

PENGARUH KADAR AIR TERHADAP KUAT GESER TANAH

Egi Giandara¹, Dian Hastari Agustina²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan

Email : giandaraegi@gmail.com

ABSTRAK

Tanah merupakan material yang sangat penting untuk konstruksi bangunan sebagai penyalur beban pondasi, maka harus mempunyai daya dukung tanah yang cukup. Daya dukung tanah didapat dari adanya kuat geser tanah yang mampu melawan tegangan geser saat tanah terbebani. Kadar air tanah (*Water Content*) berpengaruh terhadap kepadatan kering tanah (γ_d). Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kadar air terhadap kuat geser tanah, maka dilakukan pengujian geser langsung dengan variasi kadar air yang berbeda. Tanah yang dicampur dengan variasi kadar air, -4%, -2%, OMC, +2%, dan +4% dari nilai kadar air optimum (OMC), dipadatkan dengan *standar proctor test*, hasil pemadatan diuji geser langsung (*Direct Shear Test*) untuk mendapatkan nilai sudut geser (ϕ) dan kohesi tanah (c). Hasil uji geser dengan penambahan kadar air -4% dari nilai OMC, nilai sudut geser tanah terbesar yaitu 68,28° dengan kohesi 0,48 kg/cm², sedangkan penambahan kadar air +4% dari nilai OMC nilai sudut geser tanah terkecil yaitu 9,09° dengan kohesi 0,16 kg/cm². Kadar air pada tanah berpengaruh terhadap kuat geser tanah, semakin besar kandungan air pada saat pemadatan tanah, akan semakin kecil nilai sudut geser tanah dan nilai kohesi tanahnya.

Kata kunci : Tanah, kadar air optimum, *standar proctor test*, *direct shear test*, sudut geser, kohesi.

ABSTRACT

Soil is a very important material for building construction as a foundation load distributor, then should be have a soil bearing capacity enough. Soil bearing capacity obtain from the shear strength who can be against sliding voltage when land burdened. Water content reacts to dry density, to knows how much the influence of water content to the shear strength, so we can do direct shear test with different water content variations. Soil mixed with water content variations, -4%, -2%, OMC, +2%, and +4% from optimum moisture content, compressed with standar proctor test, the compaction result by direct shear test for get angle of repose (ϕ) and cohesion (c). The result of shear test with addition of water content -4% from OMC, the biggest angle of repose is 68.28° with cohesion 0.48kgs/cm. While additions water content +4% from OMC the smallest angle of repose is 9,09° with cohesion 0.16 kgs/cm. Water content in the soil effect on shear strength, the greater water content at the time of soil compaction angle of repose and cohesion will get smaller.

Keywords: soil, optimum moisture content, *standar proctor test*, *direct shear test*, angle of repose, cohesion.

1. PENDAHULUAN

Daya dukung tanah didapat dari adanya kuat geser tanah yang mampu melawan tegangan geser saat tanah terbebani. Ada beberapa metode yang dipakai untuk memperbesar nilai kuat geser tanah, salah satu diantaranya adalah dengan teknik pemadatan, yaitu dengan cara menambah berat volume kering dengan beban dinamis sehingga butiran tanah akan merapat dan mengurangi rongga udara dengan melakukan usaha secara mekanik. Pemadatan biasanya dilakukan dengan cara menggilas atau menumbuk tanah yang akan dipakai untuk sebuah konstruksi yang direncanakan. Hasil dari pemadatan tersebut dapat menaikkan nilai kohesi, dan sudut geser dalam yang dapat meningkatkan kuat geser tanah.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tanah tersebut, tetapi karena adanya gerak relative antara butir-butir tanah tersebut (Santosa, dkk, 1998).

Beban akan ditahan jika tanah mengalami pembebanan karena pengaruh adanya kekuatan geser tanah oleh adanya gesekan dalam antara butir-butir berbanding lurus dengan tegangan vertikal (tegangan efektif) yang bekerja pada bidang geser dan kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung pada tegangan vertikal yang bekerja pada bidang gesernya. Kekuatan geser tanah

Pengaruh kadar air (*water content*) sangat berpengaruh dalam tanah, jika tanah tidak dalam kondisi dipadatkan dan kadar air tanah berada pada kondisi dibawah atau diatas nilai OMC (*Optimum Moisture Content*), maka berpengaruh terhadap kepadatan kering tanah (γ_d). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kadar air terhadap kuat geser tanah dengan menambahkan variasi kadar air OMC-4%, OMC-2% OMC, OMC+2%, dan OMC+4% selanjutnya tanah di uji kuat gesernya dengan uji geser langsung (*Direct Shear test*) untuk mengetahui nilai kuat gesernya.

