



PENGARUH BENTUK DAN CAMPURAN BUTIRAN PASIR TERHADAP PERILAKU KUAT GESERNYA

Yoyon Kurniawan¹⁾, Muhamad Yusa²⁾, Ferry Fatnanta²⁾

¹⁾Mahasiswa S2 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
 Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : yoyon.kurniawan@grad.unri.ac.id;

m.yusa@eng.unri.ac.id;

ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id

INFO ARTIKEL

Histori artikel:

Diajukan 11 Oktober 2020

Diterima dalam bentuk revisi 26

Oktober 2020

Diterima ... Oktober 2020

Tersedia Online 11 Januari 2020

ABSTRAK

Campuran dan bentuk butiran pasir, merupakan sebagian faktor yang mempengaruhi sifat teknis pasir yaitu kuat geser, dan hal ini perlu diperhatikan supaya pengaruhnya dapat dimaksimalkan untuk konstruksi yang berhubungan dengan pasir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui cara menganalisis bentuk butiran pasir dan menganalisa perilaku sudut geser (ϕ) akibat pengaruh campuran dan bentuk butiran. Pengujian dilakukan dengan membuat variasi bentuk campuran pasir, dalam 5 variasi dengan kerapatan relatif sebesar 70% dan 20%, yang tertahan pada saringan No. 20. Bentuk butiran pasir terdiri dari 2 bentuk, yaitu kelompok butiran bersudut (*angular*) dan bulat (*rounded*), yang dibedakan berdasarkan nilai *roundness* (R), *sphericity* (S) dan *regularity* (ρ), yang diproses menggunakan *imageJ*. Hasil penelitian menunjukkan, analisa bentuk butiran pasir menggunakan *imageJ*, diperoleh tingkatan bentuk butiran dari kedua pasir, yaitu semi bersudut (*sub-angular*) dan semi bulat (*sub-rounded*). Perbandingan sudut geser bentuk pasir *sub-angular* lebih besar dari pada *sub-rounded*, hal ini disebabkan pasir berbentuk sudut saling mengikat satu sama yang lain yang disebut dengan *interlocking* sehingga sudut gesernya lebih besar. Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi campuran bentuk butiran pasir yang dikombinasikan dengan kerapatan relative (D_r) yang sama 20%, terlihat ada perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) di antara ketiga variasi bentuk campuran pasir, yaitu variasi *sub-angular* 75% ditambah *sub-rounded* 25%, lebih tinggi dari sampel *sub-angular* 50% ditambah *sub-rounded* 50% dan *sub-angular* 25% ditambah *sub-rounded* 75% yaitu sebesar $44,59^\circ$. Hal ini disebabkan karena variasi *sub-angular* 75% ditambah *sub-rounded* 25% pada bidang gesernya didominasi oleh fraksi butiran *sub-angular*. Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi campuran bentuk butiran pasir yang dikombinasikan dengan kerapatan relative (D_r) yang sama yaitu 70%, terlihat ada perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) di antara ketiga variasi bentuk campuran pasir, yaitu variasi *sub-angular* 25% ditambah *sub-rounded* 75%, lebih tinggi dari sampel *sub-angular* 50% ditambah *sub-rounded* 50% dan *sub-angular* 75% ditambah *sub-rounded* 25% yaitu sebesar $40,95^\circ$. Hal ini disebabkan karena variasi *sub-angular* 25% ditambah *sub-rounded* 75% pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *sub-Angular*.

Kata kunci: Bentuk butiran; campuran pasir; *imageJ*; pasir; *roundness* (R); *regularity* (ρ); *sphericity* (S); sudut geser (ϕ).

