

Pengujian Parameter Kuat Geser Tanah Berbutir Halus dari Pengujian Geser Langsung dan Geser Bebas pada Kondisi *Unconsolidated Undrained (UU)*

Mukti Maruddin*, Wa Ode Epianingsi, Selfiana, M. Arifuddin Karim, Ali Mallombasi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

*mukti.mukti@umi.ac.id

Diajukan: 27 Agustus 2024, Revisi: 04 September 2024, Diterima: 19 September 2024

Abstract

The soil shear strength parameter consists of the cohesion (c) and the angle of internal friction (ϕ), can be generated through direct shear and free slide testing. The value of c and ϕ It is necessary to know to determine the carrying capacity of the soil if there is a load working on it, including to determine the carrying capacity of the permit (Q_{ult}). The purpose of this study is to find out how the effect of moisture content and density on the value of c and ϕ and a comparison of c and ϕ on direct slide and free slide testing. Soil samples in the form of disturbed soil from a location in Moncongloe sub-district are included in the classification of fine-grained soil. In this study, an experimental method was used which began with the compaction process (Compaction Test). Furthermore, tests were carried out using direct shear (Direct Shear Test) and free shear (Triaxial Test) methods at 5 different density types. Water content is very influential on the level of density and value of c and ϕ according to the pore condition of the soil and the nature of its consistency. The results showed an increase in cohesion value along with the increase in soil density both produced through direct shear and free shear testing with an average ratio of 0.3953. The value of angle of internal friction is inversely proportional to the density level with the average ratio between the results of direct shear testing to free shear which is 1.4175.

Keywords: density, cohesion, angle of internal friction, direct shear, free shear

Abstrak

Parameter kuat geser tanah terdiri dari kohesi (c) dan sudut keruntuhan dalam (ϕ), dapat dihasilkan melalui pengujian geser langsung dan geser bebas. Nilai c dan ϕ perlu diketahui untuk menentukan daya dukung tanah jika ada beban yang bekerja diatasnya, diantaranya untuk menentukan daya dukung izin (q_{ult}). Tujuan dari penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh kadar air dan kepadatan terhadap nilai c dan ϕ serta perbandingan nilai c dan ϕ pada pengujian geser langsung dan geser bebas. Sampel tanah berupa tanah terganggu dari sebuah lokasi di Kecamatan Moncongloe yang termasuk dalam klasifikasi tanah berbutir halus. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental yang diawali dengan proses pemadatan (Compaction Test). Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan metode geser langsung (Direct Shear Test) dan geser bebas (Triaxial Test) pada 5 tipe kepadatan yang berbeda. Kadar air sangat berpengaruh terhadap tingkat kepadatan serta nilai c dan ϕ sesuai dengan kondisi pori tanah dan sifat konsistensinya. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan nilai kohesi seiring dengan peningkatan kepadatan tanah baik yang dihasilkan melalui pengujian geser langsung maupun geser bebas dengan perbandingan rata-rata 0,3953. Adapun nilai sudut keruntuhan dalam berbanding terbalik terhadap tingkat kepadatan dengan perbandingan rata-rata antara hasil pengujian geser langsung terhadap geser bebas yaitu 1,4175.

Kata Kunci: Kepadatan, Kohesi, Sudut Keruntuhan Dalam, Geser Langsung, Geser Bebas

1. PENDAHULUAN

Secara umum, Tanah tersusun atas butiran serta rongga atau pori yang terisi oleh udara dan air (Wesley, 2011). Ketiga komponen tersebut membentuk suatu massa yang memiliki sifat kerapatan (γ) (Karim et al., 2023). Berdasarkan distribusi ukuran butiran, tanah dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama menurut sistem klasifikasi USCS, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah dengan berbutir halus (Bowles, 1979). Untuk mengetahui kerapatan sesungguhnya dari suatu tanah terhadap pori, maka lahirlah teori pemadatan (*Compaction*). Melalui prosedur pemadatan, dapat diketahui pengaruh pori terhadap tingkat kepadatan (γ_{dry}), dimana jika presentasi air lebih kecil dari persentasi udara di dalam pori tanah maka tingkat kepadatannya rendah. Begitupun sebaliknya, jika persentasi udara yang mengisi pori lebih kecil dari persentasi air maka tingkat kepadatannya juga rendah. Sehingga dalam proses pemadatan terbentuk kadar air optimum (w_{opt}) dengan kepadatan (γ_{dry}) maksimum (Head, 1980).

