr 2-17; Sr 3-17



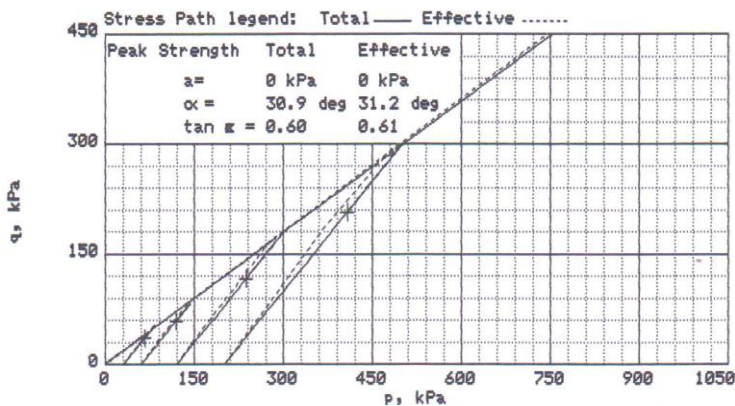
Gambar 14 Lingkaran Mohr Tegangan Tanah Gantiwarno, Gt₁; Gt₂; Gt₃; Gt₄



Gambar 15 Stress Path Hasil Uji Triaxial CU, Tanah Gantiwarno, Gt₁; Gt₂; Gt₃; Gt₄



Gambar 16 Lingkaran Mohr Tegangan Tanah Srandakan, Sr₁₋₄; Sr₂₋₄; Sr₃₋₄; Sr₄₋₄



Gambar 17 Stress Path Hasil Uji Triaxial CU, Tanah Srandakan, Sr₁₋₄; Sr₂₋₄; Sr₃₋₄; Sr₄₋₄

Tabel 3 Hasil Uji Triaxial CU vs Analisa Saring

Tegangan Keliling Efektif (kPa)	Mean Grain Size D50 (mm)	Cc	Cu	Sudut Geser ($^{\circ}$)		Kadar Kehalusan Butir (%)	Failure Stress (kPa)
				Total (\emptyset)	Efektif (\emptyset')		
Sampel I							
Sr ₁₋₁₇ = 30	0,23	77,45	775	28,9	34,7	26,3	66
Sr ₂₋₁₇ = 60	0,23	77,45	775	28,9	34,7	26,3	140
Sr ₃₋₁₇ = 120	0,23	77,45	775	28,9	34,7	26,3	237
Sampel II							
Gt ₁ = 30	0,16	14,13	102,3	25,1	31,3	27,3	70
Gt ₂ = 60	0,16	14,13	102,3	25,1	31,3	27,3	120
Gt ₃ = 120	0,16	14,13	102,3	25,1	31,3	27,3	195
Gt ₄ = 200	0,16	14,13	102,3	25,1	31,3	27,3	324
Sampel III							
Sr ₁₋₄ = 30	0,23	2,98	8,7	36,7	37,3	12,9	106
Sr ₂₋₄ = 60	0,23	2,98	8,7	36,7	37,3	12,9	165
Sr ₃₋₄ = 120	0,23	2,98	8,7	36,7	37,3	12,9	356
Sr ₄₋₄ = 200	0,23	2,98	8,7	36,7	37,3	12,9	600

Keterangan :

Cc : koefisien kelengkungan $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$ Cu : koefisien keseragaman $Cu = D_{60} / D_{10}$ Tanah tergradasi baik jika : $1 < Cc < 3$

