



Pengaruh Bentuk Partikel dan Waktu Pembebanan Terhadap Kuat Geser Tanah Pasir

Azizah^{a)}, Muhamad Yusa^{b)}, Ferry Fatnanta^{b)}

^{a)}Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Jl. HR.Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru

^{b)}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Jl. HR.Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru

INFO ARTIKEL

Histori artikel:
 Diajukan 19 November 2020

ABSTRAK

Waktu adalah skala yang merupakan lama berlangsungnya suatu kejadian dan bentuk butiran pasir, merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat teknis pasir terhadap kuat geser. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui cara menganalisis waktu yang dibutuhkan dan bentuk butiran pasir dalam menganalisa perilaku sudut geser (ϕ) akibat pengaruh gradasi dan bentuk butiran. Hasil penelitian menunjukkan, analisa bentuk butiran pasir menggunakan *imageJ*, diperoleh tingkatan bentuk butiran dari kedua pasir, yaitu semi bersudut dan semi bulat. Perbandingan sudut geser di antara variasi gradasi, yaitu gradasi yang didominasi oleh fraksi butiran kasar sebesar 60%, dan gradasi yang mempunyai distribusi butiran yang panjang, mempunyai sudut geser (ϕ) yang tinggi. Perbandingan sudut geser di antara bentuk butiran pasir, yaitu pasir dengan bentuk semi bersudut mempunyai sudut geser yang lebih tinggi (ϕ) dibandingkan dengan pasir dengan bentuk semi bulat.

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

E – MAIL

Email Penulis 1*
 (azizah@grad.unri.ac.id)
 Email Penulis 2
 (M.yusa@eng.unri.ac.id)
 Email Penulis 3
 (ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id)

ABSTRACT

Time is a scale which is the duration of an event and the shape of the sand grains, is one of the factors that influence the technical properties of sand on its shear strength. The purpose of this study was to determine how to analyze the time required and the shape of the sand grains in analyzing the behavior of the shear angle (ϕ) due to the influence of grading and grain shape. The results showed, analysis of the form of sand grains using *imageJ*, obtained the level of the grains of the two sands, namely semi angular and semi-round. The ratio of the shear angles between the variations of the gradations, namely the gradient which is dominated by the coarse grain fraction of 60%, and the gradation which has a long grain distribution, has a high shear angle (ϕ). The ratio of the shear angle between the sand grains, namely sand with a semi-angled shape has a higher shear angle (ϕ) than sand with a semi-spherical shape.

Key Words: *Angle of shear* (ϕ); gradation; grain; *imageJ*; *regularity* (ρ); *roundness* (*R*); sand; shape; sphericity (*S*); time.

I. PENDAHULUAN

Waktu telah membuktikan bahwa waktu dapat mempengaruhi perilaku pasir. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser pasir adalah ukuran butiran.

Kuat geser adalah parameter yang sangat penting untuk menganalisa daya dukung tanah supaya konstruksi yang dibangun akan berfungsi dengan baik.

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. Oleh sebab itu perlu dilakukan analisis kembali tentang pengaruh waktu dan bentuk pasir dengan persentase butiran pasir yang digunakan, yaitu kelompok butiran yang bersudut dan bulat.

II. MATERIAL DAN METODE

B. Material

B.1. Pasir

Pasir merupakan tanah berbutir kasar yang terbentuk dari pelapukan batuan beku serta sedimen. Berdasarkan ukuran butiran, pasir mempunyai ukuran butiran sesuai standar AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) yaitu ukuran 2 mm sampai 0,075 mm. Sedangkan untuk standar USCS (*Unified Soil Classification System*), yaitu ukuran 4,75 mm sampai 0,075 mm.

B.2. Berat Jenis

Berat jenis tanah (*specific gravity*) (G_s) adalah perbandingan antara berat volume tanah padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w)

B.3. Kerapatan Relatif

Kerapatan relatif (D_r) adalah gambaran kepadatan dari tanah granuler. Kerapatan relatif (D_r) sangat berpengaruh pada sifat teknis tanah granuler seperti pasir, karena kuat geser dan kompresibilitasnya, tergantung dari kepadatan butiran (Hardiyatmo, 2002)

B.4. Analisis Ukuran Butiran Pasir

Analisis ukuran butiran yang paling umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel tanah, yaitu analisis ayakan dan analisis hidrometer. Analisis ayakan digunakan untuk partikel-partikel butiran dengan diameter lebih besar dari 0,075 mm. Sedangkan analisis hidrometer untuk ukuran partikel-partikel butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,075 mm.

B. 5. Morfologi Butiran Pasir

Morfologi butiran merupakan karakteristik dari kenampakan luar dari suatu butiran partikel. Powers (dalam Hryciw dkk, 2016) membagi bentuk butir sedimen pasir berdasarkan kebulatan atau keruncingan menjadi enam tingkatan.

Membedakan bentuk butiran pasir ada parameter penting yang bisa digunakan sebagai acuan, yaitu *roundness* (R), *sphericity* (S) dan *regularity* (ρ).

