

PENGARUH BENTUK BUTIRAN TERHADAP KEKUATAN TANAH PASIR

Frimadofi¹⁾, Muhamad Yusa²⁾, Ferry Fatnanta²⁾

¹⁾Mahasiswa 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 : frimadofi.f@student.unri.ac.id

ABSTRACT

There are many factors that affect the sands shear strength. One of the most important factors is the shape of the sand grains. The shape of sands in nature varied greatly, from angled to rounded. Natural sands from the river is usually rounded, while the sands from stone crusher is usually angular. The sands that is expected to be rounded in shape comes from the Kampar River and the sands is expected to have an angular shape from Kota Kijang quarry. In this research, the shape of sand grains were captured using a specified smartphone camera. The image then were analyzed using Image-j software. Direct shear test was carried out on various relative density of dry sands (loose and dense condition). Image analysis shows that Kampar's sand is sub-rounded, while Kijang's sand is sub-angular. The value of internal friction angle (ϕ) sub-angular sand is 14% greater in dense conditions and 8.7% greater in loose conditions than for sub-rounded sand. The value of internal friction angle (ϕ) is based on relative density (D_r) in dense conditions greater than 6.3% among fellow sub-angular sands. The value of internal friction angle (ϕ) is based on relative density (D_r) in loose conditions greater than 0.5% among fellow sub-rounded sands.

Keywords : Sand, the shape of grain, image-j software, relative density (D_r), shear strength, direct shear test.

I. PENDAHULUAN

Tanah memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia Teknik Sipil, karena pada tanahlah suatu bangunan atau konstruksi akan bertumpu dan mampu berdiri dengan kokoh. Umumnya, tanah dapat dikelompokkan kedalam dua jenis yaitu tanah berbutir kasar (termasuk pasir dan kerikil) dan tanah berbutir halus (termasuk lanau dan lempung). Tanah berbutir kasar merupakan jenis tanah non kohesif (tidak memiliki gaya tarik menarik antar partikel) atau tidak memiliki kohesi yang memiliki sifat lepas antar butirannya.

Keamanan dan kenyamanan suatu bangunan atau struktur konstruksi sangat bergantung pada kekuatan tanah yang ada di bawahnya. Jika suatu tanah mengalami keruntuhan, maka dapat dipastikan struktur

yang ada di atasnya juga ikut runtuh, hal ini dapat menyebabkan kerugian materil maupun korban jiwa. Atas dasar itulah perlu dilakukan pengkajian parameter-parameter kestabilan suatu tanah. Parameter yang dimaksud adalah kekuatan geser tanah (*shear strength*).

Semakin tinggi kekuatan geser suatu tanah maka akan semakin kuat pula tanah tersebut dan semakin aman untuk dibangun suatu struktur di atasnya. Ada banyak faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser suatu tanah. Salah satu faktor terpentingnya adalah bentuk butiran dari tanah tersebut.

Menurut Dodds (2003), bentuk butiran ditentukan oleh tiga parameter yaitu pengaruh bentuk butiran, kebulatan butiran dan kekasaran butiran. Bentuk butiran

pada parameter ini secara berbeda-beda mempengaruhi perilaku suatu material. Bentuk butiran pasir sebagian besar terbentuk dari magma mendingin. Pembelahan dan abrasi selanjutnya mengubah kebulatan dan kekasaran partikel. Pasir yang berasal dekat dari tempat terjadinya pecahnya batuan biasanya permukaan butirannya cenderung berbentuk kasar dan bersudut, sebaliknya apabila pasir yang sudah jauh ditransportasikan dari tempat terjadi pecahnya batuan permukaannya cenderung berbentuk halus dan bulat.

Tanah merupakan gabungan dari banyak butir-butir yang menjadi satu. Distribusi ukuran butir memang memberi peran penting dalam menentukan perilaku tanah. Namun, bentuk partikel muncul sebagai parameter yang signifikan. Bentuk butir dibentuk pada tiga parameter yang berbeda yaitu bentuk umum, parameter fitur permukaan utama dan parameter kekasaran permukaan. Setiap parameter mencerminkan aspek dari sejarah formasi, dan berpartisipasi dalam menentukan perilaku umum dari suatu tanah (Santamarina & Cho, 2004)

Puri dan Mancino (2002) melakukan penelitian tentang pentingnya bentuk dan ukuran partikel dari berbagai sumber wilayah terhadap perilaku mekanis menyimpulkan bahwa pasir yang lebih bersudut menunjukkan kepadatan curah yang lebih rendah daripada pasir bulat dengan sampel bergradasi seragam dan campuran. Porositas juga dipengaruhi oleh bentuk partikel, dengan lebih banyak pasir bulat yang memiliki ruang pori lebih sedikit daripada pasir sudut. Sementara itu, menurut Rahasta (2011) dalam penelitiannya tentang perilaku kuat geser pasir seragam kasar berbagai kepadatan menggunakan uji geser langsung (*direct shear*), menyimpulkan bahwa kerapatan relatif mempengaruhi sudut geser dan kuat geser pasir karena semakin besar kerapatan relatif dan gaya normal yang diberikan, maka semakin besar juga kuat gesernya.

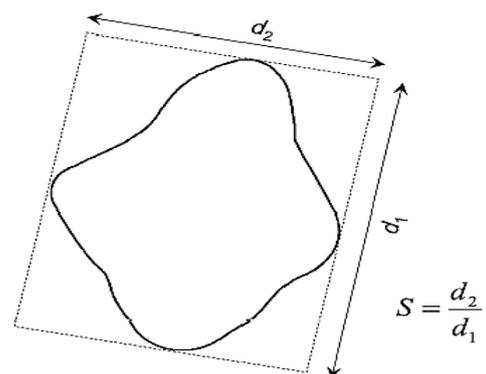
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Bentuk Butiran

Bentuk butiran-butiran pasir yang ada di alam sangat bervariasi, mulai dari bentuk bulat sempurna hingga sampai ke bentuk bersudut-sudut tidak beraturan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang tentunya bisa di kaji secara ilmiah, diantaranya adalah faktor lingkungan dan pelapukan. Pasir yang berasal dari hasil pecahan batu biasanya berbentuk cenderung bersudut dibandingkan pasir yang berasal dari sungai.