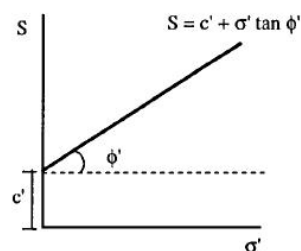
ditentukan untuk dapat mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa adanya pergeseran tanah.

Kekuatan geser yang dimiliki oleh tanah disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

1. Tanah berbutir kasar (non kohesif) kekuatan geser pada tanah disebabkan oleh adanya gesekan antara butir-butir tanah yang disebut sudut gesek dalam (ϕ soil),
2. Tanah berbutir halus (kohesif) kekuatan geser pada tanah disebabkan oleh adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (c soil),
3. Tanah campuran antara butir halus dan kasar, kekuatan geser tanah disebabkan oleh adanya kohesi dan gesekan antara butir-butir tanah.

Kuat geser tanah dinyatakan dalam persamaan di bawah dan gambar 1:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi'$$



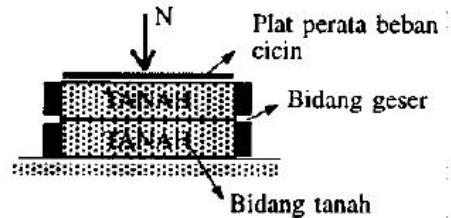
Gambar 1. Kuat geser tanah, (Santoso, dkk, 1998)

Untuk parameter kekuatan geser dapat ditentukan dengan pengujian di laboratorium, salah satunya

dengan melakukan uji geser langsung (*direct shear test*).

2.2 Uji Geser Langsung

Salah satu cara untuk menguji kuat geser yaitu dengan uji geser langsung (*direct shear test*). Dimana benda uji berupa contoh tanah berbentuk lingkaran atau bujur sangkar ditaruh dalam 2 buah cincin, dan setelah terpasang kemudian di atas cincin tersebut diberi beban



Gambar 2. Skematik pembebanan pada uji geser langsung, (Santosa, dkk, 1998)

$$\text{Tegangan normal} = \sigma_1 = \frac{N_1}{A} \text{ N/cm}^2 \quad (1)$$

$$\text{Tegangan geser} = \tau = \frac{T_1}{A} \text{ N/cm}^2 \quad (2)$$

2.3 Pemadatan tanah

Pemadatan tanah merupakan usaha secara mekanik agar butir-butir tanah merapat, volume tanah akan mengurang, dan volume pori berkurang. Namun, volume butir tidak berubah. Dilakukan dengan cara menggilas atau menumbuk (Santosa, dkk, 1998).

Pemadatan dilakukan dengan cara menambahkan atau mengurangi jumlah air yang ada didalam tanah, sehingga pukulan atau tumbukan yang tertentu besarnya akan menghasilkan keadaan padat yang paling maksimum pada tanah tersebut. Apabila tanah dipadatkan dengan adanya pemadatan yang tetap pada kadar air yang bervariasi, maka nilai kadar air tertentu akan tercapai kepadatan maksimumnya ($\gamma_d \text{ max}$) dan kadar air yang menghasilkan kepadatan maksimum disebut dengan kadar air optimum ($\gamma_w \text{ opt}$).

Bila air ditambahkan terhadap suatu tanah yang sedang dipadatkan, air itu akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat dan padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah meningkat. (Das, 1995).

2.4 Penelitian Relevan

normal N (Gambar 2) yang tetap besarnya, dan diberi gaya geser dengan beban T yang besarnya berangsur dinaikkan sampai tanah tersebut pecah tergeser, dan dan dicatat besarnya T yang memecahkannya. Untuk mencari tegangan normal dan tegangan gesernya dapat dihitung dengan persamaan (1), dan persamaan (2).