Roundness (R) adalah ketajaman pinggir dan sudut suatu material sedimen klastik. Wadell (dalam Hryciw dkk, 2016) menyatakan bahwa pengukuran *roundness* (R) suatu butiran dilakukan dengan cara mengukur jari-jari kelengkungan masing-masing sudut butiran (r_i), kemudian jari-jari kelengkungan butiran tersebut, dibandingkan dengan jari-jari lingkaran maksimum yang dapat dimasukkan ke dalam butiran tersebut (r_{ins}).

Sphericity (S) adalah parameter yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk butiran berdasarkan volume butiran, yaitu perbandingan ukuran dari panjang, lebar dan tinggi butiran saling mendekati. Krumbein dan Sloss (dalam Hryciw dkk, 2016) mengasumsikan bahwa *sphericity* (S) adalah perbandingan antara lebar partikel (*particle width*) (d_2) dengan panjang partikel (*particle length*) (d_1).

B.6. Kekuatan Geser

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1995). Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo, 2002).

C. Metode Penelitian

C.1. Gradasi Rencana

Gradasi yang direncanakan di antara lolos saringan No.4 dan tertahan No.200. Jenis gradasi yang direncanakan adalah gradasi buruk, yang dibagi atas 3 variasi gradasi dan dibedakan berdasarkan persentase fraksi butiran

C.2. Rencana Variasi Sampel

Rencana variasi sampel terdiri dari 3 variasi gradasi yang mempunyai kerapatan relatif sebesar 70% (kondisi padat) yang dikombinasikan dengan bentuk butiran dari pasir, yaitu bentuk butiran *sub-angular* dan *sub-rounded*.

Pengujian sampel dilakukan satu kali, sampel akan diberi label.

C. 3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik sipil, Fakultas teknik, Universitas Riau dan Balai Pengujian Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Riau, meliputi langkah-langkah seperti yang dijelaskan pada sub bab berikut.

C.3.1 . Analisa Bentuk Butiran

Analisis bentuk butiran bertujuan untuk memperoleh parameter morfologi bentuk butiran, yaitu *roundness* (R), *sphericity* (S) dan *regularity* (ρ) yang dianalisa dengan menggunakan *ImageJ*. Sampel yang digunakan sebanyak 200 butiran dari masing-masing pasir. Butiran yang digunakan, berada di antara lolos saringan No.4 dan tertahan No.10

C.3.2. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis (G_s) dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis (G_s) pasir. Prosedur pengujian mengacu pada standar ASTM D 854. Pengujian berat jenis (G_s) pada penelitian ini, menggunakan dua sampel untuk setiap jenis pasir, yang mana nilai berat jenis (G_s) yang diperoleh dari kedua sampel akan dirata-ratakan.

C.3.3 Pengujian Kerapatan Relatif

Pengujian kerapatan relatif (D_r) bertujuan untuk mendapatkan berat volume kering minimum dan maksimum (γ_{dmin} dan γ_{dmax}). Prosedur pengujian mengacu pada standar dari jepang, yaitu standar JGS0161:2009. Sampel yang digunakan adalah

sampel yang sudah diatur gradasinya sesuai gradasi rencana

C.3.4. Menghitung Angka Pori (e) dan Berat Volume Kering (γ_d)

Menghitung angka pori (e) dan berat volume kering (γ_d), bertujuan untuk mengetahui angka pori dan berat volume kering pada kondisi kerapatan relatif sebesar 70% dan 20%. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

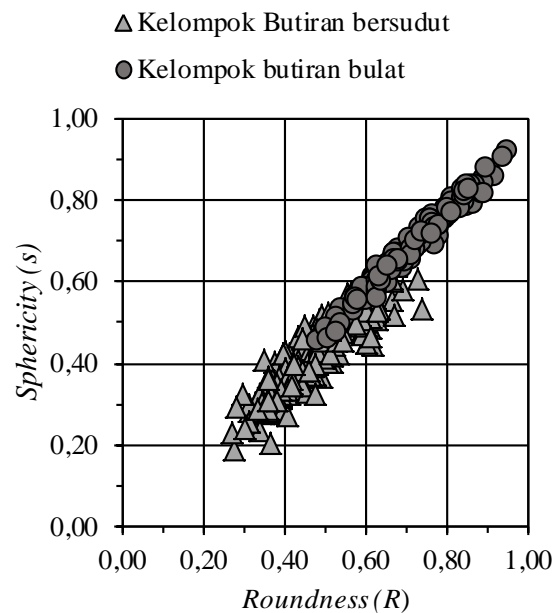
1. Menghitung angka pori maksimum dan minimum (e_{max} dan e_{min}) berdasarkan nilai berat jenis (G_s) dan berat volume kering minimum dan maksimum (γ_{dmin} dan γ_{dmax}) yang diperoleh dari pengujian kerapatan relatif.
2. Menghitung angka pori (e) pada kondisi kerapatan relatif (D_r) 70% dan 20%.
3. Menghitung berat volume kering (γ_d) pada kondisi kerapatan relatif (D_r) 70% dan 20%, berdasarkan hubungan nilai berat jenis (G_s) dan angka pori (e) pada kondisi kerapatan relatif (D_r) 70% dan 20%.