Menurut Tucker (1991) ada 2 parameter pokok yang harus digunakan dalam pendeskripsian bentuk butiran pasir yaitu *sphericity* dan *roundness*. Menurut Wadel (1932) *sphericity* (*S*) atau yang sering disebut dengan derajat kebolaan didefinisikan sebagai perbandingan luas permukaan bola yang mempunyai volume yang sama dengan volume butiran dengan luas permukaan butiran. Jadi, semakin tinggi nilai *sphericity* suatu butiran pasir maka semakin mendekati bola pula bentuknya (Surjono, 2011)

Krumbein dan Sloss (1951) membuat sebuah asumsi bahwa *sphericity* merupakan perbandingan antara lebar partikel dengan panjang partikel seperti yang terlihat pada Gambar 1.



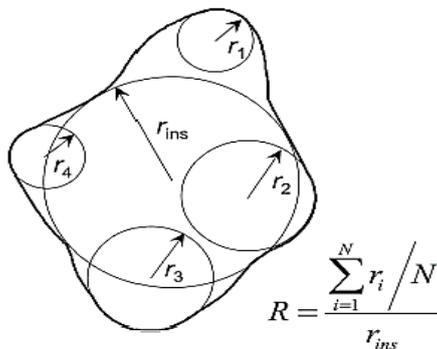
Gambar 1 *Sphericity*

Sumber: (Krumbein dan Sloss, 1951)

Roundness (*R*) atau derajat kebundaran adalah ketajaman pinggir dan sudut suatu material sedimen klastik. Menurut Boogs (1987), tingkat kebundaran suatu butiran dipengaruhi oleh

beberapa faktor, diantaranya adalah komposisi butir, ukuran butiran, jenis proses transportasi dan seberapa jauh telah ditransportasikan (jarak). Jadi, semakin tinggi nilai *roundness*, maka semakin bulat pula bentuk butirannya.

Menurut Wadell (1932), pengukuran *roundness* suatu partikel dilakukan dengan cara mengukur masing-masing sudut butiran tersebut, kemudian jari-jari kelengkungan butiran tersebut dibandingkan dengan jari-jari lingkaran maksimum yang dapat dimasukkan pada butiran tersebut. *Roundness* menurut Wadell dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 *Roundness* (R) menurut Wadell.
Sumber: (Hryciw, dkk, 2016)

Pengukuran *roundness* menurut Waldell dapat dirumuskan sebagai berikut.

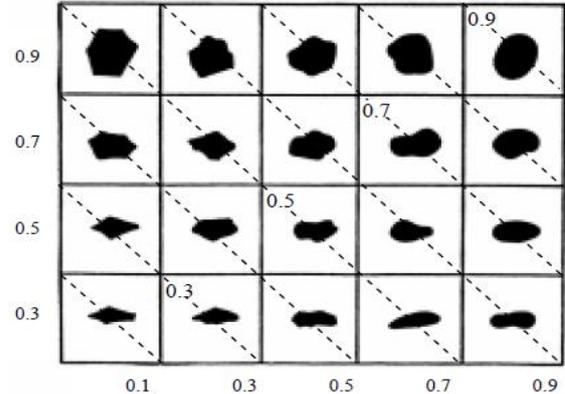
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n r_i / N}{r_{ins}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana

- r_i = jari-jari lingkaran pada sudut butiran
- N = jumlah lingkaran pada sudut butiran
- r_{ins} = jari-jari lingkaran terbesar yang bisa masuk kedalam butiran

Krumbein dan Sloss (1951) membuat grafik gabungan antara nilai *sphericity* dan *roundness* yang ditampilkan dalam 20 bentuk partikel (Gambar 3). Nilai dari *sphericity* berada pada interval 0.3 sampai 0.9 dan nilai dari *roundness* berada pada interval 0.1 sampai 0.9. Pada Gambar 3 terlihat masing-masing *sphericity* dan

roundness sama-sama memiliki kenaikan 0.2. Menurut Cho (2004), garis diagonal pada grafik merupakan nilai rata-rata dari penjumlahan nilai dari *sphericity* dan *roundness* yang disebut dengan *regularity* (ρ).



Gambar 3 Estimasi Bentuk Partikel Berdasarkan Gabungan Nilai *Roundness* (R) dan *Sphericity* (S) menurut Krumbein dan Sloss.

Sumber: (Santamarina, dkk, 2004)

Rees (2010), membuat batasan-batasan antara berbagai bentuk butiran berdasarkan parameter nilai *regularity*. Bentuk-bentuk butiran dibagi menjadi kedalan 4 kelompok. Nilai *regularity* dari bentuk butiran pasir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai *Regularity* untuk Berbagai Bentuk Butiran

| No | Bentuk Butiran | <i>Regularity</i> (ρ) |
|----|--------------------|------------------------------|
| 1 | <i>Angular</i> | <0,4 |
| 2 | <i>Sub-angular</i> | 0,4-0,65 |
| 3 | <i>Sub-rounded</i> | 0,65-0,75 |
| 4 | <i>Rounded</i> | >0,75 |

Sumber: (Rees,2010)

2.2 Kerapatan Relatif

Kerapatan relatif (Dr) umumnya digunakan untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah granular (berbutir kasar) di lapangan. Kerapatan relatif dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Dr = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

e_{maks} = Kemungkinan angka pori maksimum

e_{min} = Kemungkinan angka pori minimum

e = Angka pori pada kondisi tertentu di lapangan

Kemungkinan angka pori terbesar atau pada saat kondisi terlonggar suatu tanah disebut juga dengan angka pori maksimum. Angka pori maksimum dapat ditentukan dengan cara menuangkan pasir yang berkadar air nol atau pasir kering dengan sangat hati-hati kedalam cetakan (*mould*) tertentu yang telah diketahui volumenya. Dari berat pasir di dalam cetakan, angka pori maksimum dapat diketahui.