Liliwarti, dkk (2015) melakukan penelitian karakteristik tanah lempung terhadap kadar air. Pengambilan sampel tanah terganggu dan tidak terganggu diambil dari 3 lokasi, diuji dengan menggunakan pengujian *triaxial* dan UCS Sampel tanah yang sudah dikeringkan dilakukan penambahan kadar air secara bertahap yaitu mulai dibawah kadar air *liquid limit* dan diatas kadar air *liquid limit*. Pemeraman benda uji yang sudah ditambah dengan air didiamkan selama 3 hari. Hasil dari pengujian tersebut memperlihatkan dengan bertambahnya air, secara signifikan kohesi dan kuat geser tanah menurun.

Archenita, dkk (2013) melakukan penelitian perilaku *dry wetting* terhadap kuat geser tanah untuk menentukan kestabilan lereng pada ruas jalan Padang – Bukittinggi. Sampel tanah diambil dari ruas jalan Padang – Bukittinggi (lembah anai) dan dilakukan pengujian *drying-wetting*, benda uji disiapkan dengan menambahkan air mulai dari 3% sampai 30%, kemudian benda uji dimasukkan ke dalam pipa dan dilakukan percobaan *drying-wetting*. Penambahan air yang dilakukan pada tanah dimulai dari 0% sampai dengan 30%, didapat bahwa adanya penambahan kadar air terjadi penurunan nilai kohesi tanah, turunnya nilai kohesi tidak begitu signifikan dikarenakan tanahnya didominasi sedikit pasir dan sedikit lempung. Penambahan air pun berpengaruh terhadap kenaikan sudut geser dalam dari tanah.

Namun, kenaikan dari nilai tersebut tidak signifikan.

Wuryanti (2010) melakukan penelitian adanya penambahan air yang dilakukan dalam pemadatan dengan energi tekanan ($342,374 \text{ kJ/m}^3$) yang sama hingga mendekati batas cair menyebabkan berat volume mengalami penurunan. Makin tinggi kadar air yang ditambahkan, maka makin kecil nilai CBR dari tanah lempung itu sendiri. Perubahan kandungan air dari tanah dasar berpengaruh terhadap nilai CBR, dimana kekuatan tanah dasar banyak bergantung pada kadar airnya.

Setiawan, dkk (2010) melakukan penelitian hasil analisis kuat geser langsung pada sampel tanah kondisi *wet side of optimum*, *dry side of optimum*, dan *optimum*, yang dilakukan perendaman selama 4 hari dengan masing-masing kadar air berbeda. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas dan kuat geser langsung dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum memiliki nilai tertinggi. Hal ini dikarenakan kondisi optimum mempunyai daya dukung tanah yang cukup baik, sehingga sampel tanah yang diuji mengalami keadaan stabil dan semakin merapatnya jarak antar partikel tanah yang menjadikan tanah tersebut lebih padat.

Nurdin (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan terhadap kuat geser dan volume tanah, yang dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana besarnya pengaruh pengeringan dan pembasahan akibat perubahan iklim dan cuaca yang menyebabkan terjadinya pergeseran atau perubahan volume pada tanah. Berdasarkan parameter kuat geser yaitu kohesi dan sudut geser dalam terhadap masing-masing tegangan yang diberikan maka diperoleh kuat geser tanah dengan variasi waktu 2 hari, 4 hari, 8 hari, dan 10 hari. Pada kondisi tanah asli 0 hari sebelum diberi perlakuan pengeringan dan pembasahan diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu kohesi $0,13 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut gesek dalam $27,07^\circ$ dengan nilai

kuat gesernya $0,23 \text{ kg/cm}^2$, untuk sampel kering dan basah diperoleh nilai sudut geser yang semakin meningkat dari 2 hari sampai dengan 10 hari sebesar $24,57^\circ$ untuk kondisi sampel kering dan $20,22^\circ$ untuk untuk sampel basah, dan nilai kuat gesernya semakin menurun dari $0,17 \text{ kg/cm}^2$ menjadi $0,13 \text{ kg/cm}^2$ hal ini mengindikasikan bahwa jika tanah lempung terkena air maka tanah cepat menjadi lemah sehingga kuat geser tanahnya menjadi menurun.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pemadatan tanah dengan standar proctor tes (ASTM D-698) dilakukan untuk mencari nilai kadar air optimum dan berat kering maksimum, penelitian ini menggunakan sampel tanah yang lolos saringan no. 4 dan telah kering oven. Untuk mendapatkan kurva kadar air optimum/ *optimum moisture content (OMC)* dan berat kering maximum/ *maximum dry density (MDD)* digunakan 6 sample tanah masing-masing sebanyak 2,5 kg. Setelah diperoleh nilai OMC dan MDD selanjutnya disiapkan sample tanah dengan variasi kadar air OMC-4%, OMC-2%, OMC, OMC+2% dan OMC+4%, selanjutnya sebelum dilakukan pemadatan, tanah disimpan selama 24 jam agar campuran tanah menjadi homogen. Sampel tanah yang telah dipadatkan metode *standard proctor* dengan variasi kadar air yang berbeda selanjutnya dilakukan uji geser langsung dengan alat *Direct Shear Test* sesuai dengan ASTM D-3080. Uji ini dilakukan untuk menentukan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) secara tepat. Dari hasil masing-masing variasi kadar air yang diuji geser dapat menentukan seberapa besar pengaruh kadar air terhadap tanah yang diteliti.