Perubahan tingkat kepadatan (γ_{dry}) pada tanah akan mengakibatkan perubahan parameter sifat fisik maupun sifat mekanis pada tanah itu sendiri. Salah satu parameter yang terpengaruh yaitu parameter kuat geser tanah dimana terdiri dari nilai kohesi (c) dan sudut keruntuhan dalam (ϕ). Kedua parameter ini dapat dihasilkan melalui beberapa pengujian diantaranya pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*) dan pengujian kuat geser bebas (*Triaxial Test*). Pada prinsipnya pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*) merupakan suatu pengujian sudut gesek, yang mana suatu bagian butiran tanah dibuat menggelincir sepanjang bagian lainnya dengan gaya geser horizontal yang terus meningkat, sementara beban konstan diterapkan tegak lurus terhadap bidang gerak relatif (beban normal/tegangan normal) (Head, 1982). Sedangkan dalam pengujian geser bebas (*Triaxial Test*), massa tanah diberi tekanan pengekan pada sekelilingnya dan dipertahankan konstan seiring dengan peningkatan tegangan geser berupa beban aksial (Head, 1982).

Maka dari itu nilai c dan ϕ perlu diketahui untuk menentukan daya dukung tanah jika ada beban yang bekerja diatasnya, diantaranya untuk menentukan daya dukung izin (q_{ult}). Pada pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*) dan pengujian geser bebas (*Triaxial Test*) bisa terjadi perbedaan nilai yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memanfaatkan pendekatan eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah UMI. Sampel tanah yang digunakan berasal dari wilayah kecamatan moncongloe, kabupaten maros dengan persentase butiran lolos saringan No. 200 sebesar 88,02%. Hal ini sesuai dengan standar klasifikasi tanah USCS yang menggolongkan tanah dalam jenis tanah berbutir halus. Adapun beberapa pengujian sifat fisik yang dilakukan mencakup:

1. Kadar Air (ASTM D 2216-10)
2. Berat Jenis (ASTM D 854-02)
3. Analisa Saringan (ASTM D 422-63)
4. Atterberg Limit Test (ASTM D 4318)

Setelah itu, dilakukan pengujian mekanis tanah yang mencakup pemadatan, pengujian geser langsung dan pengujian geser bebas.

A. Pemadatan (*Compaction Test*)

Pemadatan adalah proses di mana udara di dalam pori-pori tanah dikeluarkan secara mekanis. Upaya ini dilakukan untuk membuat partikel butiran tanah lebih rapat, sehingga

volume tanah berkurang seiring dengan pengurangan volume pori tanpa mengubah volume partikel butiran tanah (Head, 1980). Pengujian ini menggunakan alat *Standart Proctor* (ASTM D-698). Melalui pengujian pemadatan diperoleh 5 tipe sampel tanah dengan tingkat kepadatan yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat kepadatan ini disebabkan oleh variasi penambahan air pada tiap tipe sampel. Variasi nilai kepadatan kemudian akan dijadikan acuan dalam pembuatan benda uji untuk selanjutnya diuji nilai kohesi dan sudut keruntuhan dalamnya melalui pengujian *Direct Shear* dan *Triaxial*.

B. Pegujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pada pengujian ini, tegangan geser bekerja sejajar dengan bidang gelincir dan terjadi ketika gaya yang diterapkan cenderung menyebabkan lapisan-lapisan yang berurutan saling meluncur satu sama lain (Head, 1982). Tegangan langsung (normal) menghasilkan regangan linier dan tegangan geser menghasilkan regangan geser. Pengujian geser langsung dilakukan pada 5 tingkat kepadatan yang bervariasi sesuai hasil pemadatan.