Kemungkinan angka pori terkecil atau pada saat kondisi terpadat suatu tanah disebut juga dengan angka pori minimum. Angka pori minimum dapat ditentukan dengan cara menuangkan pasir yang berkadar air nol atau pasir kering kedalam cetakan (*mould*) tertentu yang telah diketahui volumenya, kemudian cetakan tersebut diberi getaran atau dengan cara dipukul. Dari berat pasir di dalam cetakan, angka pori minimum dapat diketahui. Dari rumus kerapatan relatif di atas dapat dinyatakan dalam persamaan berat volume tanah sebagai berikut.

$$\gamma_{d(maks)} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_{min}} \dots \dots (3)$$

Maka didapat angka pori minimum sebagai berikut.

$$e_{min} = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_{d(maks)}} - 1 \dots \dots (4)$$

Dengan cara yang sama didapat juga angka pori maksimum sebagai berikut.

$$e_{maks} = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_{d(min)}} - 1 \dots \dots (5)$$

Dan angka pori pada kondisi tertentu dilapangan sebagai berikut.

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \dots \dots (6)$$

Harga kerapatan relatif bervariasi dari harga tertinggi adalah 1 untuk tanah yang sangat padat sampai harga kerapatan relatif terkecil adalah 0 untuk tanah yang sangat lepas. Para ahli tanah secara kualitatif telah menjelaskan tentang keadaan tanah berbutir kasar atas dasar kerapatan relatifnya seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2 Harga Kerapatan Relatif untuk Tanah Berbutir

| Kerapatan Relatif (%) | Penjelasan mengenai Deposit Tanah |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 0-15 | Sangat Lepas |
| 15-50 | Lepas |
| 50-70 | Menengah |
| 70-85 | Padat |
| 85-100 | Sangat Padat |

Sumber (Das et al., 1995)

2.3 Pengertian Tanah Pasir

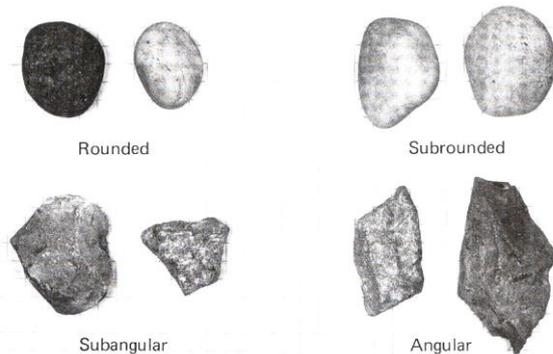
Tanah pasir adalah tanah yang tidak kohesif dan mempunyai sifat lepas antara butiran-butirannya. Menurut standar USCS jenis tanah yang digolongkan pasir adalah tanah di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200 (0.075 mm), sedangkan menurut AASHTO, jenis tanah yang digolongkan pasir adalah bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

Menurut ASTM D2488-09a tentang standar praktis untuk deskripsi dan identifikasi tanah membagi pasir kedalam 3 kelompok yaitu sebagai berikut.

1. Pasir kasar, yaitu pasir dengan ukuran lolos ayakan no.4 (4,75mm) dan tertahan no.10 (2mm).
2. Pasir medium, yaitu pasir dengan ukuran lolos ayakan no.10 (2mm) dan tertahan no.40 (0,425mm).
3. Pasir halus, yaitu pasir dengan ukuran lolos ayakan no.40 (0,425mm) dan tertahan no.200 (0,075mm).

2.4 Bentuk Tanah Pasir

Bentuk tanah pasir di alam sangat bervariasi. Menurut ASTM D2488-09a, bentuk tanah pasir terbagi atas 4 jenis, yaitu bersudut (*angular*), semi bersudut (*sub-angular*), semi bulat (*sub-rounded*), bulat (*rounded*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Bentuk-bentuk Partikel Tanah Pasir

1. Bersudut (*angular*), penyebabnya adalah pecahan batuan akibat pengaruh lingkungan atau pelapukan. Bentuk *angular* memiliki tepi yang tajam dan sisi yang relatif pipih dengan permukaan yang tidak kasar.
2. Semi bersudut (*Sub-angular*), penyebabnya pecahan batuan dengan bagian permukaan atas yang halus akibat transportasi. Bentuk *sub-angular* kriterianya mirip seperti *angular*, tetapi memiliki tepi yang agak bulat.
3. Semi bulat (*sub-rounded*), penyebabnya pecahan batuan dengan permukaan umumnya halus karena sudah ditransportasikan cukup jauh. Bentuk *sub-rounded* memiliki sisi yang hampir rata tetapi memiliki sudut dan ujung yang bulat.
4. Bulat (*rounded*), penyebabnya pecahan batuan dengan permukaan halus karena sudah bertahun-tahun ditransportasikan. Bentuk *rounded* memiliki sisi-sisi yang melengkung mulus dan tanpa pinggiran.

2.5 Kuat Geser Tanah

Menurut teori Mohr (1910), kondisi keruntuhan suatu bahan disebabkan oleh adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo, 2002). Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya dan gesekan antar butir – butir tanah. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut. Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai berikut.

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots (7)$$

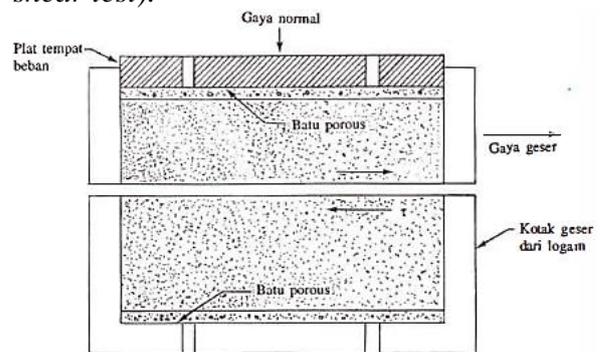
Dimana

C = Kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = Sudut gesek dalam atau sudut gesek intern ($^\circ$)

2.6 Uji Geser Langsung

Dalam penelitian ini yang digunakan adalah pengujian geser langsung (*direct shear test*).



Gambar 5 Diagram Susunan Alat Uji Geser Langsung

Sumber (Das,1985)

Pada Gambar 5 diperlihatkan diagram skematis dari alat uji geser langsung (*direct shear*). Peralatan pengujian meliputi kotak geser dari besi yang berfungsi sebagai tempat benda uji. Kotak geser tempat benda uji dapat berbentuk bujur sangkar maupun lingkaran, dengan luas kira-kira $19,35 \text{ cm}^2$ sampai $25,8 \text{ cm}^2$

dan tinggi 2,54 cm (1 inchi). Kotak terpisah menjadi 2 bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atau dari kotak geser, untuk memberikan geseran pada tengah-tengah benda uji.