The mixture and the shape of the sand grains are some of the factors that influence the technical properties of sand, namely the shear strength, and this needs to be considered so that the effect can be maximized for construction related to sand. The purpose of this study was to determine how to analyze the shape of the sand grains and to analyze the behavior of the shear angle (ϕ) due to the influence of the mixture and grain shape. The test was carried out by varying the form of the sand mixture, in 5 variations with a relative density of 70% and 20%, which was held in the filter No. 20. The form of sand grains consists of 2 forms, namely groups of grains that are angular (angular) and rounded (rounded), which are distinguished by the value of roundness (R), sphericity (S) and regularity (ρ), which are processed using imageJ. The results showed, analysis of the grains of sand using imageJ, obtained levels of grain shape of the two sands, namely semi-angular (sub-angular) and semi-rounded (sub-rounded). The ratio of the shear angle of sub-angular sand is greater than that of sub-rounded, this is because angular sand binds to one another which is called interlocking so that the shear angle is greater. The results of the comparison of the shear angle (ϕ) between the variations in the mixed form of sand grains combined with the same relative density (D_r) of 20%, it can be seen that there is a difference in the behavior of the shear angle (ϕ) between the three variations of the sand mixture, namely sub-angular variations of 75 % plus sub-rounded 25%, which is higher than sub-angular sample 50% plus sub-rounded 50% and sub-angular 25% plus sub-rounded 75% which is 44.59° . This is because the sub-angular variation of 75% plus sub-rounded 25% in the shear plane is dominated by the sub-angular grain fraction. The results of the comparison of the shear angle (ϕ) between the variations in the mixed form of sand grains combined with the same relative density (D_r), namely 70%, it can be seen that there is a difference in the behavior of the shear angle (ϕ) between the three variations of the sand mixture, namely sub-angular variations. 25% plus sub-rounded 75%, which is higher than sub-angular 50% plus sub-rounded 50% and sub-angular 75% plus sub-rounded 25%, which is 40.95 sebesar. This is because the sub-angular variation of 25% plus sub-rounded 75% in the shear plane is dominated by the sub-angular grain shape.

Keywords: Granular shape; imageJ; roundness (R); regularity (ρ); sphericity (S); shear angle (ϕ); sand mix; sand.

A. PENDAHULUAN

Keamanan atau kenyamanan struktur yang berdiri di atas tanah tergantung pada kekuatan tanah dibawahnya. Jika tanah runtuh, maka struktur tersebut akan runtuh yang merenggut korban dan kerugian ekonomi. Kekuatan tanah yang dimaksud adalah kekuatan geser tanah (*shear strength*). Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa tanah tersebut. Pemahaman terhadap proses dari perlawanan geser sangat diperlukan untuk analisis stabilitas tanah seperti kuat dukung, stabilitas lereng, tekanan tanah lateral pada struktur penahan tanah. Keruntuhan dalam suatu bahan dapat terjadi akibat kombinasi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser, bukan salah satu dari tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum. Hubungan antara kedua tegangan tersebut dapat dirumuskan pada persamaan berikut :

$$\tau_f = f(\sigma) \dots \dots \dots (1)$$

Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi (c) dan gesekan antar butir-butir tanah (ϕ).

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (2)$$

Pasir adalah kelompok tanah berbutir kasar yang bersifat lepas dan mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik, yang mana sifat teknis ini sangat dipengaruhi oleh parameter kuat geser pasir tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser pasir adalah ukuran butiran, air yang terdapat di antara butiran, kekasaran permukaan butiran, kerapatan relatif (D_r), angka pori (e), gradasi dan bentuk butiran.

Pada tanah berbutir kasar (pasir) merupakan jenis tanah non kohesif atau tidak memiliki kohesi (c) yang mana memiliki sifat antar butiran lepas. Menurut penelitian Santamarina, J.C. dan Cho, G.C. (2004), tingkat kekuatan butiran pasir ditentukan berdasarkan : bentuk, ukuran, tekstur, susunan, dan struktur partikel pasir . Bentuk butiran pasir, salah satu faktor yang mempengaruhi kuat geser pasir.

Semakin bersudut pinggiran butiran pasir, semakin besar sudut geser (ϕ) yang dihasilkan. Bentuk butiran pasir alami terbagi atas enam tingkatan bentuk, yaitu sangat menyudut (*very angular*), menyudut (*angular*), menyudut tanggung (*sub-angular*), membulat tanggung (*sub-rounded*), membulat (*rounded*) dan sangat membulat (*well rounded*). Bentuk butiran pasir tersebut, akan memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada nilai sudut geser (ϕ) yang dihasilkan. Sukumaran dan Ashmawy (2001) menganalisa karakter kuantitatif dari geometri butiran, menunjukkan geometri butiran yang cenderung bersudut, mempunyai angka pori maksimum dan minimum (e_{max} dan e_{min}) dan sudut geser (ϕ) yang tinggi, dibandingkan dengan butiran yang cenderung bulat. Hal yang sama juga diperoleh Cho dkk (2004) yang menganalisa pengaruh bentuk partikel pasir alami dan pasir batu pecah terhadap kepadatan, kekakuan dan kekuatan geser, bahwa bentuk partikel pasir dengan bentuk cenderung bersudut, mempunyai angka pori (e_{max} dan e_{min}) dan sudut geser kritis (ϕ_{cs}) yang lebih tinggi dari pasir dengan bentuk cenderung bulat, akan tetapi partikel pasir dengan bentuk cenderung bulat, mempunyai kekakuan yang lebih rendah dari pasir dengan bentuk cenderung bersudut.