C.3.5. Pengujian geser langsung (*direct shear test*) mengacu pada standar ASTM D 3080. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah yaitu sudut geser (ϕ). Metode pengujian geser yang dilakukan adalah metode regangan terkendali (*strain controlled*), yaitu kecepatan pergeseran yang diatur sedemikian rupa. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Analisis Bentuk Butiran

Hasil analisis parameter bentuk butiran, yaitu nilai parameter *roundness* (R) dan *sphericity* (S) yang diperoleh dari *ImageJ*, diplot ke dalam grafik estimasi bentuk butiran



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Distribusi dari Estimasi Bentuk Butiran.

Tabel Error! No text of specified style in document..1 Persentase Distribusi Bentuk Butiran Kedua Pasir.

Kelompok pasir	Jenis butiran	Jumlah butiran	Persentase (%)	Total (%)
Butiran bersudut	Angular	74	37	98,5
	Sub-angular	123	62	
	Sub-rounded	3	2	1,5
	Rounded	0	0	
Butiran bulat	Angular	0	0	33
	Sub-angular	66	33	
	Sub-rounded	74	37	67
	Rounded	60	30	

Berdasarkan Tabel 4.2, terlihat bahwa persentase bentuk butiran yang mendominasi kelompok pasir butiran bersudut, lebih cenderung didominasi oleh bentuk *sub-angular* dan *angular* dengan jumlah persentase dari keduanya sebesar 98,50%. Kelompok pasir butiran bulat lebih cenderung didominasi oleh bentuk *sub-rounded* dan *rounded* dengan jumlah persentase dari keduanya sebesar 67,00%.

D.2 Hasil Pengujian Berat Jenis

Hasil pengujian berat jenis (G_s) dari kedua pasir dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan data hasil pengujian berat jenis (G_s) dapat dilihat pada table 4.3

Tabel Error! No text of specified style in document..1
Hasil Pengujian Berat Jenis (G_s).

Bentuk Pasir	Sampel	Berat Jenis (G_s)	G_s rata-rata
<i>Sub-angular</i> (SA)	1	2,654	2,657
	2	2,660	
<i>Sub-rounded</i> (SR)	1	2,658	2,655
	2	2,653	

D.3. Hasil Pengujian Kerapatan Relatif

Tabel Error! No text of specified style in document..2
Hasil Pengujian Kerapatan Relatif Sampel SA-G1

γ_d	Jumlah pengujian					Rata-rata	Satuan
	1	2	3	4	5		
γ_{dmi}	1,22	1,22	1,24	1,24	1,22		gr/c
n	9	8	1	0	0	1,232	m ³
γ_{dma}	1,40	1,39	1,40	1,41	1,39	1,406	gr/c
x	9	5	9	6	8		m ³

Tabel Error! No text of specified style in document..3
Hasil Pengujian Kerapatan Relatif Sampel SR- G1.

γ_d	Jumlah pengujian					Rata-rata	Satuan
	1	2	3	4	5		
γ_{dmi}	1,52	1,54	1,53	1,52	1,54		gr/c
n	2	0	1	3	5	1,532	m ³
γ_{dma}	1,66	1,67	1,68	1,67	1,62	1,664	gr/c
x	6	3	4	4	2		m ³

Tabel Error! No text of specified style in document..4
Hasil Pengujian Kerapatan Relatif Sampel SA-G2.

γ_d	Jumlah pengujian					Rata-rata	Satuan
	1	2	3	4	5		
γ_{dmi}	1,55	1,53	1,54	1,56	1,54		gr/c
n	6	7	9	5	7	1,550	m ³
γ_{dma}	1,66	1,67	1,67	1,67	1,67	1,672	gr/c
x	5	0	5	2	8		m ³

Tabel Error! No text of specified style in document..5
Hasil Pengujian Kerapatan Relatif Sampel SR-G2.

γ_d	Jumlah pengujian					Rata-rata	Satuan
	1	2	3	4	5		
γ_{dmi}	1,69	1,75	1,60	1,76	1,75		gr/c
n	1	3	2	0	3	1,712	m ³
γ_{dma}	1,71	1,79	1,87	1,84	1,80	1,805	gr/c
x	2	6	3	5	0		m ³

Tabel Error! No text of specified style in document..6
Hasil Pengujian Kerapatan Relatif Sampel SA-G3.

γ_d	Jumlah pengujian					Rata-rata	Satuan
	1	2	3	4	5		
γ_{dmi}	1,46	1,46	1,46	1,45	1,46		gr/c
n	1	4	6	3	9	1,463	m ³
γ_{dma}	1,66	1,67	1,67	1,68	1,68	1,678	gr/c
x	9	9	9	4	0		m ³

Tabel Error! No text of specified style in document..7
Hasil Pengujian Kerapatan Relatif Sampel SR-G3.