Sampel tanah berupa contoh tanah bertampang lingkaran dan ditaruh di dalam alat berupa dua buah cincin kemudian di atasnya diberi beban normal yang besarnya tetap. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atau dari kotak geser untuk memberi geseran pada tengah-tengah benda uji. Sampel tanah digeser dengan gaya T yang besarnya berangsur-angsur dinaikkan sampai tanah pecah tergeser. Tegangan normal dan tegangan geser dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Tegangan normal } \sigma = \frac{N}{A} \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{Tegangan geser } \tau = \frac{T}{A} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana

N = Gaya normal yang diberikan

T = Gaya geser yang terjadi

A = Luas benda uji

Harga-harga sudut internal tanah pasir dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Harga-harga sudut internal tanah pasir

| Pasir: butiran bulat | Φ (deg) |
|-------------------------|--------------|
| Lepas | 27-30 |
| Menengah | 30-35 |
| Padat | 35-38 |
| Pasir: butiran bersudut | Φ (deg) |
| Lepas | 30-35 |
| Menengah | 35-40 |
| Padat | 40-45 |
| Kerikil bercampur pasir | 38-48 |
| Lanau | 26-35 |

Sumber (Das et al., 1993)

Pengaruh angka pori atau kerapatan relatif, bentuk butiran, distribusi ukuran butiran, dan ukuran partikel pada sudut gesek dalam tanah pasir yang disimpulkan oleh Casagrande (1936) pada Tabel 4.

Tabel 4 Hubungan angka pori, bentuk butiran, dan distribusi ukuran butiran terhadap sudut gesek dalam tanah pasir

| Deskripsi | Bentuk Butiran | D ₁₀ mm | Cu | Tak Padat | | Padat | |
|---|----------------------------------|-----------------------|-----|-----------|--------------|-------|--------------|
| | | | | e | ϕ° | e | ϕ° |
| Pasir standar ottawa | Bulat benar | 0,56 | 1,2 | 0,70 | 28 | 0,53 | 35 |
| Pasir dari batu pasir St. Peter | Bulat | 0,16 | 1,7 | 0,69 | 31 | 0,47 | 37 |
| Pasir pantai dari Plymouth | Bulat | 0,18 | 1,5 | 0,89 | 29 | 0,65 | - |
| Pasir berlanau dari Dam Franklin Fall | Agak bulat | 0,03 | 2,1 | 0,85 | 33 | 0,45 | 37 |
| Pasir berlanau dari Dam John Martin | Agak bergerigi sampai agak bulat | 0,04 | 4,1 | 0,65 | 36 | 0,54 | 40 |
| Pasir agak berlanau dari Dam Ft. Peck | Agak bergerigi sampai agak bulat | 0,13 | 1,8 | 0,84 | 34 | 0,54 | 42 |
| Pasir Glasial disaring, Manchester | Agak bergerigi | 0,22 | 1,4 | 0,85 | 33 | 0,60 | 43 |
| Pasir dari pantai dam urugan, Proyek Qabbin | Agak bergerigi | 0,07 | 2,7 | 0,81 | 35 | 0,54 | 46 |
| Batuan pecah dipadatkan gradasi baik | Bergerigi | - | - | - | - | 0,18 | 60 |

Sumber (Casagrande, 1936)

Jika dua macam tanah pasir memiliki kerapatan relatif yang sama, tetapi gradasinya berlainan, maka pasir yang bergradasi lebih baik akan mempunyai sudut gesek dalam yang lebih besar. Ukuran butiran untuk pasir dengan angka pori yang sama tak kelihatan banyak berpengaruh besar pada sudut gesek dalamnya. Jadi pasir halus dan pasir kasar pada angka pori yang sama akan mungkin mempunyai sudut gesek dalam yang sama (Casagrande, 1936). Pada umumnya, semakin kasar permukaan butiran, maka akan semakin besar pula sudut gesek dalamnya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengujian Analisis Bentuk Butiran Pasir

Pengujian analisis bentuk butiran dilakukan dalam 3 tahap yaitu sebagai berikut.

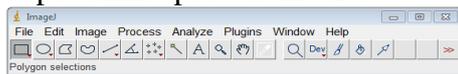
1. Foto butiran pasir diambil menggunakan kamera telepon pintar (*smartphone*) dari arah atas sejajar dengan butiran pasir dan *background* foto berwarna putih. Butiran pasir diambil secara acak yang telah diduga sebelumnya adalah bentuk yang dimaksudkan. Jumlah butiran pasir yang dianalisis adalah 200 butir. Mempertimbangkan keterbatasan *software* dalam melakukan analisis,

karena jumlah butir pasir yang cukup banyak, untuk mempermudah analisisnya dan menghindari eror pada saat dianalisis, maka jumlah butir pasir sebanyak 200 tidak dilakukan dalam satu kali analisis saja. Pengujian analisis bentuk butiran dibagi kedalam 10 kali pengujian, dengan jumlah butir per pengujian adalah 20 butir.

2. Analisis *software image-j*

Untuk mendapatkan parameter *roundness* dan *sphericity*, maka dilakukan analisis menggunakan *software image-j* dengan *plug-in* tambahan yaitu *particles8*. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

a. Membuka aplikasi *image-j*. Tampilan utama aplikasi *image-j* dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Tampilan Utama *Image-j*

b. Membuka menu *file* kemudian klik *open*, dan memilih foto yang akan dianalisis.

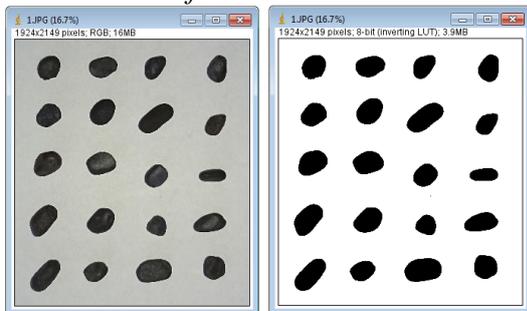
c. Membuka menu *image* kemudian klik *type* dan pilih *8-bit*.

d. Membuka menu *process* kemudian klik *binary* dan pilih *make binary*.

e. Membuka menu *process* kemudian klik *binary* dan pilih *fill holes*.

f. Membuka menu *plug-in* kemudian klik *particles8* dan centang semua kotak yang ada lalu klik *oke*.

g. Mengkopi semua data hasil keluaran dan memindahkan ke *microsoft excel*.