4. HASIL PENELITIAN

Dari hasil pengujian properties tanah diperoleh data yang dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

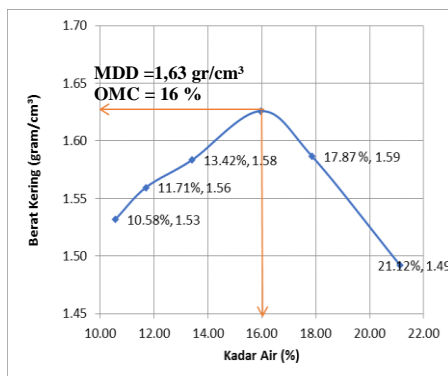
Tabel 1. Hasil pengujian properties tanah

Pemeriksaan	Hasil Pengujian
Kadar air tanah asli	20,68 %
Berat jenis tanah	2,66
Batas cair tanah (LL)	37,32 %
Batas Plastis tanah (PL)	21,09 %
Indeks Plastisitas (PI)	16,23 %
Batas susut tanah (SL)	18,17 %

Klasifikasi tanah menurut USCS	CL
Klasifikasi tanah menurut AASTHO	Tanah berlempung

Hasil dari uji pemadatan ini diperoleh MDD sebesar 1,63 gr/cm³ dan OMC sebesar 16 %, dapat

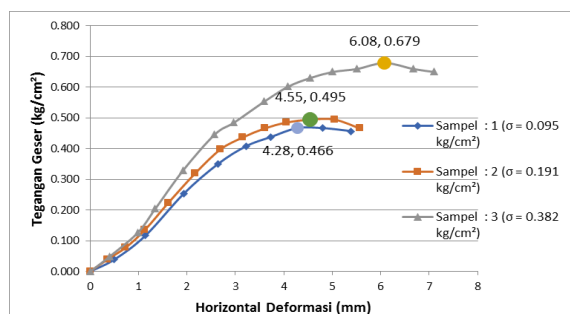
dilihat pada gambar 3, hasil pemadatan standar sebagai berikut :



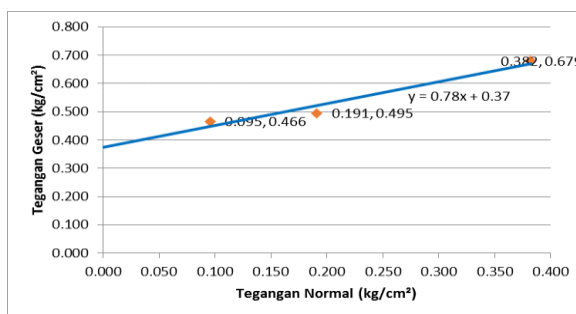
Gambar 4. Kurva berat kering tanah dan kadar air hasil uji pemadatan standar

Setelah diperoleh kadar air optimum dan berat kering tanah maksimum, dilakukan pengujian pemadatan sesuai dengan nilai OMC-2%, OMC, OMC+2% berurutan yaitu sebesar 14%, 16% dan 18%. Dari hasil pemadatan tanah tersebut akan dilakukan uji geser dengan alat uji geser langsung (*direct shear test*) untuk mengetahui nilai kuat geser tanah hasil pemadatan tersebut.