C. Pengujian Geser Bebas (*Triaxial Test*)

Pengujian ini merupakan pengujian dimana sampel tanah mengalami tekanan dalam arah tiga dimensi. Pengukuran tegangan geser dilakukan dengan menerapkan tekanan vertikal pada sampel tanah dimana tekanan maksimum yang dapat ditahan sampel tersebut tercatat saat kegagalan terjadi (Head, 1982). Pengujian ini juga dilakukan pada 5 variasi tingkat kepadatan yang berbeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian yaitu pengujian sifat fisik serta pengujian sifat mekanis terhadap tanah yang diteliti. Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh beberapa data hasil pengujian yang berturut-turut dapat dilihat pada tabel 1 dan 2. Berdasarkan hasil penyaringan, dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan didominasi oleh butiran yang halus daripada butiran kasar. Tanah berbutiran halus cenderung memiliki sifat plastis. Dalam penelitian ini, digunakan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*). Berdasarkan data hasil pengujian batas cair dan indeks plastisitas yang di plot dalam grafik USCS dapat disimpulkan bahwa sampel tanah termasuk dalam jenis lempung anorganik dengan sifat plastisitas rendah hingga menengah (CL).

Tabel 1 Nilai hasil pengujian sifat fisis

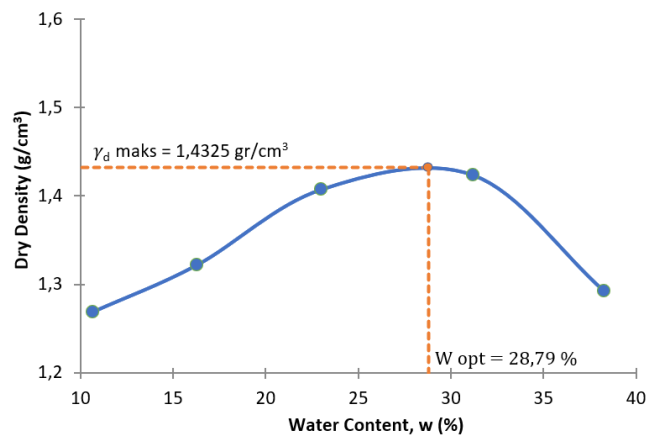
No.	Jenis Kegiatan	Satuan	Sampel				
			1	2	3	4	5
1.	Analisa Saringan						
a.	Butiran Kasar	%	11,98	11,98	11,98	11,98	11,98
b.	Butiran Halus	%	88,02	88,02	88,02	88,02	88,02
2.	Atterberg Limit						
a.	Batas Cair (LL)	%	47,89	47,89	47,89	47,89	47,89
b.	Batas Plastis (PL)	%	25,49	25,49	25,49	25,49	25,49
c.	Batas Susut (SL)	%	18,18	18,18	18,18	18,18	18,18
d.	Indeks Plastis (IP)	%	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40
3.	Berat Jenis (Gs)		2,6329	2,6329	2,6329	2,6329	2,6329

Tabel 2 Nilai hasil pengujian mekanis

No.	Jenis Kegiatan	Satuan	Sampel				
			1	2	3	4	5
1.	Pemadatan						
a.	Kerapatan (γ)	Kg/cm ³	1,4039	1,5372	1,7312	1,8679	1,7869
b.	Kepadatan (γ_d)	Kg/cm ³	1,2687	1,3219	1,4075	1,4239	1,2924
2.	Kadar Air	%	10,66	16,29	23,00	31,18	38,26
3.	Angka Pori		1,0753	0,9917	0,8706	0,8490	1,0373
4.	Nilai parameter kuat geser <i>Triaxial</i>						
a.	Kohesi (c)	Kg/cm ²	0,1809	0,3797	0,6833	0,7981	0,4387
b.	Sudut keruntuhan dalam (ϕ)	°	33,092	32,726	30,665	28,208	12,557
5.	Nilai parameter kuat geser <i>Direct Shear</i>						
a.	Kohesi (c)	Kg/cm ²	0,0283	0,1025	0,3885	0,5414	0,1329
b.	Sudut keruntuhan dalam (ϕ)	°	45,474	41,449	40,899	36,835	22,696
6.	Perbandingan parameter kuat geser <i>Direct Shear</i> terhadap <i>Triaxial</i>						
a.	Kohesi (c)		0,1565	0,2700	0,5686	0,6783	0,3030
b.	Sudut keruntuhan dalam (ϕ)		1,3742	1,2666	1,3337	1,3058	1,8074

A. Pengaruh Kadar Air (w) terhadap Kepadatan (γ_{dry})

Pada **tabel 2** dan **gambar 1** dapat dilihat kenaikan persentase kadar air akan meningkatkan nilai kepadatan tanah hingga mencapai suatu titik dimana persentase kadar air optimum 28,79 % dengan nilai kepadatan maksimum 1,4325 gr/cm³. Jika penambahan air dilakukan terus menerus hingga melewati persentase kadar air optimum, maka akan mengakibatkan penurunan nilai kepadatan tanah.