(a)

(b)

Gambar 7 (a) Foto Sebelum diproses,
(b) Foto Sesudah diproses

3. Pengolahan data

Setelah mendapatkan hasil keluaran dari *image-j*, semua data dicopy ke *microsoft excel* untuk dilakukan pengolahan data. Ada banyak data yang dikeluarkan *image-j*, data yang dibutuhkan adalah nilai *roundness* dan *sphericity*. Selanjutnya nilai *roundness* dan *sphericity* dirata-ratakan untuk mendapatkan parameter *regularity*.

3.2 Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*) Pasir

Pengujian berat jenis pasir ini dilakukan berdasarkan ASTM D 854, tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui berat jenis tanah pasir. Pengujian berat jenis ini masing-masing dilakukan sebanyak dua kali untuk tiap jenis pasir. Kemudian dari kedua data pengujian tersebut dirata-ratakan.

3.3 Pengujian Kerapatan Relatif (*Relative Density*) Pasir

Pengujian kerapatan relatif pasir ini dilakukan berdasarkan JGS 0160:2009, tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat volume tanah maksimum dan berat volume tanah minimum. Dari pengujian kerapatan relatif ini juga bisa diketahui angka pori maksimum dan angka pori minimum pasir. Pengujian kerapatan relatif ini masing-masing dilakukan sebanyak 5 kali pengujian untuk tiap kondisi pasir yaitu kondisi maksimum dan kondisi minimum. Kemudian dari kelima data pengujian tersebut dirata-ratakan.

Pengujian kerapatan relatif untuk mencari berat volume maksimum pada penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan pukulan dengan menggunakan palu yang beratnya 147 gram kepada *mould* yang telah berisi pasir sebanyak 100 kali pukulan sambil memutar-mutar *mould* dan kemudian ditimbang berat *mould* yang berisi pasir tersebut. Selanjutnya untuk mencari berat volume minimum adalah dengan cara menjatuhkan pasir kedalam *mould* pada

ketinggian 0 cm atau langsung ke dasar *mould* melalui corong yang berdiameter ½ inci tanpa diberi pukulan, kemudian ditimbang berat *mould* yang berisi pasir tersebut. Dimensi *mould* yang digunakan dalam pengujian ini memiliki volume 111 cm³ dengan diameter 5,96 cm dan tinggi 3,98 cm.

3.4 Pencampuran Benda Uji

Rencana variasi sampel dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Rencana Variasi Sampel dan Campuran Ukuran Butiran Pasir dalam Berbagai Kondisi

| Jenis Pasir | Kerapatan Relatif | Kondisi | Kode | Saringan | |
|--------------------|-------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|
| | | | | No.10- No.20 | No.20- No.40 |
| <i>Sub-Angular</i> | 70% | Padat | SA-0,7 | 50% | 50% |
| <i>Sub-Angular</i> | 20% | Lepas | SA-0,2 | 50% | 50% |
| <i>Sub-Rounded</i> | 70% | Padat | SR-0,7 | 50% | 50% |
| <i>Sub-Rounded</i> | 20% | Lepas | SR-0,2 | 50% | 50% |

3.5 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian geser langsung (*direct shear*) ini dilakukan berdasarkan ASTM D-3080, tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui parameter kuat geser tanah yaitu berupa nilai kohesi (C) dan sudut gesek dalam (ϕ). Metode pengujian geser langsung yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode regangan terkendali (*strain controlled*)

3.6 Analisis Data

Data dari hasil pengujian yang didapat dikumpulkan dan disusun dalam bentuk tabel serta kurva untuk memudahkan dalam penganalisisan berdasarkan teori dan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian diperoleh suatu kesimpulan. Pengolahan data dari penelitian ini dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) komputer.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.2 Hasil Analisis Bentuk Butiran Bersudut

Contoh bentuk butiran bersudut yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 8.

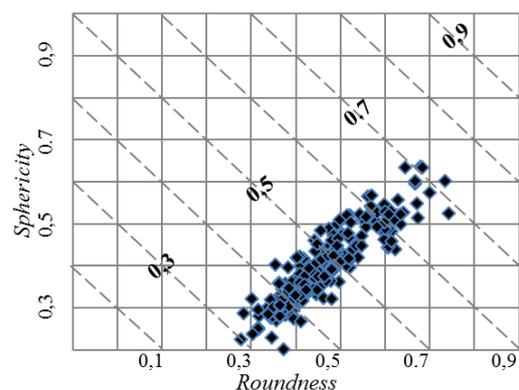


Gambar 8 Contoh Bentuk Butiran Bersudut

Tabel 6 Persentase Bentuk Butiran

| Bentuk Butir | Jumlah Butir | Persentase (%) |
|--------------------|--------------|----------------|
| <i>Rounded</i> | 0 | 0,0 |
| <i>Sub-Rounded</i> | 3 | 1,5 |
| <i>Angular</i> | 123 | 61,5 |
| <i>Sub-Angular</i> | 74 | 37,0 |
| Jumlah | 200 | 100 |

Berdasarkan Tabel 6 hasil analisis bentuk butiran untuk pasir bersudut menunjukkan pasir bentuk *sub-angular* yang lebih dominan. Dari 200 butir yang dianalisis, sebanyak 123 butir pasir yang berbentuk *sub-angular* dengan persentasenya adalah 61,50%. Maka dari itu untuk bentuk pasir bersudut ini tergolong kedalam bentuk *sub-angular*. Peta bentuk butiran pasir *sub-angular* dapat dilihat pada Gambar 9.



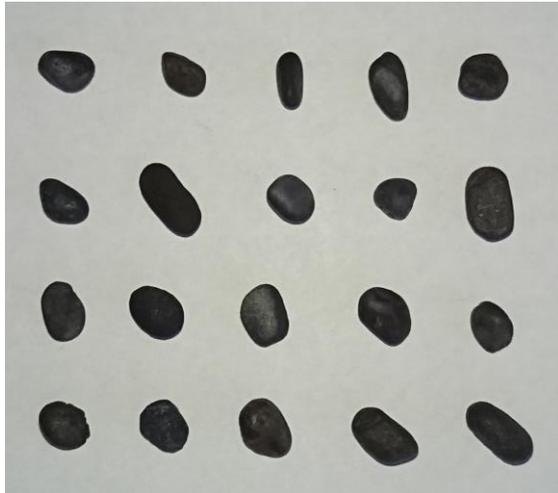
Gambar 9 Peta Bentuk Butiran Pasir Bersudut.