Dengan adanya pengaruh berdasarkan bentuk pasir terhadap kekuatan gesernya oleh sebab itu perlu kiranya dianalisis kembali pengaruh bentuk dan campuran butiran pasir berdasarkan persentase fraksi butiran dengan bentuk butiran pasir yang digunakan, yaitu kelompok butiran yang bersudut dan bulat.

A.1 Perumusan Masalah

Pada umumnya penelitian tanah butiran kasar (pasir) hanya mengkaji tentang kekakuan dan kekuatan pasir pada kondisi padat dan lepas yang dimanifestasikan dengan gradasi tidak seragam (gradasi baik) dan gradasi seragam (tidak padat). Oleh karena itu pada penelitian kali ini dicoba untuk melihat perilaku sudut geser (ϕ) pasir, yang dipengaruhi oleh berbagai variasi campuran bentuk pasir yang dibagi berdasarkan persentase fraksi butiran, dan bentuk butiran yang terbagi atas dua bentuk, yaitu kelompok butiran yang bersudut dan bulat.

A.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini :

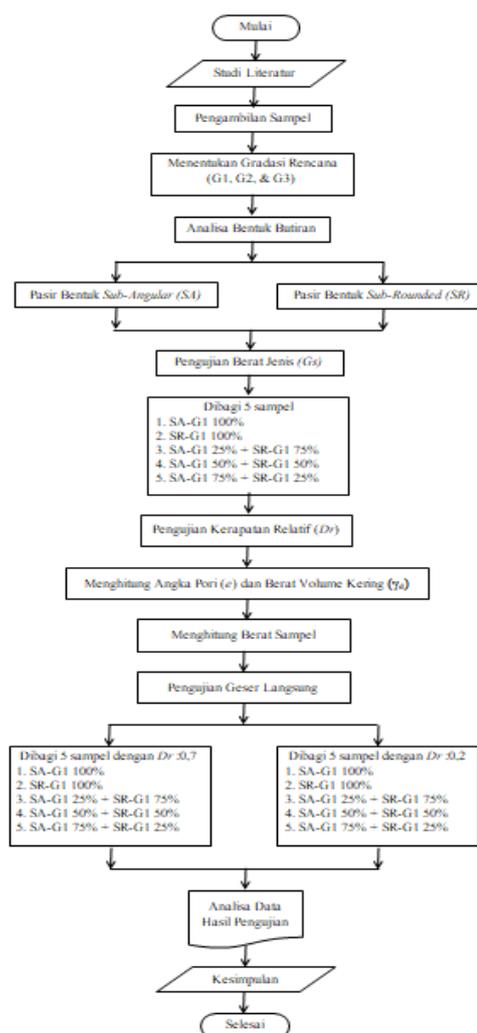
1. Menganalisa bentuk butiran pasir berdasarkan parameter morfologi butiran.
2. Menganalisa pengaruh persentase campuran bentuk fraksi butiran terhadap perilaku sudut geser (ϕ) pasir.
3. Menganalisa pengaruh bentuk butiran terhadap perilaku sudut geser (ϕ) pasir.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1 Umum

Metodologi penelitian berisi langkah-langkah jalannya penelitian yang berawal dari studi literatur, persiapan sampel di lokasi penelitian, persiapan alat dan bahan, penginstalan alat pengujian serta analisa data.

B.2 Bagan Alir Pengujian



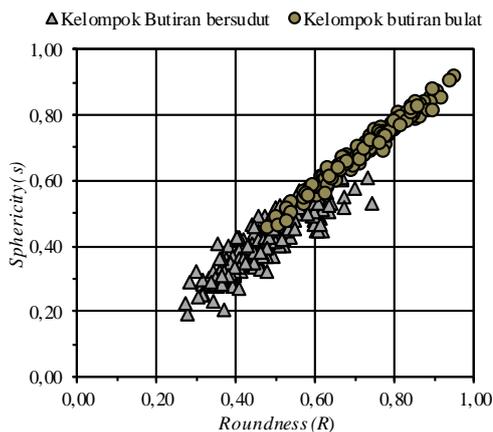
Gambar 1. Bagan Alir Pengujian.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1 Hasil Analisis Bentuk Butiran

Hasil dari analisis parameter bentuk butiran yang berjumlah 200 butiran dari setiap kelompok pasir, yaitu nilai parameter *roundness* (R) dan

sphericity (S) yang diperoleh dari *ImageJ*, diplot ke dalam grafik estimasi bentuk butirannya seperti yang terlihat pada Gambar 2.