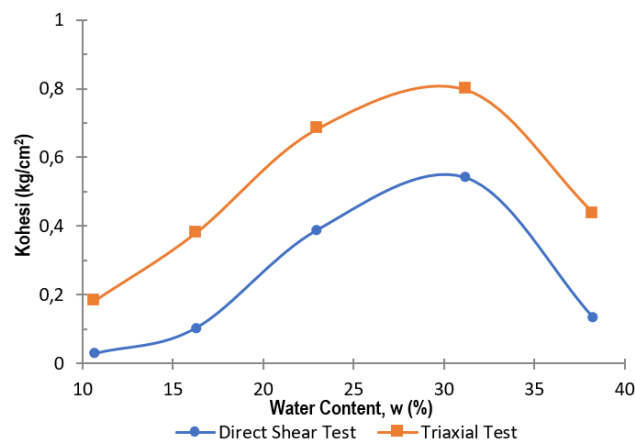


Gambar 1 Grafik hubungan tingkat kepadatan terhadap kadar air

Tingkat kepadatan tanah sangat dipengaruhi oleh sifat konsistensi dan angka pori tanah. Tingkat kepadatan dan angka pori memiliki hubungan yang berbanding terbalik dimana semakin tinggi tingkat kepadatan, maka angka pori akan mengecil begitupun sebaliknya. Peningkatan nilai kepadatan disebabkan oleh keluarnya udara pada pori tanah dimana air yang menggantikan udara dalam pori tanah dapat mempermudah pergerakan butiran-butiran tanah. Akibatnya susunan butiran dalam massa tanah lebih rapat sehingga angka pori semakin mengecil. Adapun penurunan kepadatan diakibatkan oleh kelebihan air yang mengisi pori tanah sehingga dapat memperbesar jarak antara partikel butiran tanah seiring dengan peningkatan nilai angka pori tanah.

B. Pengaruh Kadar Air terhadap Nilai Kohesi (c)

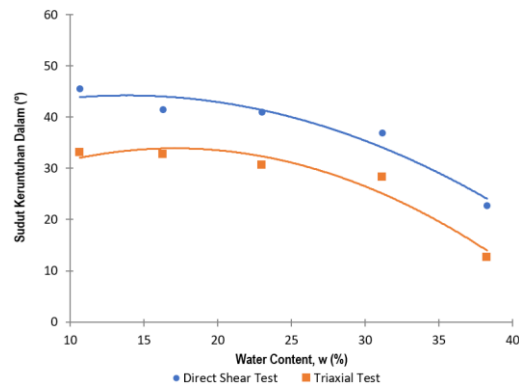
Berdasarkan **tabel 2** dan **gambar 2** dapat dilihat terjadi peningkatan nilai kohesi seiring dengan peningkatan persentasi kadar air hingga mencapai $0,7981 \text{ kg/cm}^2$ pada pengujian *Triaxial* dan $0,5414 \text{ kg/cm}^2$ pada pengujian *Direct Shear* dengan persentasi kadar air 31,18%. Peningkatan air yang melebihi keadaan tersebut akan mengakibatkan terjadinya penurunan nilai kohesi baik yang dihasilkan melalui pengujian *Direct Shear* maupun *Triaxial*. Perubahan nilai kadar air yang merupakan parameter konsistensi tanah berpengaruh terhadap nilai kohesi (c) tanah itu sendiri (Iskandar et al., 2022). Peningkatan nilai kohesi seiring dengan peningkatan persentasi kadar air disebabkan oleh adanya air pada pori tanah dimana air berfungsi untuk mengaktifkan sifat kohesi (tarik menarik) antar butiran lempung. Sementara itu, penurunan nilai kohesi akibat penambahan air yang berlebih disebabkan oleh besarnya volume air yang mengisi pori tanah. Akibatnya, jarak antara parikel butiran tanah lebih besar sehingga gaya tarik menarik antar butiran tanah semakin melemah.