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat rentang nilai *regularity* antara 0,3 sampai

0,7 dengan rata-rata yang dominan adalah 0,4 sampai 0,65 dan termasuk kategori bentuk pasir *sub-angular*.

4.2 Hasil Analisis Bentuk Butiran Bulat

Contoh bentuk butiran bulat yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 10.

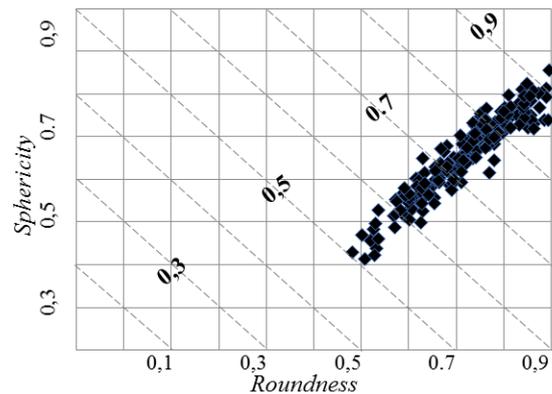


Gambar 10 Contoh Bentuk Butiran Bulat

Tabel 7 Persentase Bentuk Butiran

| Bentuk Butir | | Jumlah Butir | Persentase (%) | |
|--------------|-------------|--------------|----------------|----|
| Rounded | Rounded | 60 | 30 | 67 |
| | Sub Rounded | 74 | 37 | |
| Angular | Sub Angular | 66 | 33 | 33 |
| | Angular | 0 | 0 | |
| Jumlah | | 200 | 100 | |

Berdasarkan Tabel 7 hasil analisis bentuk butiran menunjukkan bahwa persentase bentuk butiran pasir ini didominasi oleh pasir bentuk bulat yaitu sebanyak 67%. Untuk pasir bentuk bulat dibagi kedalam dua kelompok kecil lagi yaitu *rounded* dan *sub-rounded*, karena persentase *sub-rounded* lebih mendominasi dari bentuk *rounded* maka pasir ini digolongkan kedalam bentuk *sub-rounded*. Peta bentuk butiran pasir *sub-rounded* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Peta Bentuk Butiran Pasir Bulat

Berdasarkan Gambar 11 dapat dilihat rentang nilai *regularity* antara 0,5 sampai 0,9 dengan rata-rata yang dominan adalah 0,65 sampai 0,75 dan termasuk kategori bentuk pasir *sub-rounded*.

4.3 Hasil Pengujian Kerapatan Relatif

Hasil pengujian kerapatan relatif didapat dari hasil pengujian berat volume. Hasil pengujian berat volume pasir *Sub-Angular* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Berat Volume Maksimum dan berat Volume Minimum Untuk Jenis Pasir *Sub-Angular*

| Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-----------------------------------|------|------|------|------|
| γ_d min (gr/cm^3) | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,24 | 1,23 |
| Rata-rata | 1,232 (gr/cm^3) | | | | |
| γ_d max (gr/cm^3) | 1,41 | 1,40 | 1,41 | 1,41 | 1,40 |
| Rata-rata | 1,41 (gr/cm^3) | | | | |

Hasil pengujian berat volume pasir *Sub-Angular* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Berat Volume Maksimum dan berat Volume Minimum Untuk Jenis Pasir *Sub-Rounded*

| Percobaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-----------------------------------|------|------|------|------|
| γ_d min (gr/cm^3) | 1,52 | 1,54 | 1,52 | 1,52 | 1,56 |
| Rata-rata | 1,532 (gr/cm^3) | | | | |
| γ_d max (gr/cm^3) | 1,67 | 1,67 | 1,68 | 1,66 | 1,68 |
| Rata-rata | 1,67 (gr/cm^3) | | | | |

Berdasarkan hasil pengujian kerapatan relatif yang ditunjukkan oleh Tabel 8 dan Tabel 9, nilai berat volume untuk jenis

pasir *sub-rounded* lebih tinggi dari pasir *sub-angular*.

4.4 Pembahasan Hubungan Berat Volume, Angka Pori, dan Berat Spesifik

Berdasarkan nilai berat volume maksimum, nilai berat volume minimum dan berat jenis, dapat ditentukan nilai angka pori maksimum, nilai angka pori minimum. Nilai angka pori maksimum dan minimum dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Nilai Angka Pori Maksimum dan Angka Pori Minimum

| | Pasir <i>Sub-Angular</i> | Pasir <i>Sub-Rounded</i> |
|------------|--------------------------|--------------------------|
| e_{maks} | 1,16 | 0,73 |
| e_{min} | 0,89 | 0,59 |

Setelah angka pori maksimum dan angka pori minimum diketahui, kita bisa mencari nilai angka pori berdasarkan kerapatan relatif. Nilai angka pori berdasarkan kerapatan relatif dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Nilai Angka Pori Berdasarkan Kerapatan Relatif

| Dr | e Pasir <i>Sub-Angular</i> | e Pasir <i>Sub-Rounded</i> |
|-------|------------------------------|------------------------------|
| Padat | 0,97 | 0,63 |
| Lepas | 1,10 | 0,70 |

Setelah dilakukan pembuktian nilai kerapatan relatif berdasarkan berat pasir dalam ring *direct shear* terdapat sedikit perubahan nilai kerapatan relatif dari yang direncanakan seperti pada Tabel 12.