γ_d	Jumlah pengujian					Rata-rata	Satuan
	1	2	3	4	5		
γ_{dmi}	1,56	1,57	1,58	1,59	1,59		gr/c
n	1	2	1	7	8	1,582	m ³
γ_{dma}	1,75	1,78	1,78	1,76	1,76	1,769	gr/c
x	5	3	0	2	5		m ³

Hasil rekapitulasi pengujian kerapatan relatif (D_r) kedua pasir, yaitu nilai berat volume kering minimum dan maksimum (γ_{dmin} dan γ_{dmax}) dari semua sampel, dapat dilihat pada Tabel 4.10. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, berat volume kering minimum dan maksimum (γ_{dmin} dan γ_{dmax}) dari pasir bentuk *sub-rounded* lebih tinggi dibandingkan dengan pasir bentuk *sub-angular*

Tabel Error! No text of specified style in document..8
Rekapitulasi Berat Volume Kering Minimum Dan Maksimum.

Sampel	γ_{dmin} (gr/cm ³)	γ_{dmax} (gr/cm ³)
SA-G1	1,232	1,406
SA-G2	1,550	1,672
SA-G3	1,464	1,669
SR-G1	1,532	1,664
SR-G2	1,712	1,805
SR-G3	1,582	1,769

D.4. Hasil Perhitungan Angka Pori dan Berat Volume Kering

Hasil perhitungan angka pori (e) pada kondisi kerapatan relatif sebesar 70%, dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel Error! No text of specified style in document..9
Angka Pori (e) Kondisi Kerapatan Relatif Sebesar 70%.

Sampel	e_{max}	e_{min}	e ($D_r = 70\%$)
SA-G1	1,157	0,890	0,970
SA-G2	0,714	0,589	0,627
SA-G3	0,815	0,595	0,659
SR-G1	0,733	0,596	0,637
SR-G2	0,551	0,471	0,495
SR-G3	0,678	0,501	0,554

Tabel Error! No text of specified style in document..10
Berat Volume Kering (γ_d) Kondisi Kerapatan Relatif Sebesar 70%.

Sampel	G_s	e ($D_r = 70\%$)	γ_d (gr/cm ³)
--------	-------	----------------------	----------------------------------

SA-G1	2,657	0,970	1,349
SA-G2	2,657	0,627	1,633
SA-G3	2,657	0,659	1,602
SR-G1	2,655	0,637	1,622
SR-G2	2,655	0,495	1,776
SR-G3	2,655	0,554	1,708

D.5. Hasil Perhitungan Berat Sampel

Berat sampel dihitung dengan cara mengalikan berat volume (γ_d) pada kondisi kerapatan relatif sebesar 70%, dengan volume ring *direct shear* yaitu sebesar 58,534 cm³. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.11.

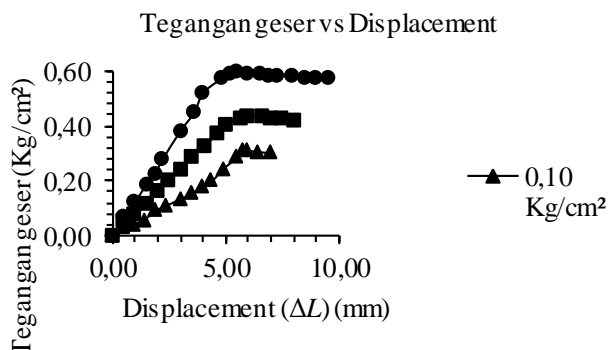
Tabel Error! No text of specified style in document..11 Berat Sampel Total Untuk Mengisi Ring *Direct Shear*.

Sampel	Berat sampel total (gr)
SA-G1	78,954
SA-G2	95,612
SA-G3	93,755
SR-G1	94,947
SR-G2	103,960
SR-G3	100,001

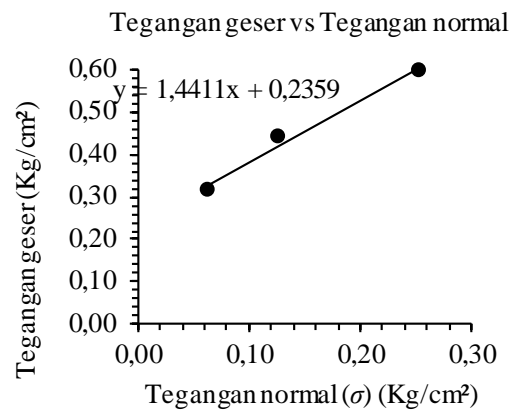
D.6. Hasil Pengujian Geser Langsung

D.6.1. Hasil Pengujian Geser Langsung Pasir Sub-angular (SA)