Gambar 2 Grafik hubungan kadar air terhadap nilai kohesi pada pengujian *direct shear test* dan *triaxial test*

C. Pengaruh Kadar Air terhadap Nilai Sudut Keruntuhan Dalam (ϕ)

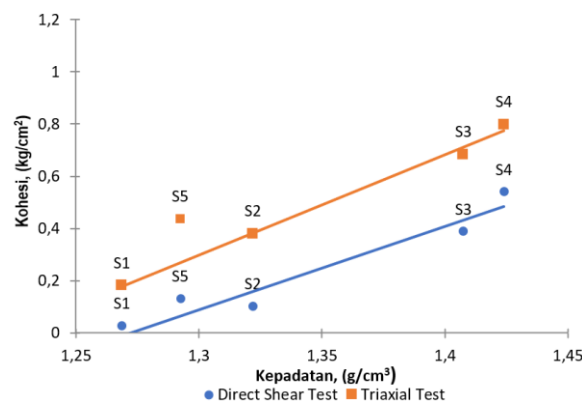
Pada **tabel 2** dan **gambar 3** dapat dilihat terjadi penurunan nilai sudut keruntuhan dalam seiring dengan penambahan kadar air. Sudut keruntuhan dalam menggambarkan respon tanah berupa tegangan geser terhadap peningkatan tegangan normal. Pada persentasi kadar air terendah yaitu 10,66%, sudut keruntuhan dalam menunjukkan nilai paling besar baik yang dihasilkan melalui pengujian *Triaxial* maupun dari pengujian *Direct Shear* dengan nilai berturut-turut $33,0926^\circ$ dan $45,4747^\circ$. Pada persentasi kadar air ini, kondisi tanah gembur dan cenderung kaku jika dipadatkan. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan tegangan yang tinggi akibat penambahan tegangan normal. Sementara itu, pada persentasi kadar air tertinggi yaitu 38,26% dengan sudut keruntuhan dalam hasil pengujian *triaxial* dan *direct shear* berturut-turut yaitu $12,5571^\circ$ dan $22,6961^\circ$ kondisi tanah yang cenderung lunak. Hal ini mengakibatkan respon tanah berupa peningkatan tegangan geser yang rendah terhadap penambahan tegangan normal.



Gambar 3. Grafik hubungan sudut keruntuhan dalam terhadap kadar air pada pengujian *direct shear test* dan *triaxial test*

D. Pengaruh Kepadatan terhadap Nilai Kohesi (c)

Berdasarkan **Tabel 2** serta **Gambar 4**, menunjukkan adanya peningkatan nilai kohesi seiring dengan peningkatan kepadatan tanah yang terjadi. Hal ini tidak terlepas dari peran air dalam mengaktifkan sifat kohesi pada tanah lempung serta angka pori pada suatu massa tanah. Semakin kecil angka pori menyebabkan peningkatan nilai kepadatan, dimana pada keadaan ini jarak antar butiran tanah akan lebih rapat. Sehingga gaya tarik-menarik antar butiran tanah lempung akan mengalami peningkatan, begitupun sebaliknya.

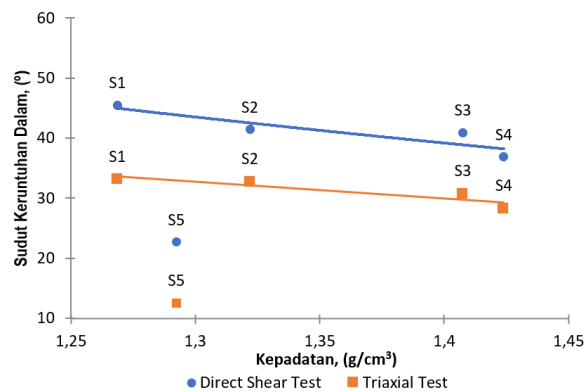


Gambar 4. Grafik hubungan kepadatan terhadap nilai kohesi pengujian *Direct Shear Test* dan *Triaxial Test*

Pada **gambar 4** dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan drastis nilai kohesi pada sampel 5 baik yang dihasilkan melalui pengujian triaxial maupun pengujian direct shear dengan nilai kohesi berturut-turut yaitu 0,7981 kg/cm² dan 0,5414 kg/cm². Meskipun tingkat kepadatan sampel 5 yaitu 1,2924 gr/cm³ lebih rendah dibandingkan dengan tingkat kepadatan sampel 2 yaitu 1,3219 gr/cm³, akan tetapi hasil penelitian menunjukkan nilai kohesi sampel 5 lebih besar dibandingkan dengan nilai kohesi sampel 2. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kondisi antara sampel 2 dan sampel 5. Pada sampel 5 dengan persentase kadar air tertinggi yaitu 38,26%, pori tanah lebih dominan diisi air dibandingkan udara. Sementara pada sampel 2 dengan persentase kadar air 16,29%, pori tanah lebih dominan terisi udara dibanding air.