Cu > 6

Dengan tegangan keliling efektif yang sama, kenaikan kadar kehalusan butir pada pasir vulkanik tidak meningkatkan tegangan runtuh dan sudut geser, dibawah tegangan keliling 30 kPa, dengan kadar kehalusan 26,3%, tanah pasir Sr₁₋₁₇ mencapai sudut geser total \emptyset : 28,9 $^{\circ}$, dan tegangan maksimum 66 kPa, sedangkan tanah pasir Gt₁ yang mempunyai kadar kehalusan butir 27,3%, sudut geser total \emptyset : 25,1 $^{\circ}$, tegangan maksimum 70 kPa, tetapi tanah Sr₁₋₄ dengan kadar kehalusan butir yang hanya 12,9 % mampu mencapai tegangan maksimum 106 kPa dengan sudut geser total 36,7 $^{\circ}$. Hal tersebut terjadi pula pada sampel yang dibebani tegangan keliling efektif 60 kPa, 120 kPa, dan 200 kPa, sampel Sr₁₋₄, Sr₂₋₄, Sr₃₋₄, dan Sr₄₋₄ mempunyai kadar kehalusan butir yang paling rendah, tetapi dapat mencapai tegangan maksimum atau tegangan runtuh paling tinggi. Beberapa kemungkinan yang dapat di nyatakan pada masalah ini adalah karena faktor plastisitas tanah (*index plasticity*), keberadaan air mempengaruhi tingkat perilaku kritis tanah, kadar air yang membuat tanah masih dalam kondisi plastis membuat tanah tersebut mempunyai kuat geser lebih besar dari pada sejumlah kadar air yang membuat tanah berada dalam kondisi *liquid*. Gradasi yang baik ternyata juga sangat mempengaruhi kenaikan kuat geser tanah. Hal lain yang dapat mempengaruhi hasil uji kuat geser ini adalah juga proses penyiapan sampel, perbedaan tinggi jatuh alat pemadat menyebabkan perbedaan energi yang dipindahkan sehingga terjadi

perbedaan kepadatan sampel yang tentunya mempengaruhi kuat geser tanah, tanah yang lebih padat akan mempunyai kuat geser lebih tinggi.

KESIMPULAN

Kajian kuat geser pasir vulkanik menunjukkan bahwa pasir ini mempunyai karakteristik sama dengan pasir alluvial yang dilakukan oleh Brandon, Th.L.; Clough, G.W.; Rahardjo, P.P., bahwa kenaikan kadar kehalusan butir tidak mempengaruhi kenaikan kuat gesernya, tetapi ternyata kuat geser ini dipengaruhi oleh adanya gradasi yang baik (tanah Sr₁₋₄; Sr₂₋₄; Sr₃₋₄; Sr₄₋₄).

Adanya beberapa hasil yang berbeda, menunjukkan bahwa adanya butiran halus dalam tanah pasir, baik itu pasir vulkanik atau alluvial (endapan) belum dapat disimpulkan akan meningkatkan ketahanan geser statis maupun siklik. Beberapa faktor lain harus ditinjau, seperti adanya perbedaan plastisitas tanah atau perbedaan riwayat pada tanah yang mengandung butiran halus (tanah yang pernah terkonsolidasi mempunyai kuat geser yang lebih tinggi).

Penarikan kesimpulan secara umum apakah keberadaan butiran halus dalam pasir vulkanik meningkatkan gaya geser tanah, memerlukan lebih banyak pengujian, dengan menggunakan sistem dan penyiapan sampel yang beragam dengan kepadatan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Brandon, Th.L., Clough, G.W., Rahardjo, P.P., 1990, *"Evaluation of Liquefaction Potential of Silty Sands Based on Cone Penetration Resistance"*, National Science Foundation, Virginia Tech Blackburg.
- Chang, N.Y. et al, 1982, *"Liquefaction Potential of Clean and Silty Sands"*, Proceedings of the 3rd International Earthquake Microzonation Conference, Vol. II, 1017-1032.
- Head, K.H., 1985, *"Manual of Soil Laboratory Testing"*, ELE International Limited, 1986.
- Herina, S.F., 2009, *"Evaluasi Potensi Liquifaksi Pasir Vulkanik"*, Studi Independen, Pasca Sarjana Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Ishihara, K., 1996, *"Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics"* Oxford University Press Inc, New York.