Tabel 12 Rekapitulasi Nilai Berat Jenis, Berat Volume, dan Angka Pori

| Jenis pasir | Dr (%) | Gs | e | γ_d (gr/cm^3) |
|-------------|--------|-------|------|---------------------------------|
| SA | 70,37 | 2,657 | 0,97 | 1,35 |
| SR | 18,52 | 2,655 | 0,63 | 1,63 |
| SA | 71,43 | 2,657 | 1,11 | 1,26 |
| SR | 21,43 | 2,655 | 0,70 | 1,56 |

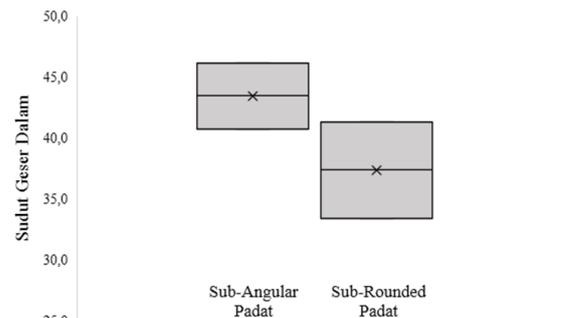
4.5 Pengujian Geser Langsung

Rekapitulasi hasil pengujian geser langsung dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Geser langsung

| Jenis Butiran | Kondisi | Pengujian Ke- | Koefisien Kuat geser | | Koefisien Kuat Geser rata-rata | |
|--------------------|---------|---------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | | | ϕ ($^\circ$) | Kohesi (Kg/cm^2) | ϕ ($^\circ$) | Kohesi (Kg/cm^2) |
| <i>Sub-Angular</i> | Padat | 1 | 40,77 | 0,06 | 43,45 | 0,056 |
| | | 2 | 46,13 | 0,05 | | |
| | Lepas | 1 | 43,48 | 0,03 | 40,70 | 0,040 |
| | | 2 | 37,92 | 0,05 | | |
| <i>Sub-Rounded</i> | Padat | 1 | 41,35 | 0,04 | 37,37 | 0,060 |
| | | 2 | 33,38 | 0,07 | | |
| | Lepas | 1 | 36,96 | 0,05 | 37,17 | 0,047 |
| | | 2 | 37,39 | 0,04 | | |

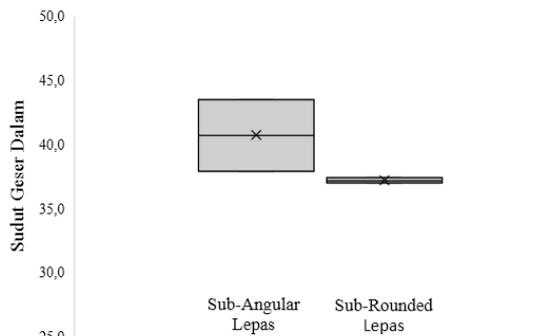
Berdasarkan Tabel 13 nilai kekuatan geser pasir *sub-angular* lebih besar dibandingkan pasir *sub-rounded*, dan kuat geser pada saat kondisi padat lebih besar daripada kondisi lepas. Artinya hipotesa penulis sebelum melakukan penelitian sesuai dengan hasil yang didapatkan, bahwasanya semakin bersudut suatu butir pasir itu maka semakin tinggi pula kekuatan geser pasir tersebut, dan semakin padat suatu massa pasir maka juga akan semakin besar kekuatan gesernya.



Gambar 12 Perbandingan Sudut Geser *Sub-Angular* & *Sub-Rounded* (Padat)

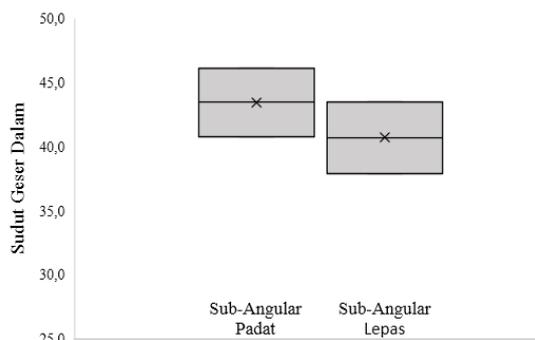
Berdasarkan Gambar 12 yang menunjukkan perbandingan sudut geser dalam antara pasir *sub-angular* dan pasir *sub-rounded* dengan keadaan dalam kondisi padat, terlihat bahwa nilai sudut geser internal pasir *sub-angular* lebih tinggi sekitar 14% daripada sudut geser internal pasir *sub-rounded*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh

Casagrande (1936) yang menunjukkan nilai sudut geser (ϕ) pasir bentuk bersudut lebih tinggi daripada pasir bentuk bulat.



Gambar 13 Perbandingan Sudut Geser Sub-Angular & Sub-Rounded (Lepas)

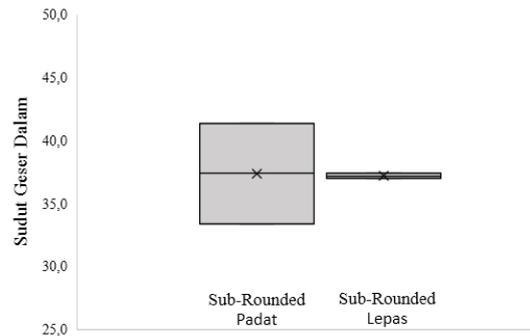
Berdasarkan Gambar 13 yang menunjukkan perbandingan sudut geser dalam antara pasir *sub-angular* dan pasir *sub-rounded* dengan keadaan dalam kondisi lepas, terlihat bahwa nilai sudut geser internal pasir *sub-angular* lebih tinggi sekitar 8,7% daripada sudut geser internal pasir *sub-rounded*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Casagrande (1936) yang menunjukkan nilai sudut geser (ϕ) pasir bentuk bersudut lebih tinggi daripada pasir bentuk bulat.



Gambar 14 Perbandingan Sudut Geser Sub-Angular Kondisi Padat dan Lepas

Berdasarkan Gambar 14 yang menunjukkan perbandingan sudut geser dalam sesama pasir *sub-angular*, antara dalam kondisi padat dengan kondisi lepas, terlihat bahwa nilai sudut geser internal pasir *sub-angular* dalam kondisi padat

lebih tinggi sekitar 6,3% daripada pasir - *sub-angular* kerapatan relatif lepas. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Casagrande (1936) yang menunjukkan nilai sudut geser (ϕ) pasir dalam keadaan padat lebih tinggi daripada pasir dalam keadaan lepas.