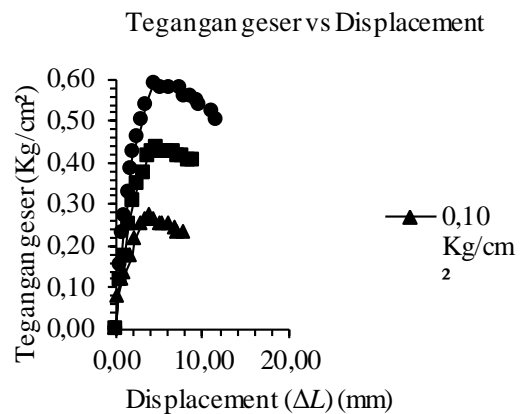
Hasil pengujian geser langsung dari variasi gradasi 1 dengan kombinasi butiran pasir bentuk *sub-angular* (SA-G1), sampel pertama dalam waktu 7 hari yaitu (SA-G1 7)



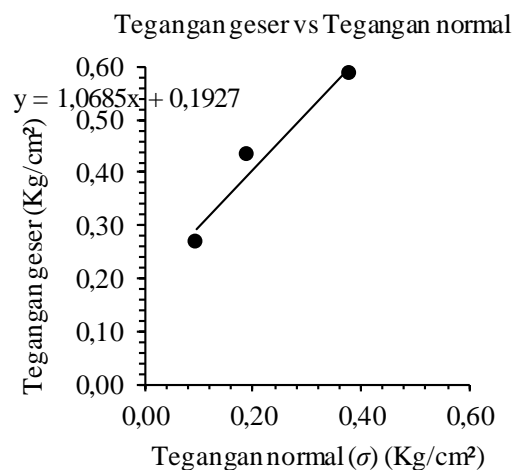
Gambar Error! No text of specified style in document..2 Grafik Tegangan Geser VS *Displacement* (SA-G17)



Gambar Error! No text of specified style in document..3 Grafik Tegangan Geser VS Tegangan Normal (SA-G1 7).



Gambar Error! No text of specified style in document..4 Grafik Tegangan Geser VS *Displacement* (SA-G1 14).



Gambar Error! No text of specified style in document..5 Grafik Tegangan Geser VS

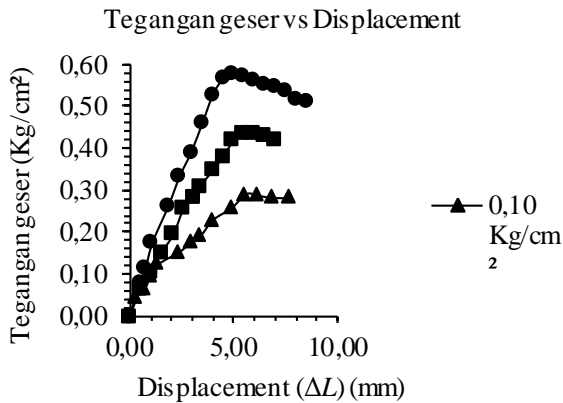
Tabel Error! No text of specified style in document..2 Hasil Uji Geser Langsung Pasir Bentuk *Sub-angular*.

Nama sampel	Parameter kuat geser		Parameter kuat geser rata-rata	
	ϕ (°)	c (Kg/cm ²)	ϕ (°)	c (Kg/cm ²)

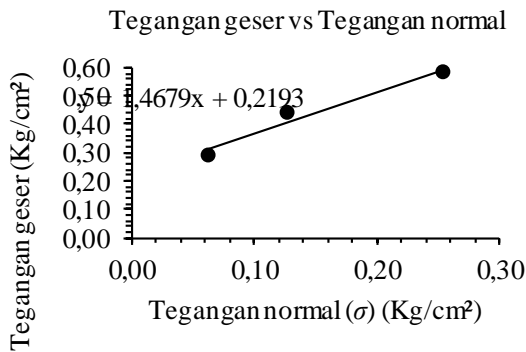
SA-G1 7	55,243	0,236	51,07	0,214
SA-G1 14	46,897	0,193		
SA-G2 7	88,750	0,935	88,74	0,573
SA-G2 14	88,732	0,212		
SA-G3 7	86,042	7,602	86,03	7,621
SA-G3 14	86,010	7,640		

D.6.2. Hasil Pengujian Geser Langsung Pasir Bentuk Sub-rounded (SR)

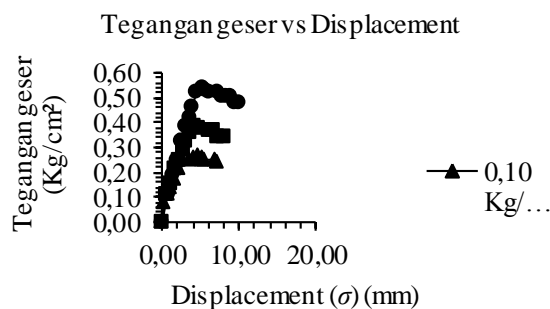
Hasil pengujian geser langsung dari variasi gradasi 1 dengan kombinasi butiran pasir bentuk *sub-rounded* (SR-G1), untuk sampel pengujian pertama dengan waktu 7 hari (SR-G1 7)