E. Pengaruh Kepadatan terhadap Sudut Keruntuhan Dalam (ϕ)

Berdasarkan **Tabel 2** sebagaimana yang tergambar pada **Gambar 5** menunjukkan penurunan nilai sudut keruntuhan dalam seiring dengan peningkatan kepadatan tanah. Hal ini tidak terlepas dari peran air yang berpengaruh dalam sifat konsistensi tanah berbutir halus serta angka pori pada suatu massa tanah. Penambahan air ini akan mengakibatkan perubahan kondisi tanah dari gembur atau kaku menuju kondisi cair. Terjadi penurunan nilai sudut keruntuhan dalam yang cukup drastis pada sampel 5 dibandingkan dengan sampel 2, 3 dan 4. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kondisi tanah yang berhubungan dengan sifat konsistensinya. Pada sampel 5, persentasi kadar air mencapai 38,26% dimana pori tanah dominan terisi air dibanding udara sehingga kondisi sampel cenderung lembek sesuai dengan sifat lempung. Sementara itu, meskipun sampel 2 dan 3 memiliki kepadatan yang lebih tinggi, nilai sudut keruntuhan dalamnya juga menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibanding sampel 5. Hal ini disebabkan oleh kondisi sampel 2 dan 3 memiliki sifat sebagaimana pasir yang cenderung gembur dan lepas sehingga sudut keruntuhan yang terbentuk lebih besar dibanding dengan sampel 5.



Gambar 5. Grafik hubungan kepadatan terhadap sudut keruntuhan dalam (ϕ) pada pengujian *Direct Shear Test* dan *Triaxial Test*

F. Perbandingan nilai Kohesi (c) dan Sudut Keruntuhan Dalam (ϕ) pada Pengujian *Direct Shear* terhadap Pengujian *Triaxial*

Selisih nilai kohesi dan sudut geser dalam yang diperoleh melalui pengujian geser langsung dan geser bebas pada kondisi *Unconsolidated Undrained* dapat dibandingkan. Adapun persamaan untuk membandingkan kedua pengujian tersebut yaitu:

$$Rasio = \frac{\text{Hasil pengujian DS}}{\text{Hasil pengujian TX}} \quad (1)$$

Berdasarkan hasil dan perbandingan pada **tabel 2**, dapat dilihat bahwa nilai kohesi yang dihasilkan pada 5 tingkat kepadatan yang berbeda melalui pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*) lebih rendah dibandingkan pada pengujian geser bebas (*Triaxial Test*). Adapun nilai sudut keruntuhan dalam (ϕ) menunjukkan hasil yang berbanding terbalik dimana sudut keruntuhan dalam yang diperoleh melalui pengujian geser langsung lebih tinggi dibanding pada pengujian geser bebas. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kondisi sampel dan sistem pembebanan pada kedua pengujian.