Hasil dari tiap sampel yang diuji geser langsung digambarkan ke dalam kurva hubungan tegangan geser maksimum (τ_{maks}) terhadap tegangan normal (σ) untuk menentukan sudut geser (ϕ), dan kohesi (c). Berikut hasil dan data grafik yang dihasilkan dari uji geser langsung, untuk variasi kadar air yang berbeda.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Kurva hubungan tegangan geser (σ) dengan horizontal deformasi pada nilai OMC (b) Grafik hubungan tegangan geser maksimum (τ_{maks}) dengan tegangan normal (σ) pada nilai OMC

Dilihat dari hasil uji geser pada kadar air optimum (OMC), diperoleh regresi liniernya pada $y = 0,78x + 0,37$.

$$y = 0,78x + 0,37$$

$$c \rightarrow x = 0 \rightarrow = 0,37 \text{ kg/cm}^2$$

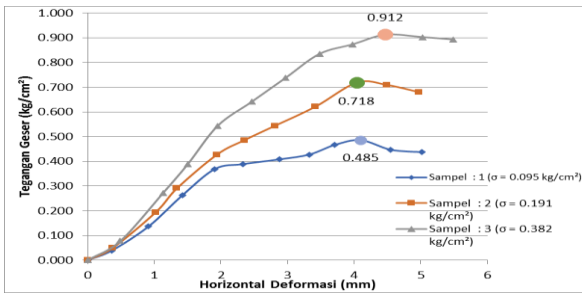
$$x_1 = 0 \rightarrow y_1 = 0,37$$

$$x_2 = 1 \rightarrow y_2 = 1,15$$

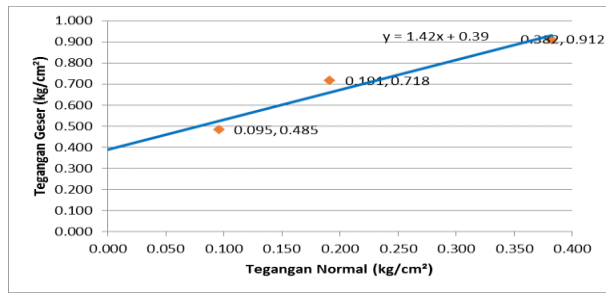
$$\Delta y = 1,15 - 0,37 = 0,78$$

$$\tan \phi = \frac{0,78}{1} \rightarrow \phi = \text{arc tan}(0,78) = 37,95^\circ$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,37 kg/cm², dan nilai sudut geser (ϕ) sebesar 37,95°.



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Kurva hubungan tegangan geser (σ) dengan horizontal deformasi dengan kadar air OMC-2%
 (b) Grafik hubungan tegangan geser maksimum (τ_{maks}) dengan tegangan normal (σ) pada nilai OMC-2%

Diperoleh regresi linier $y = 1,42x + 0,39$

$$y = 1,42x + 0,39$$

$$c \rightarrow x = 0 \rightarrow = 0,39 \text{ kg/cm}^2$$

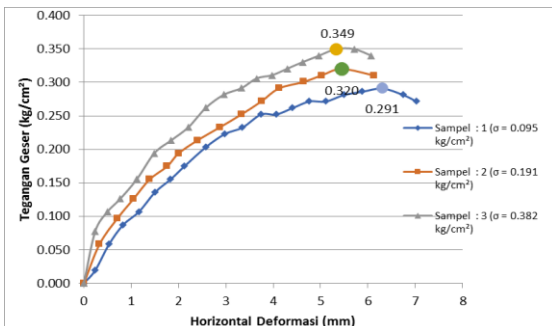
$$x_1 = 0 \rightarrow y_1 = 0,39$$

$$x_2 = 1 \rightarrow y_2 = 1,81$$

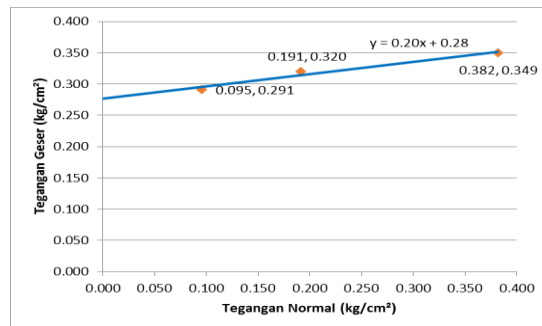
$$\Delta y = 1,81 - 0,39 = 1,42$$

$$\tan \phi = \frac{1,42}{1} \rightarrow \phi = \text{arc tan} (1,42) = 54,85^\circ$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,39 kg/cm², dan nilai sudut geser (ϕ) sebesar 54,85°.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Kurva hubungan tegangan geser (σ) dengan horizontal deformasi dengan kadar air OMC+2%
 (b) Grafik hubungan tegangan geser maksimum (τ_{maks}) dengan tegangan normal (σ) pada nilai OMC +2%

