

Pengaruh Penambahan Zeolit Dan Kapur Pada Tanah Lempung Terhadap *Direct Shear Test*

Harnasus Kristanto Kadang Bua^{*1a}, Meti^{*2}, Lintje Tammu Tandialla^{*3}

Submit: 12 Februari 2025 ^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, harnasuskristanto41562@gmail.com
Review: 27 Februari 2025 ^{*2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, meti_sipil@ukipaulus.ac.id
Revised: 18 Maret 2025 ^{*3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, lintjettandialla@gmail.com
Published: 31 Maret 2025 ^aCorresponding Author: harnasuskristanto41562@gmail.com

Abstrak

Berbagai permasalahan mungkin timbul selama proses konstruksi, termasuk kondisi tanah yang tidak sesuai untuk digunakan sebagai pondasi proyek konstruksi. Berdasarkan hal tersebut, peneliti mencoba untuk menentukan daya dukung tanah dengan pemanfaatan zeolit dan kapur pada lempung tanah menggunakan metode geser langsung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi karakteristik tanah di Desa Latuppa, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo, dan bagaimana pengaruh zeolit dan kapur terhadap tanah akibat uji geser jangka panjang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan campuran kapur 5% dan variasi zeolit 0%, 5%, 10%, dan 15%. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu: 1) uji karakteristik tanah; dan 2) uji geser langsung. Hasil penelitian karakteristik tanah menunjukkan bahwa tanah, termasuk tanah lempung anorganik. Sudut gesek pada variasi 5% + 0% adalah 19,307° dan meningkat menjadi variasi 5% + 15% sebesar 26,691°. Hasil pengujian geser langsung pada titik 1 kohesi adalah 0,091 kg/cm² dan meningkat menjadi variasi 5% + 15% sebesar 0,159 kg/cm². Sudut gesek pada variasi 5% + 0% adalah 20,488° dan meningkat menjadi variasi 5% + 15% sebesar 26,860°. Pada titik 2, kohesi adalah 0,104 kg/cm³ dan meningkat menjadi Fluktuasi sebesar 0,139 kg/cm³ (5% + 15%). Begitu pula pada titik 3, sudut gesek naik menjadi 25,521° pada variasi 5% + 15% dari 19,785° pada variasi 5% + 0%. Kohesi sebesar 0,119 kg/cm² pada variasi 5% + 0% dan 0,182 kg/cm² pada variasi 5% + 15%. Dengan demikian pada uji geser langsung dengan penambahan zeolit dan kapur dapat menaikkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek (φ).

Kata kunci: Zeolit, Kapur, Tanah Lempung, Geser Langsung

Abstract

In the process of building a construction, various difficulties can be encountered, including soil conditions that do not support being used as a basis for construction work. From this, researchers tried attempted to use direct shear testing to add lime and zeolite to clay soil in an effort to boost the soil's carrying capacity. The purpose of this study is to use direct shear testing to ascertain the properties of the soil in Latuppa Village, Mungkajang District, Palopo City, as well as the impact of adding lime and zeolite to clay soil. A mixture of 5% lime and varying amounts of 0%, 5%, 10%, and 15% zeolite were used in this test. The two phases of this study were the 1) direct shear test and the 2) soil characteristics test. The soil is inorganic clay, according to the findings of tests conducted on its properties. The direct shear test results at point 1 of cohesion for the 5%+0% variation were 0.091 kg/cm² and increased to the 5%+15% variation of 0.159 kg/cm², the shear angle for the 5%+0% variation was 19.307° and increased to the 5%+15% variation of 26.691°. At point 2 the cohesion for the 5%+0% variation is 0.104 kg/cm² and increases to the 5%+15% variation of 0.139

kg/cm², the friction angle for the 5%+0% variation is 20.488° and increases to the 5%+15% variation of 26.860°. Likewise, at point 3, the cohesion obtained for the 5%+0% variation was 0.119 kg/cm² and increased to the 5%+15% variation At 0.182 kg/cm², the friction angle value rose to 25.521° for the 5%+15% variation from 19.785° for the 5%+0% variation. Therefore, adding zeolite and lime can raise the cohesion value (c) and friction angle (φ) in the direct shear test.

Keywords: *Zeolite, Lime, Clay, Direct Shear*

PENDAHULUAN

Kondisi tanah yang tidak sesuai untuk digunakan sebagai pondasi proyek konstruksi adalah salah satu dari beberapa kesulitan yang mungkin timbul selama proses pembangunan. Karakteristik dasar tanah, seperti distribusi ukuran butiran, kapasitas drainase air, kompresibilitas di bawah tekanan, kekuatan geser, dan daya dukung, semuanya termasuk dalam kondisi tanah yang dipertimbangkan. Tujuan stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kualitas tanah. Sejumlah pengujian untuk peningkatan Di antara metode lainnya, lahan disiapkan dengan cara pemadatan atau dengan menggabungkan bahan kimia yang dapat memperkuat tanah. Dengan menggunakan bahan kimia tertentu, jumlah tanah yang runtuh dapat dikurangi dan kekuatannya meningkat, selain mengurangi pembengkakan dan fleksibilitas. Menurut definisi sebelumnya, penggunaan bahan alternative dalam hal ini, zeolit sebagai penstabil merupakan salah satu cara untuk mengatasi kerusakan konstruksi yang disebabkan oleh tanah yang tidak stabil.