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dalam penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Penambahan air akan meningkatkan nilai kohesi hingga mencapai 0,7981 kg/cm² pada pengujian Triaxial dan 0,5414 kg/cm² pada pengujian Direct Shear dengan persentase kadar air 31,18%. Adapun penambahan air akan mengakibatkan penurunan nilai sudut keruntuhan dalam baik yang dihasilkan melalui pengujian Triaxial maupun Direct Shear. Nilai sudut keruntuhan dalam mengalami penurunan dari 33,0926° dan 45,4747° dengan persentase kadar air 10,66 % hingga 12,5571° dan 22,6961° pada persentase kadar air 38,26%. Kepadatan tanah berbanding lurus terhadap nilai kohesi tanah. Peningkatan nilai kohesi terjadi hingga mencapai kepadatan 1,4239 Kg/cm³ dengan nilai kohesi yang dihasilkan melalui pengujian Triaxial maupun Direct Shear berturut-turut yaitu 0,7981 kg/cm² dan 0,5414 kg/cm². Adapun peningkatan nilai kepadatan akan mengakibatkan penurunan nilai sudut keruntuhan dalam. Pada kepadatan 1,4239 Kg/cm³, nilai sudut keruntuhan dalam yang dihasilkan melalui pengujian Triaxial dan Direct Shear secara berurutan yaitu 12,5571° dan 22,6961°.
2. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya perbedaan nilai kohesi dan sudut keruntuhan dalam yang dihasilkan melalui pengujian Triaxial dan Direct Shear. Nilai kohesi yang dihasilkan pada 5 tingkat kepadatan yang berbeda melalui pengujian Direct Shear lebih rendah dibandingkan pada pengujian Triaxial dengan rasio pada tiap kepadatan secara berurutan yaitu 0,1565, 0,2700, 0,5686, 0,6783 dan 0,3030. Adapun nilai sudut keruntuhan dalam (ϕ) yang diperoleh melalui pengujian Direct Shear lebih tinggi dibanding pada pengujian Triaxial dengan rasio pada tiap kepadatan secara berurutan yaitu 1,3742, 1,2666, 1,3337, 1,3058 dan 1,8074.

B. Saran

Nilai parameter kuat geser tanah dengan persentase butiran halus 88,02 % pada pengujian Triaxial Test dapat dihasilkan melalui pengujian *Direct Shear Test*. dengan menggunakan nilai perbandingan sebagaimana yang telah dihasilkan melalui penelitian ini. Akan tetapi, pemilihan jenis pengujian sebaiknya disesuaikan dengan kondisi pembebanan yang terjadi di lapangan. Selain itu, perlunya dilakukan pengembangan dengan meneliti perilaku parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) dengan variasi ukuran butiran yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J. E. (1979). *Physical and Geotechnical Properties of Soil* (B. J. Clark, F. J. Cerra, & M. Eichberg (eds.)). McGraw-Hill.

Bowles, J. E., & Hainim, J. K. (1984). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah* (Y. Sianipar (ed.); 2nd ed.). Erlangga.

Cetin, H., & Gökoğlu, A. (2013). Soil structure changes during drained and undrained triaxial shear of a clayey soil. *Soils and Foundations*, 53(5), 628–638. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.08.002>

Head, K. H. (1980). *Manual of Soil Laboratory Testing* (Vol. 1). Pentech Press Limited.

Head, K. H. (1982). *Manual of Soil Laboratory Testing* (Vol. 2). Pentech Press Limited.

Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *an Introduction to Geotechnical Engineering* (K. Skrabble (ed.)). Prentice-Hall.

Iskandar, R. M., Djoeddawi, A. A., Karim, A., Alifuddin, A., & Maruddin, M. (2022). Pengujian Kuat Geser Tanah dengan Metode Langsung (Direct Shear) Terhadap Perubahan Persentase Kadar Air. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 4(April), 149–155. <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS>

Karim, A., Supardi, S., Alifuddin, A., & Maruddin, M. (2023). Karakteristik Kekuatan Geser Tanah Terhadap Perubahan Nilai Kepadatan Tanah. *Jurnal Flyover*, 3(2), 69–76. <https://pasca-umi.ac.id/index.php/flyover/article/view/1532>

Liu, C., & Evett, J. B. (1984). *Soil Properties Testing, Measurement, and Evaluation* (M. Carnis (ed.)). Prentice-Hall.

Nurdian, S., Setyanto, & Afriani, L. (2019). Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan Menggunakan Uji Triaksial Dan Uji Geser Langsung Pada Tanah Lempung Substitusi Pasir. *Jrsdd*, 3(1), 13–26. <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/geo>

Soewignjo Agus Nugroho, Agus Ika Putra, & Rugun Ermina. (2012). Korelasi Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Pengujian Triaksial dan Unconfined Compression Strength (UCS). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(1), 1–10. <https://jst.ejournal.unri.ac.id>

Susilo, A. J., Sentosa, G. S., Sumarli, I., & Prihatiningsih, A. (2018). Karakteristik Parameter Kekuatan Tanah yang Dipadatkan dengan Uji Triaksial Metode UU. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 2(2), 572. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v2i2.2721>

Wesley, L. D. (2011). *Mekanika Tanah* (D. Prabantini (ed.); 2nd ed.). ANDI.