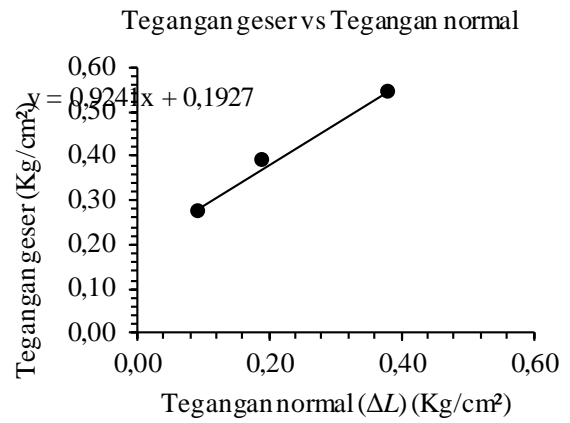
Gambar Error! No text of specified style in document..6 Grafik Tegangan Geser VS *Displacement* (SR-G1 7)



Gambar Error! No text of specified style in document..7 Grafik Tegangan Geser VS Tegangan Normal (SR-G1 7).



Gambar Error! No text of specified style in document..8 Grafik Tegangan Geser VS *Displacement* (SR-G1 14).



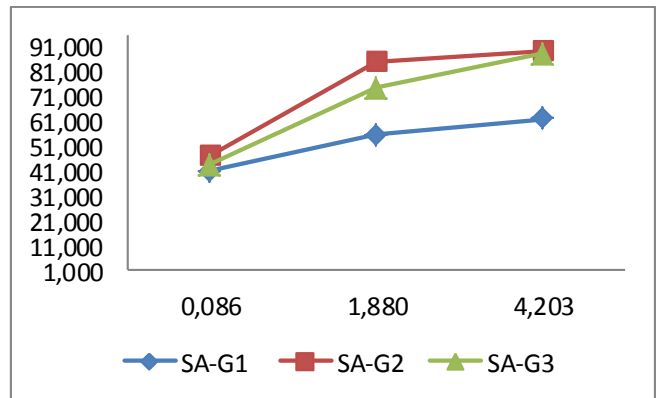
Gambar Error! No text of specified style in document..9 Grafik Tegangan Geser VS Tegangan Normal (SR-G1 14).

Tabel Error! No text of specified style in document..13 Hasil Uji Geser Langsung Pasir Bentuk Sub-rounded.

Nama sampel	Parameter kuat geser		Parameter kuat geser rata-rata	
	ϕ ($^{\circ}$)	c (Kg/cm 2)	ϕ ($^{\circ}$)	c (Kg/cm 2)
SR-G1 7	55,736	0,219	36,02	0,206
SR-G1 14	16,299	0,193		
SR-G2 7	87,643	0,060	88,13	0,569
SR-G2 14	88,611	1,079		
SR-G3 7	85,466	0,181	84,46	0,587
SR-G3 14	83,459	0,992		

D.6.3. Perbandingan Sudut Geser Antara Variasi Gradasi

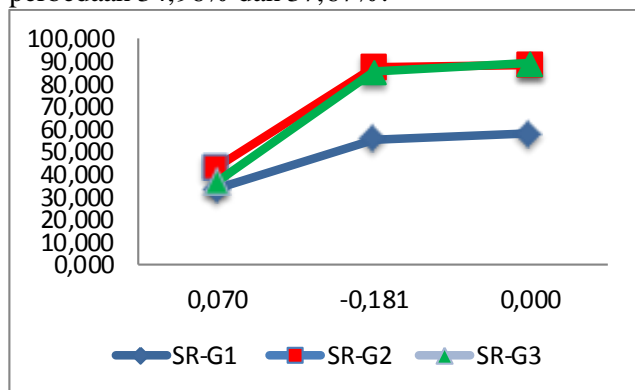
Perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi gradasi, dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar Error! No text of specified style in document..10 Perbandingan Sudut Geser Antara Gradasi Pasir *Sub-angular*.

Dari Gambar 4.10, terlihat bahwa sudut geser pasir (ϕ) dari sampel SA-G2, lebih tinggi dari sampel SA-G1 dan sampel SA-G3 yaitu sebesar 86,03 $^{\circ}$. Sampel SA-G2 mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 88,74 $^{\circ}$ atau tertinggi kedua setelah sampel SA-G3 dengan perbedaan 2,71%. Sampel SA-G1 mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih rendah dari sampel SA-G2

dimana SA-G1 yaitu sebesar $51,07^0$ dengan perbedaan 34,96% dan 37,67%.



Gambar Error! No text of specified style in document..11 Perbandingan Sudut Geser Antara Gradasi Pasir *Sub-rounded*.