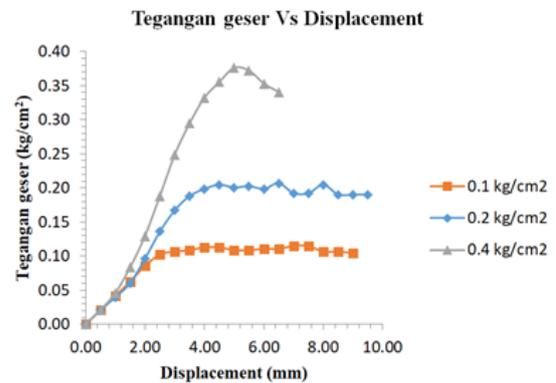
Gambar 2. Distribusi Estimasi Bentuk Butiran.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa distribusi dari estimasi bentuk butiran kelompok pasir butiran bersudut, lebih condong ke arah nilai *roundness* (R) dan *sphericity* (S) yang rendah, yang artinya estimasi bentuk butiran pasir tersebut, cenderung mempunyai bentuk butiran yang lonjong dengan pinggiran tajam atau menyudut. Sebaliknya, distribusi dari estimasi bentuk butiran kelompok pasir butiran bulat, lebih condong ke arah nilai *roundness* (R) dan *sphericity* (S) yang tinggi, yang artinya estimasi bentuk butiran pasir tersebut, cenderung mempunyai bentuk butiran seperti bola dengan pinggiran yang melengkung.

Kelompok pasir butiran bersudut, mempunyai nilai rata-rata *roundness* (R) dan *sphericity* (S), yaitu sebesar 0,47 dan 0,41. Dari nilai tersebut, diperoleh nilai *regularity* (ρ) sebesar 0,44. Kelompok pasir butiran bulat, mempunyai nilai rata-rata *roundness* (R) dan *sphericity* (S), yaitu sebesar 0,66 dan 0,72. Dari nilai tersebut, diperoleh nilai *regularity* (ρ) sebesar 0,69. Berdasarkan nilai parameter *regularity* (ρ) dari kedua pasir, maka tingkatan bentuk butiran dari kelompok pasir butiran bersudut adalah *sub-angular*, dan kelompok pasir butiran bulat adalah *sub-rounded*.

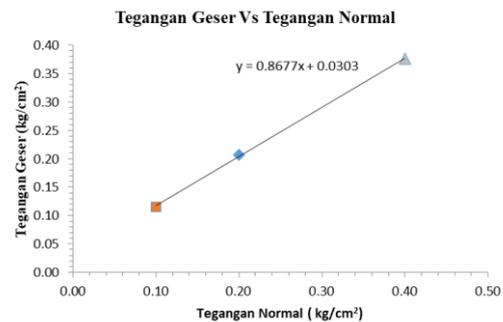
C.2 Hasil Pengujian Geser Langsung

Hasil grafik pengujian geser langsung yang ditampilkan hanya contoh sampel dari sub-angular 25% ditambah sub-rounded 75% dengan $Dr = 70\%$, yaitu pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Hubungan Tegangan Geser (τ) dan Pergeseran (ΔL).

Berdasarkan Gambar 3, diperoleh nilai tegangan geser maksimum (τ) dari setiap beban normal (σ) yang berbeda-beda, kemudian dari grafik tersebut, dibuat hubungan dari keduanya, yang mana tegangan geser (τ) adalah fungsi dari tegangan normal (σ) seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Tegangan Geser (τ) dan Tegangan Normal (σ).