Diperoleh regresi linier $y = 0,20x + 0,28$

$$y = 0,20x + 0,28$$

$$c \rightarrow x = 0 \rightarrow = 0,28 \text{ kg/cm}^2$$

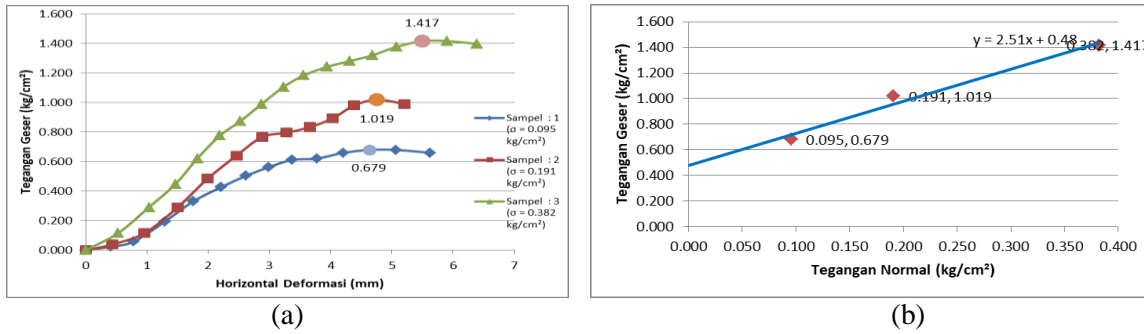
$$x_1 = 0 \rightarrow y_1 = 0,28$$

$$x_2 = 1 \rightarrow y_2 = 0,48$$

$$\Delta y = 0,48 - 0,20 = 0,20$$

$$\tan \phi = \frac{0,20}{1} \rightarrow \phi = \text{arc tan} (0,20) = 11,13^\circ$$

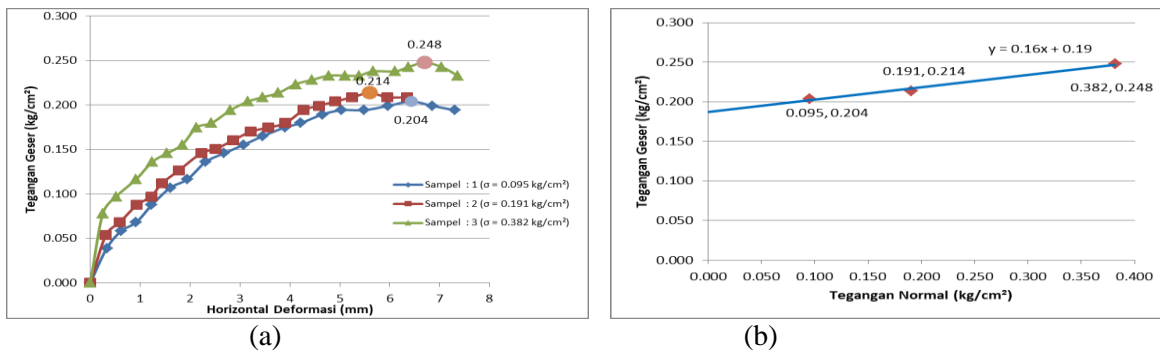
Dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,28 kg/cm², dan nilai sudut geser (ϕ) sebesar 11,13°.



Gambar 8. (a) Kurva hubungan tegangan geser (σ) dengan horizontal deformasi dengan kadar air OMC-4%
 (b) Grafik hubungan tegangan geser maksimum (τ_{maks}) dengan tegangan normal (σ) pada nilai OMC -4%

Diperoleh regresi linier $y = 2,51x + 0,48$
 $y = 2,51x + 0,48$
 $c \rightarrow x = 0 \rightarrow = 0,48 \text{ kg/cm}^2$
 $x_1 = 0 \rightarrow y_1 = 0,48$
 $x_2 = 1 \rightarrow y_2 = 2,99$
 $\Delta y = 2,99 - 0,48 = 2,51$
 $\tan \phi = \frac{2,51}{1} \rightarrow \phi = \text{arc tan} (2,51) = 68,28^\circ$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,48 kg/cm², dan nilai sudut geser (ϕ) sebesar 68,28°.