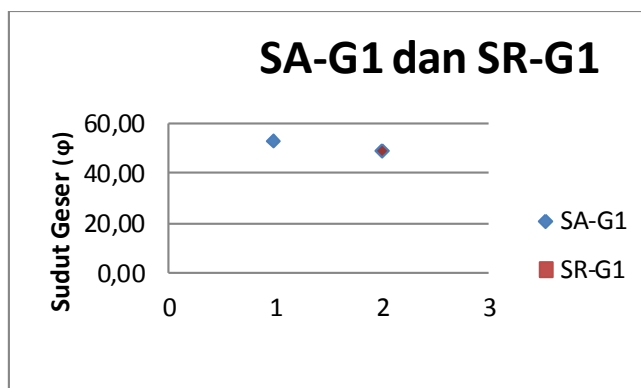
Berdasarkan Gambar 4.11, terlihat bahwa sudut geser pasir (ϕ) dari sampel SR-G3 lebih tinggi dari sampel SR-G1 dimana SR-G3 mempunyai sudut geser (ϕ) yaitu sebesar $84,46^0$. Sampel SR-G2 mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar $88,13^0$ atau tertinggi kedua setelah sampel SR-G1 dengan perbedaan 3,66%. Sampel SR-G1 mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih rendah dari sampel SR-G2 dan SR-G3 yaitu sebesar $36,02^0$ dengan perbedaan 48,44% dan 52,11%.

Hasil perbandingan sudut geser (ϕ) di antara variasi gradasi yang dikombinasikan dengan bentuk butiran yang sama, terlihat ada kesamaan perilaku sudut geser (ϕ) diantara kedua pasir, yaitu variasi gradasi 2 dari kedua pasir (SA-G2 dan SR-G2) mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi dari variasi gradasi yang lain, yaitu variasi gradasi 1 (SA-G1 dan SR-G1) dan variasi gradasi 3 (SA-G3 dan SR-G3). Hal ini disebabkan karena variasi gradasi 2 didominasi oleh fraksi butiran kasar sebanyak 60%, karena semakin banyak butiran kasar, maka sudut geser (ϕ) akan meningkat. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian dari kara (2013), Alias dkk (2014) dan Umam (2017), bahwa semakin kasar butiran yang mendominasi atau semakin besar ukuran partikel pasir, maka sudut geser (ϕ) yang dihasilkan akan tinggi.

Variasi gradasi 3 (SA-G3 dan SR-G3) yang mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi dari gradasi 1 (SA-G1 dan SR-G1). Hal ini disebabkan karena distribusi butirannya lebih baik (lebih panjang) walaupun didominasi oleh fraksi butiran halus sebanyak 60%, dibandingkan dengan variasi gradasi 1 yang mempunyai butiran yang lebih kasar, yaitu didominasi oleh fraksi butiran sedang sebanyak 100%, tetapi distribusi dari butirannya lebih pendek. Hasil ini juga sesuai dengan pernyataan Casagrande (dalam Hardiyatmo, 2002) yang mengatakan, jika dua macam tanah pasir mempunyai kerapatan relatif (D_r) yang sama, tetapi gradasinya berlainan, pasir yang bergradasi lebih baik (distribusi lebih panjang) akan mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih besar

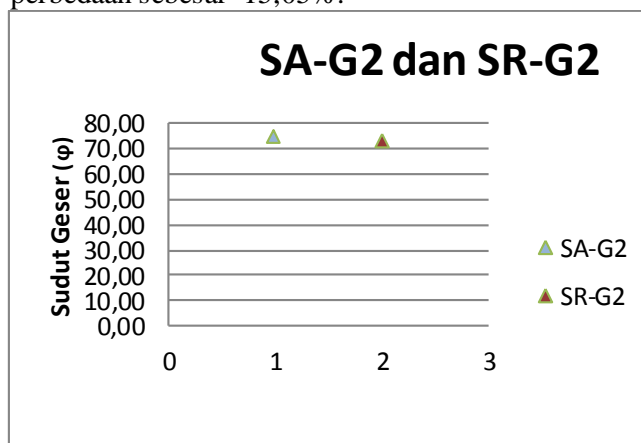
D.6.4. Perbandingan Sudut Geser Antara Bentuk Butiran

Perbandingan sudut geser (ϕ) di antara kedua bentuk butiran pasir dengan variasi gradasi yang sama, dapat dilihat pada Gambar 4.12, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12.



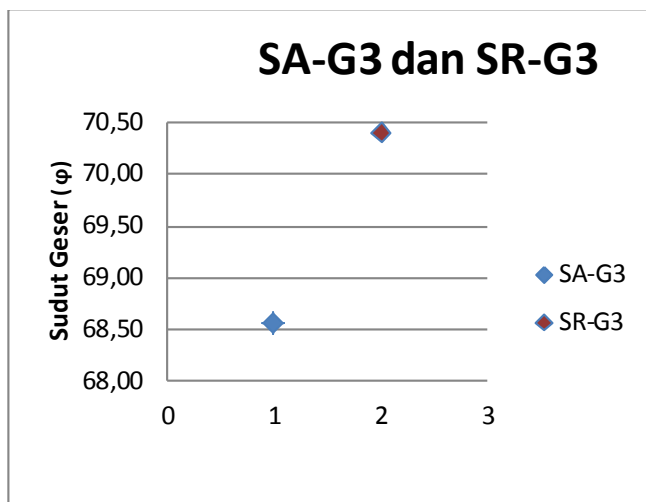
Gambar Error! No text of specified style in document..12 Perbandingan Sudut Geser Kedua Pasir Pada Variasi Gradasi 1.