Berdasarkan Gambar 4, diperoleh parameter kuat geser berdasarkan gradien persamaan regresi linear yang diperoleh dari grafik hubungan tegangan geser (τ) dengan tegangan normal (σ), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\text{Sudut geser } (\phi) = \tan^{-1}(0,868) = 40,95^{\circ}$$

$$\text{Kohesi } (c) = 0,030 \text{ Kg/cm}^2$$

Dengan cara yang sama, parameter kuat geser untuk pengujian sampel yang lain dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kuat Geser dari Uji Geser Langsung Kerapatan Relatif 70%

Sampel	Kerapatan Relatif (Dr) (%)	Parameter kuat geser	
		ϕ ($^{\circ}$)	c (Kg/cm 2)
(SA) 100%	70	41,338	0,066
(SR) 100%	70	36,749	0,052

(SA 25% + SR 75%)	40,948	0,030
(SA 50% + SR 50%)	40,458	0,068
(SA 75% + SR 25%)	40,007	0,061

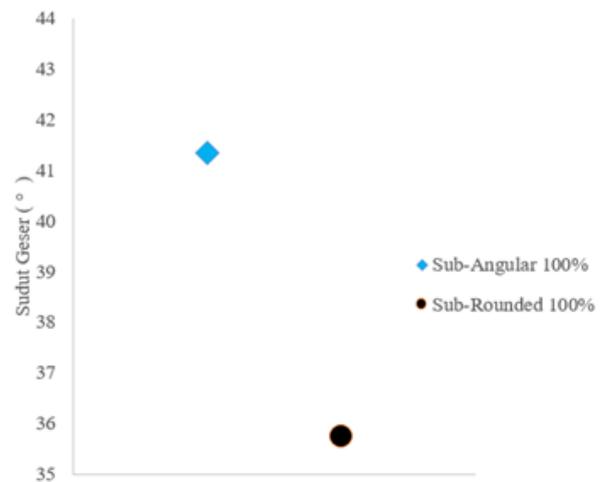
Tabel 2. Parameter Kuat Geser dari Uji Geser Langsung Kerapatan Relatif 20%.

Sampel	Kerapatan		
	Relatif (Dr)	Parameter kuat geser	
	(%)	ϕ ($^{\circ}$)	c (Kg/cm ²)
(SA) 100%	20	43,347	0,038
(SR) 100%	20	35,750	0,044
(SA 25% + SR 75%)	20	41,338	0,049
(SA 50% + SR 50%)	20	38,886	0,042
(SA 75% + SR 25%)	20	44,587	0,044

Dari pengujian geser langsung, diperoleh parameter kuat geser berupa sudut geser (ϕ) dan kohesi (c). Seharusnya parameter kuat geser yang dihasilkan hanya sudut geser (ϕ) saja, karena sampel pasir yang digunakan untuk pengujian berada dalam kondisi kering atau kadar air (w) adalah 0%, akan tetapi dari pengujian diperoleh kohesi (c). Untuk penelitian ini, munculnya kohesi (c) pada pengujian geser langsung, karena adanya kemungkinan fenomena *apparent mechanical force*. Hal ini bisa terjadi karena kondisi butiran saat berada di dalam kotak geser, saling mengunci satu sama lain (*interlocking* yang tinggi diantara butiran), dimana hal ini dapat memunculkan munculnya kohesi (c) semu.

C.3 Perbandingan Sudut Geser Antara Campuran Variasi Bentuk Pasir

Perbandingan sudut geser (ϕ) di antara campuran variasi bentuk pasir, dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Perbandingan Sudut Geser (ϕ) Antara Bentuk Pasir *Sub-angular* dan *Sub-rounded* dengan Kerapatan relative ($D_r = 20\%$).

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa sudut geser pasir (ϕ) dari sampel *Sub-Angular* (SA) 100%, lebih tinggi dari sampel *Sub-Rounded* (SR) 100% dengan kerapatan relative yang sama yaitu $D_r = 20\%$, sebesar $41,338^{\circ}$ dengan perbedaan 5,558%.

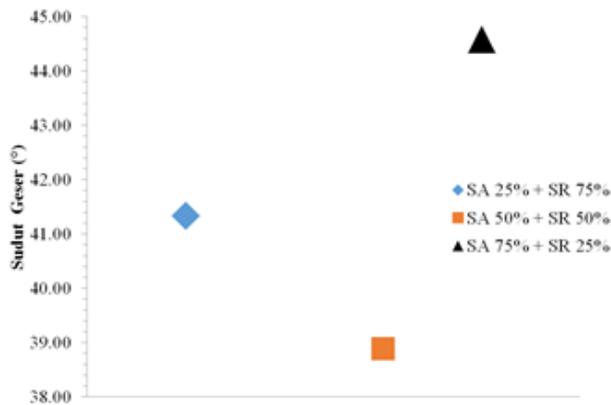


Gambar 6. Perbandingan Sudut Geser(ϕ) Antara Bentuk Pasir *Sub-angular* dan *Sub-rounded* dengan Kerapatan relative ($D_r = 70\%$)

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa sudut geser pasir (ϕ) dari sampel *Sub-Angular* (SA) 100%, lebih tinggi dari sampel *Sub-Rounded* (SR) 100% dengan kerapatan relative ($D_r = 70\%$) yang sama 70%, yaitu sebesar $43,347^{\circ}$ dengan perbedaan 6,598%.

Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara kedua bentuk butiran pasir, yaitu sudut geser (ϕ) yang dihasilkan oleh pasir bentuk *sub-angular* (SA) lebih tinggi dari pasir bentuk *sub-rounded* (SR) walaupun mempunyai kerapatan relatif (D_r) yang sama. Hal ini disebabkan karena bentuk butiran yang cenderung bersudut, mempunyai *interlocking* yang tinggi di

antara butirannya, sehingga tahanan geser yang dihasilkan akan tinggi, dibandingkan dengan bentuk butiran yang cenderung bulat. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian dari Sukumaran dan Ashmawy (2001) dan Cho dkk (2004) yang menyatakan, bahwa bentuk butiran yang bersudut, mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi dari bentuk butiran bulat.

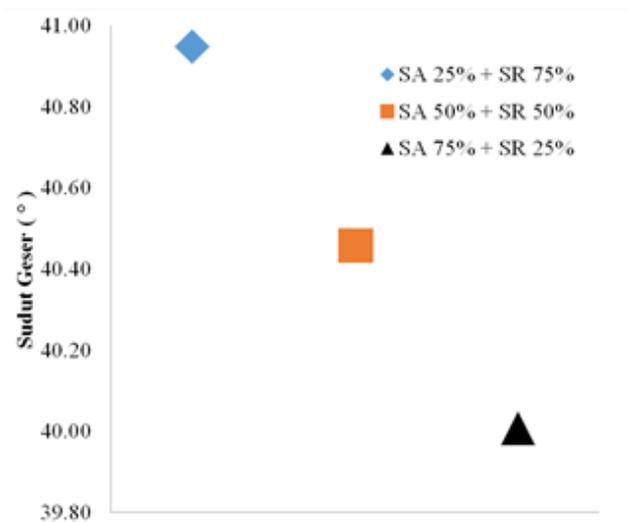


Gambar 7. Perbandingan Sudut Geser (ϕ) antara Campuran Variasi Bentuk Pasir *Sub-angular* dan *Sub-rounded* dengan Kerapatan relative ($D_r = 20\%$)

Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa sudut geser pasir (ϕ) dari sampel (SA 75% + SR 25%), lebih tinggi dari sampel (SA 50% + SR 50%) dan (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar 44,59°. Sampel (SA 25% + SR 75%) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 41,34° atau tertinggi kedua setelah sampel (SA 75% + SR 25%) dengan perbedaan 3,25%. Sampel (SA 50% + SR 50%) mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih rendah dari sampel (SA 75% + SR 25%) dan (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar 38,89° dengan perbedaan 5,7% dan 2,45%.

Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi campuran bentuk butiran pasir yang dikombinasikan dengan kerapatan relative (D_r) yang sama 20%, terlihat ada perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) di antara ketiga variasi bentuk campuran pasir, yaitu variasi (SA 75% + SR 25%), lebih tinggi dari sampel (SA 50% + SR 50%) dan (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar 44,59°. Hal ini disebabkan karena variasi (SA 75% + SR 25%) pada bidang gesernya didominasi oleh fraksi butiran *sub-Angular* (SA), karena bentuk butiran yang cenderung bersudut, mempunyai *interlocking* yang tinggi di antara butirannya, sehingga tahanan geser yang dihasilkan akan tinggi, dibandingkan dengan bentuk butiran yang cenderung bulat. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian dari Sukumaran dan Ashmawy (2001) dan Cho dkk (2004) yang menyatakan, bahwa bentuk butiran yang bersudut, mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi dari bentuk butiran bulat.

Sedangkan perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) sampel (SA 50% + SR 50%) lebih kecil dari sampel (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar 38,89° dengan perbedaan 2,45%, disebabkan pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *Sub-Rounded* (SR) atau bentuk bulat.