Gambar 15 Perbandingan Sudut Geser Sub-Rounded Kondisi Padat dan Lepas

Berdasarkan Gambar 15 yang menunjukkan perbandingan sudut geser dalam sesama pasir *sub-rounded*, antara dalam kondisi padat dengan kondisi lepas, terlihat bahwa nilai sudut geser internal pasir *sub-rounded* dalam kondisi padat cenderung terlihat sama dengan pasir *sub-rounded* dalam kondisi lepas. Tetapi angkanya tetap lebih besar 0,5% pasir *sub-rounded* dalam kondisi padat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Casagrande (1936) yang menunjukkan nilai sudut geser (ϕ) pasir dalam keadaan padat lebih tinggi daripada pasir dalam keadaan lepas.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis bentuk butiran menggunakan *software image-j*, pasir yang berasal dari sungai kampar Kecamatan Salo Kabupaten Kampar tergolong kedalam bentuk *sub-rounded*

- dan pasir yang berasal dari kuari kota Kijang Tanjung Pinang tergolong kedalam bentuk *sub-angular*.
2. Berat spesifik pasir *sub-angular* adalah 2,657 dan pasir *sub-rounded* adalah 2,655, artinya berat spesifik pasir *sub-angular* lebih tinggi daripada pasir *sub-rounded*.
 3. Berat volume pasir *sub-angular* kondisi padat adalah 1,35 dan berat volume pasir *sub-rounded* kondisi padat adalah 1,63. Sedangkan Berat volume pasir *sub-angular* kondisi lepas adalah 1,26 dan berat volume pasir *sub-rounded* kondisi lepas adalah 1,56. Hal ini menunjukkan berat volume pasir *sub-angular* lebih kecil daripada berat volume pasir *sub-rounded*.
 4. Angka pori pasir *sub-angular* dalam kondisi padat adalah 0,97 dan angka pori pasir *sub-rounded* dalam kondisi padat adalah 0,63. Angka pori pasir *sub-angular* dalam kondisi lepas adalah 1,10 dan angka pori pasir *sub-rounded* dalam kondisi lepas adalah 0,70. Hal ini menunjukkan bahwa angka pori pasir *sub-angular* lebih tinggi daripada pasir *sub-rounded*.
 5. Nilai sudut geser dalam pasir *sub-angular* kondisi padat adalah 43,45° dan sudut geser dalam pasir *sub-rounded* kondisi padat adalah 37,37°. Nilai sudut geser dalam pasir *sub-angular* kondisi lepas adalah 40,70° dan sudut geser dalam pasir *sub-rounded* kondisi lepas adalah 37,17°. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat kondisi padat nilai sudut geser dalam pasir *sub-angular* lebih tinggi 14% dibandingkan pasir *sub-rounded*, dan pada saat kondisi lepas nilai sudut geser dalam pasir *sub-angular* lebih tinggi 8,7% dibandingkan pasir *sub-rounded*. Kuat geser pasir *sub-angular* lebih tinggi 8,7% dibandingkan pasir *sub-rounded*. Kuat geser pasir *sub-angular* lebih tinggi dibandingkan pasir *sub-rounded*, baik dalam kondisi padat maupun kondisi lepas.

6. Sudut geser dalam pasir *sub-angular* kondisi padat lebih tinggi 6,3% daripada sudut geser dalam pasir *sub-angular* kondisi lepas. Sedangkan sudut geser dalam pasir *sub-rounded* kondisi padat dan kondisi lepas cenderung terlihat sama, tetapi masih tetap lebih tinggi pada saat kondisi padat sekitar 0,5%. Kuat geser pasir dalam kondisi padat lebih tinggi daripada kondisi lepas, baik untuk pasir *sub-angular* maupun pasir *sub-rounded*.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman dalam melakukan penelitian ini, maka dikemukakan saran yang dapat digunakan untuk penelitian lanjutan.

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi gradasi dalam berbagai bentuk butiran pasir terhadap kekuatan gesernya.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh pencampuran pasir yang berbeda bentuk terhadap kekuatan gesernya.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh pemeraman terhadap masing-masing bentuk sebelum dilakukan pengujian geser.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2009). *Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)*. Designation: D2488-09a.
- ASTM. (2012). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Condition*. Designation: D3080 / D3080M-11.
- ASTM. (2014). *Standard Test Method for Specific Gravity of Soils Solid by Water Picnometer*. Designation: D854-14.
- Budhu, M. (2000). *Soil Mechanics and Foundations*. New York: John Willey & Sons.

- Cavarretta, I. (2009). *The Influence of Particle Characteristics on The Engineering Behavior of Granular Materials*. University of London.
- Cho, G. C., Dodds, J., and Santamarina, J. C. (2004). *Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness and Strength*.
- Cox, M. R., And Budhu, M. (2008). *A Practical Approach to grain shape quantification*. University of Arizona.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *Mekanika Tanah: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1993). *Mekanika Tanah: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Dodds, J. (2003). *Particle Shape and Stiffness – Effects on Soil Behavior*. Thesis, Georgia Institute of Technology.
- Hardiyatmo, H. C. (2002a). *Mekanika Tanah II* (3rd ed.). Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002b). *Mekanika Tanah I*. Gajah Mada University Press (3rd ed.). Yogyakarta.
- Japanese Geotechnical Society. (2009). *Test method for minimum and maximum densities of sands*. JGS 0160-2009.
- Krumbein, W. C., and Sloss, L. L. (1963). *Stratigraphy and Sedimentation*. Second Edition, W. H. Freeman and Company, San Francisco
- Miller, N. A., and Henderson, J. J. (2010). *Quantifying Sand Particle Shape Complexity using a Dynamic, Digital Imaging Technique*. Agronomy Journal.
- Poudel, L., Thapa, B., Shrestha, B. P., Shrestha, N. K. (2012). *Sediment Shape Characterization of Sand Particles Using Digital Image Processing*. Kathmandu University, Nepal.
- Prasetia, R. A. (2011). *Perilaku Kuat Geser Pasir Seragam Kasar Berbagai Kepadatan Menggunakan Uji Geser Langsung*. Skripsi, Universitas Jember.
- Rees, S. D. (2010). *Effect of Fines on The Drained Behavior of Chistchruch Sandy Soils*. Thesis, University Of Canterbury.
- Santamarina, J.C. and Cho, G.C. (2004), *Soil Behavior: The Role of Particle Shape, Proc. Skempton Conf.* March, London.
- Tim Penyusun, (2016). *Buku Pedoman Praktikum Mekanika Tanah, Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Riau*.
- Wadel, H. (1932). *Volume, Shape, and Roundness of Rock Particles*. Journal of Geology.