Berdasarkan Gambar 4.12, terlihat bahwa sampel SA-G1 mempunyai nilai sudut geser (ϕ) sebesar $51,07^0$, lebih tinggi dari sampel SR-G1 yang mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar $36,02^0$, dengan perbedaan sebesar 15,05%.



Gambar Error! No text of specified style in document..13 Perbandingan Sudut Geser Kedua Pasir Pada Variasi Gradasi 2.

Berdasarkan Gambar 4.13, terlihat sampel SA-G2 mempunyai nilai sudut geser (ϕ) sebesar $88,74^0$, lebih tinggi dari sampel SR-G2 yang mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar $88,13^0$, dengan perbedaan sebesar 0,61%



Gambar Error! No text of specified style in document..14 Perbandingan Sudut Geser Kedua Pasir Pada Variasi Gradasi 3.

Berdasarkan Gambar 4.14, terlihat bahwa sampel SA-G3 mempunyai nilai sudut geser (ϕ) sebesar 68,03°, lebih kecil dari sampel SR-G3 yang mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 84,46°, dengan perbedaan sebesar 1,56%.

IV. 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 pengaruh waktu dan bentuk pasir gradasi terhadap perilaku kuat geser pasir, yaitu sudut geser (ϕ) yang dihasilkan oleh pasir bentuk *sub angular* (SA), lebih tinggi pada variasi gradasi 2 (SA-G2) yaitu sebesar 88,74°. Variasi gradasi 3 (SA-G3) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 86,03° atau tertinggi kedua setelah variasi gradasi 2 (SA-G2) dengan perbedaan 2,71%. Variasi gradasi 1 (SA-G1) mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih rendah dari variasi gradasi 2 (SA-G2) dan gradasi 3 (SA-G3) yaitu sebesar 68,03° dengan perbedaan 34,96% dan 37,67%. Begitu juga dengan sudut geser (ϕ) yang dihasilkan oleh pasir bentuk *sub-rounded* (SR), lebih tinggi pada variasi gradasi 2 (SR-G2) yaitu sebesar 88,13°. Variasi gradasi 3 (SR-G3) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 84,46° atau tertinggi kedua setelah variasi gradasi 2 (SR-G2)

dengan perbedaan 3,66%. Variasi Gradasi 1 (SR-G1) mempunyai sudut geser (ϕ) yang lebih rendah dari variasi gradasi 2 (SR-G2) dan gradasi 3 (SR-G3) yaitu sebesar 36,07°, dengan perbedaan 52,11% dan 48,44%. Hasil ini menunjukkan, gradasi yang lebih banyak didominasi oleh fraksi butiran kasar dan yang mempunyai distribusi butiran yang panjang, maka akan menghasilkan sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi.

3. Hasil pengaruh bentuk butiran terhadap perilaku sudut geser pasir, yaitu pasir bentuk *sub-angular* pada gradasi 1 (SA-G1) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 51,07° lebih tinggi dari pasir bentuk *sub-rounded* (SR-G1) yang mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 36,02°, dengan perbedaan 15,05%. Pasir bentuk *sub-angular* pada gradasi 2 (SA-G2) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 88,74° lebih tinggi dari pasir bentuk *sub-rounded* (SR-G2) yang mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 88,13°, dengan perbedaan 0,61%. Pasir bentuk *sub-angular* pada gradasi 3 (SA-G3) mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 86,03° lebih tinggi dari pasir bentuk *sub-rounded* (SR-G3) yang mempunyai sudut geser (ϕ) sebesar 84,46°, dengan perbedaan 1,56%. Hasil ini menunjukkan, pasir dengan bentuk butiran cenderung bersudut, akan menghasilkan sudut geser (ϕ) yang lebih tinggi dari pasir dengan bentuk butiran cenderung bulat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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*.
- [2] 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*.
- [3] Cho, G.-C., Dodds, J., & Santamarina, J. C. (2004). Particle Shape of on Packing Density Stiffness and Strength - Natural and Crushed Sands-.
- [4] Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [7] 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.*

- [8] Howie, J.A., Gohl, W.B., Hawson, H.H., and Diggle, D. (2002). Field Experience with Blast Densification in an urban setting. Proc., 5th U.S. National Conf. on Earthquake Engineering, Chicago, 221-230.
- [9] Kara, E. M., Meghachou, M., & Aboubekr, N. (2013). Contribution of Particles Size Ranges to Sand Friction. *ETASR - Engineering, Technology & Applied Science Research*.
- [10] Rees, S. D. (2010). *Effects of Fines on The Undrained Behaviour of Christchurch Sandy Soils*. Department of Civil and Natural Resources Engineering. Christchurch: University of Canterbury.
- [11] Sukumaran, B., & Ashmawy, A. K. (2001). Quantitative Characterisation of The Geometry of Discrete Particles . *Geotechnique* 51(7):619-627.
- [12] Umam, K. (2017). Pengaruh Gdasi Pasir dan Kadar Lempung Terhadap Kuat Geser Tanah. *Jom FTEKNIK Volume 4 No. 1 Februari 2017*, 6