Gambar 9. (a) Kurva hubungan tegangan geser (σ) dengan horizontal deformasi dengan kadar air OMC+4%
 (b) Grafik hubungan tegangan geser maksimum (τ_{maks}) dengan tegangan normal (σ) pada nilai OMC +4%

Diperoleh regresi linier $y = 0,16x + 0,19$
 $y = 0,16x + 0,19$
 $c \rightarrow x = 0 \rightarrow = 0,19 \text{ kg/cm}^2$
 $x_1 = 0 \rightarrow y_1 = 0,19$
 $x_2 = 1 \rightarrow y_2 = 0,35$
 $\Delta y = 0,35 - 0,20 = 0,19$
 $\tan \phi = \frac{0,19}{1} \rightarrow \phi = \text{arc tan} (0,19) = 9,09^\circ$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,16 kg/cm², dan nilai sudut geser (ϕ) sebesar 9,09°.

Dari hasil penelitian mengenai pengaruh kadar air terhadap kuat geser tanah didapat nilai hasil uji

pemadatan standar (*Standard Proctor Test*), dan uji geser langsung (*Direct Shear Test*) sebagai

berikut :

Tabel 4.8 Hasil uji pemadatan standard dan uji geser langsung

	Prosentase Kadar Air (%)	Sudut geser dalam (°)	Kohesi (kg/cm ³)
OMC - 4%	12	68,28	0.48
OMC-2%	14	54.85	0.39
OMC	16	37.95	0.37
OMC+2%	18	11.13	0.28
OMC +4%	20	9.09	0.16

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengaruh kadar air terhadap kuat geser tanah sangat berpengaruh terhadap kuat geser tanah, dimana semakin besar kandungan air yang ada pada saat pemadatan tanah, akan semakin kecil nilai sudut geser tanah (ϕ) dan nilai kohesi tanahnya (c), sebaliknya semakin kecil kandungan air yang ada saat pemadatan tanah, maka akan semakin besar nilai sudut geser tanah dan nilai

kohesinya. Nilai sudut geser dalam dan kohesi terbesar adalah pada kondisi kadar air kurang dari 4% dari kadar air optimum yaitu sebesar 68.28° dan 0.48 kg/cm³. Ini bisa disebabkan pada kondisi kadar air -4% tanah masih bisa mencapai kepadatan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Archenita D, Nengsih S, Liliwanti, dan Mirani .Z. Perilaku Siklus Drying Wetting Terhadap Kuat Geser Tanah Untuk Menentukan Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Padang-Bukittinggi (Anai Valley), volume 8, ISSN 1858-3709. 2013.

Bowles, J. E. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga: Jakarta. 1991.

Das, B. M. Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1. Erlangga: Jakarta. 1993.

Hardiyatmo, H. C. Mekanika Tanah I. Universitas Gajah Mada Press: Yogyakarta. 2012

Setiawan A, Iswan, dan Setyanto. Pengaruh Kuat Tekan dan Kuat Geser Pada Sampel *Dry Side of Optimum* (Optimum Kering) dan *Wet Side of Optimum* (Optimum Basah) Tanah Organik, Vol 3, ISSN 2303-0011. 2015

Wuryanti D. R. Pengaruh Usaha Pemadatan Tetap Pada Perubahan Kandungan Air Terhadap Nilai CBR Laboratorium Tanah Dasar

Liliwanti, Silvianengsih, dan Sastramirat. Karakteristik Sifat Mekanik Tanah Lempung Terhadap Kadar Air, Rekayasa Sipil, Vol 4, ISSN 2252-7690. 2015.

Nurdin S. Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembahasan Terhadap Kuat Geser dan Volume Tanah, Vol 12, ISSN 1411-0954. 2010.

Santosa B., Suprpto H., dan Suryadi HS. Mekanika Tanah Dasar. Gunadarma: Jakarta. 1988.

Santosa B., Suprpto H., dan Suryadi HS. Mekanika Tanah Lanjutan. Gunadarma: Jakarta. 1988.

(*Subgrade*) Di Jalan Penawangan – Purwodadi. Universitas Negeri Semarang, Semarang. 2010.

Zulkhairi. “Kajian Karakteristik Tanah Bauksit Sebagai Bahan Konstruksi Jalan di Pulau Bintan Propinsi Kepulauan Riau”. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. 2012.