Gambar 8. Perbandingan Sudut Geser (ϕ) antara Campuran Variasi Bentuk Pasir *Sub-angular* dan *Sub-rounded* dengan Kerapatan Relative ($D_r = 70\%$)

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa sudut geser pasir (ϕ) dari sampel (SA 25% + SR 75%), lebih tinggi dari sampel (SA 50% + SR 50%) dan (SA 75% + SR 25%) yaitu sebesar 40,95°. Sampel (SA 50% + SR 50%) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 40,46° atau tertinggi kedua setelah sampel (SA 75% + SR 25%) dengan perbedaan 0,49%. Sampel (SA 75% + SR 25%) mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih rendah dari sampel (SA 25% + SR 75%) dan (SA 50% + SR 50%) yaitu sebesar 40,01° dengan perbedaan 0,94% dan 0,45%.

Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi campuran bentuk butiran pasir yang dikombinasikan dengan kerapatan relative (D_r) yang sama 70%, terlihat ada perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) di antara ketiga variasi bentuk campuran pasir, yaitu variasi (SA 75% + SR 25%), lebih kecil dari sampel (SA 50% + SR 50%) dan (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar 40,01°. Hal ini disebabkan karena variasi (SA 75% + SR 25%) pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *Sub-Rounded* (SR), karena bentuk butiran yang cenderung bulat, mempunyai *interlocking* yang kecil di antara butirannya, sehingga tahanan geser yang dihasilkan akan kecil, dibandingkan dengan bentuk butiran yang cenderung bersudut. Sedangkan perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) sampel (SA 25% + SR 75%) lebih

tinggi dari sampel (SA 50% + SR 50%) yaitu sebesar $40,95^0$ dengan perbedaan 0,49%, disebabkan pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *Sub-Angular (SA)* atau bentuk bersudut.

Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian, pengolahan dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis morfologi bentuk butiran pasir, yaitu kelompok pasir butiran bersudut mempunyai nilai rata-rata dari parameter *roundness (R)*, *sphericity (S)* dan *regularity (ρ)*, yaitu sebesar 0,47, 0,41, dan 0,44. Dari kelompok pasir butiran bulat, mempunyai nilai rata-rata dari parameter *roundness (R)*, *sphericity (S)* dan *regularity (ρ)*, yaitu sebesar 0,66, 0,72, dan 0,69. Berdasarkan nilai parameter tersebut, maka tingkatan bentuk butiran dari kelompok pasir butiran bersudut adalah *sub-angular*, dan kelompok pasir butiran bulat adalah *sub-rounded*.
2. Hasil Pengujian Geser Langsung Pasir Bentuk Campuran *Sub-angular (SA)* dengan *Sub-rounded (SR)* terdapat nilai kohesi (c). Dimana Tegangan normal (σ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus pada bidang gesernya. Jika tegangan normal (σ) bernilai nol, maka tegangan geser (τ) juga bernilai nol. Pasir kondisi basah, kemungkinan punya kohesi (c) yang lemah atau biasa disebut sebagai kohesi (c) semu. Namun kohesi (c) tersebut tidak boleh diperhitungkan sebagai bagian dari kuat geser. Coduto (1999) menjelaskan kohesi (c) semu yang terjadi pada pasir bisa disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :
 - a). Tekanan air pori negative (*negative pore water pressure*)
Tekanan air pori negative adalah kondisi dimana tanah dalam kondisi basah tapi tidak jenuh (*unsaturated*), hal ini menyebabkan molekul air yang berada diantara butiran saling tarik menarik.
 - b). Dilatasi
Dilatasi terjadi perubahan ketebalan tanah yaitu memadat atau mengembang ketika diberi pergeseran, dan hal ini dapat menimbulkan kohesi (c) semu.
 - c). Gaya mekanis antara butiran (*apparent mechanical force*)
Gaya mekanis antara butiran disebabkan oleh kondisi butiran yang saling mengunci

satu sama lain (*interlocking* yang tinggi diantara butiran).

3. Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara kedua bentuk butiran pasir, yaitu sudut geser (ϕ) yang dihasilkan oleh pasir bentuk *sub-angular (SA)* lebih tinggi dari pasir bentuk *sub-rounded (SR)* walaupun mempunyai kerapatan relatif (D_r) yang sama. Hal ini disebabkan karena bentuk butiran yang cenderung bersudut, mempunyai *interlocking* yang tinggi di antara butirannya, sehingga tahanan geser yang dihasilkan akan tinggi, dibandingkan dengan bentuk butiran yang cenderung bulat. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian dari Sukumaran dan Ashmawy (2001) dan Cho dkk (2004) yang menyatakan, bahwa bentuk butiran yang bersudut, mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi dari bentuk butiran bulat.
4. Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi campuran bentuk butiran pasir yang dikombinasikan dengan kerapatan relative (D_r) yang sama yaitu 20%, terlihat ada perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) di antara ketiga variasi bentuk campuran pasir, yaitu variasi (SA 75% + SR 25%), lebih tinggi dari sampel (SA 50% + SR 50%) dan (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar $44,59^0$. Hal ini disebabkan karena variasi (SA 75% + SR 25%) pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *sub-Angular (SA)*, karena bentuk butiran yang cenderung bersudut, mempunyai *interlocking* yang tinggi di antara butirannya, sehingga tahanan geser yang dihasilkan akan tinggi, dibandingkan dengan bentuk butiran yang cenderung bulat. Sedangkan perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) sampel (SA 50% + SR 50%) lebih kecil dari sampel (SA 25% + SR 75%) yaitu sebesar $38,89^0$ dengan perbedaan 2,45%, disebabkan pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *Sub-Rounded (SR)* atau bentuk bulat. Hal ini juga disebabkan penyebaran campuran bentuk pasir *sub-angular* dan *sub-rounded* tidak merata.
5. Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi campuran bentuk butiran pasir yang dikombinasikan dengan kerapatan relative (D_r) yang sama yaitu 70%, terlihat ada perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) di antara ketiga variasi bentuk campuran pasir, yaitu variasi (SA 25% + SR 75%), lebih tinggi dari sampel (SA 50% + SR 50%) dan (SA 75% + SR 25%) yaitu sebesar $40,95^0$. Hal ini disebabkan karena variasi (SA 25% + SR 75%) pada bidang gesernya didominasi oleh

bentuk butiran *sub-Angular (SA)*, karena bentuk butiran yang cenderung bersudut, mempunyai *interlocking* yang tinggi di antara butirannya, sehingga tahanan geser yang dihasilkan akan tinggi, dibandingkan dengan bentuk butiran yang cenderung bulat. Sedangkan perbedaan perilaku sudut geser (ϕ) sampel (SA 75% + SR 25%) lebih kecil dari sampel (SA 50% + SR 50%) yaitu sebesar 40,01⁰ dengan perbedaan 0,45%, disebabkan pada bidang gesernya didominasi oleh bentuk butiran *Sub-Rounded (SR)* atau bentuk bulat. Hal ini juga disebabkan penyebaran campuran bentuk pasir *sub-angular* dan *sub-rounded* tidak merata

Daftar Pustaka

- Alias, R., Kasa, A., & Taha, M. R. (2014). Particle Size Effect on Shear Strength of Granular. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering Vol:8 No:11, 2014*.
- Ashmawy, A. K., Sukumaran, B., & Hoang, V. V. (2003). Evaluating the Influence of Particle Shape on Liquefaction Behavior Using Discrete Element Modeling. *The International Society of Offshore and Polar Engineers*.
- ASTM-D-2435. (1994). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. *American Standard Testing and Material*.
- ASTM-D-422. (1994). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. *American Standard Testing and Material*.
- ASTM-D-854. (1994). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. *American Standard Testing and Material*.
- Bogss, S. (2009). *Petrology of Sedimen Rocks 2nd ed*. New York: Cambridge University Press.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundation 3rd ed*. United States of America.
- Cho, G.-C., Dodds, J., & Santamarina, J. C. (2004). *Particle Shape of on Packing Density Stiffness and Strength-Natural and Crushed Sands-*.
- Cox, M. R., & Budhu, M. (2007). A Practical Approach to Grain Shape Quantification. *Engineering Geology*.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2011). *The ImageJ User Guide — Version 1.44*. Retrieved from <http://imagej.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf>.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hryciw, R. D., Zheng, J., & Shetler, K. (2016). Particle Roundness and Sphericity from Images of Assemblies by Chart Estimates and Computer Methods. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*
- JGS-0161-2009. (2009). Laboratory Testing Standards of Geomaterials: Test for Physical Properties - Test Method for Minimum and Maximum Densities of Sand. *The Japanese Geotechnical Society*.