Berdasarkan hasil Pengujian Geser Langsung, tanah mengalami peningkatan dengan setiap penambahan abu sekam padi. Nilai Pengujian Geser Langsung tertinggi terjadi pada tanah campuran 20%, yakni sebesar 0,583 kg/cm², sedangkan tanah asli mempunyai nilai Pengujian Geser Langsung paling rendah yaitu sebesar 0,394 kg/cm². [1]. Nilai koefisien korelasi (r) adalah 0,87 dan 0,85 dan termasuk dalam kategori korelasi yang sangat kuat. Sehingga korelasi antara nilai batas cairan dan indeks plastisitas sangat kuat dalam pengaruhnya dengan nilai kohesi tanah. Semakin besar penambahan kandungan pasir, nilai batas cairan, indeks plastisitas, dan kohesi tanah akan menurun. [2]. Hasil penelitian menunjukkan daya dukung tanah sebesar 0,95 ton, nilai sudut gesek dalam sebesar 3,783°, dan nilai kohesi sebesar 0,224 kPa. Oleh karena itu, apabila tanah lempung digunakan untuk konstruksi di kawasan Universitas Kadir, maka daya dukungnya terbatas dan rawan terjadi lumpur. [3]. Pada tanah yang dilakukan pemadatan selanjutnya akan diuji kuat geser menggunakan alat *Direct Shear Test*. Pengaruh energi pemadatan menghasilkan nilai berat kering volume paling besar yaitu 1.36 gr/cm³ untuk tanah Pene dan 1.37 gr/cm³ untuk tanah Konbaki dengan energi sebesar 14.164 kg/cm³ dan jika pemadatan dengan energi berlebihan pada tanah jenis dari kedua desa ini justru menurunkan nilai kepadatan keringnya. Pengaruh energi terhadap kuat geser tanah menghasilkan tanah semakin kuat dengan tingkat kepadatan yang tergolong agak padat sampai dengan sangat padat (36.93° – 61.56°). [4]. Penambahan 10% bahan stabilisasi, diikuti dengan periode pengerasan selama 3 hari, menghasilkan nilai tegangan geser, kohesi, dan sudut gesek maksimum, yang masing-masing adalah 42,62°, 0,172 kg/cm², dan 0,541 kg/cm². Hal ini menunjukkan bagaimana semen dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan kohesi, sudut geser, dan sudut gesek tanah lempung, sehingga meningkatkan kekuatan dan daya dukungnya. [5]. Kekuatan dorong bebas dan geser langsung selanjutnya diuji menggunakan hasil terbaik, di mana nilai CBR perendaman adalah 1,56%, 2,29%, 3,46%, dan 2,24%, dalam hasil penelitian masing-masing. Selanjutnya, nilai qu pada kekuatan tekan bebas naik dari 2.914 kg/cm² untuk tanah asli menjadi 8,774 kg/cm², yang merupakan proporsi untuk serbuk bata 20%. Meskipun demikian, nilai geser menurun, khususnya nilai kohesi tanah awal (Cu) sebesar 0,359 kg/cm², dengan presentase optimum 20% debu bata sebesar 0,321 kg/cm². Khususnya tanah awal 69,882° dengan presentase 20% debu bata sebesar 67,959° menyebabkan nilai geser langsung menurun pada sudut gesek (φ). [6]. Di Dusun Banyu Urip 3, nilai kohesi tanah lempung lunak sebesar 17,83 kPa; di Dusun Banyu Urip 1 sebesar 18,83 kPa; dan di Dusun Banyu Urip 3 sebesar 18,86 kPa. Di Wilayah KTM

Telang, Desa Mulya Sari, nilai kuat geser (t) tanah lempung lunak sebesar 17,87 kPa; di Wilayah Dusun Banyu Urip 1 sebesar 18,79 kPa; dan di Wilayah Dusun Banyu Urip 3 sebesar 18,56 kPa.[7]. Berdasarkan hasil uji geser langsung, pemberian abu eceng gondok dalam jumlah yang berbeda dapat meningkatkan kuat geser tanah hingga 12%. Peningkatan terbesar terjadi pada nilai kohesi (c) yang meningkat dari 0,108 kg/cm² menjadi 0,147 kg/cm², kekuatan geser (τ) berubah dari 0,175 kg/cm² menjadi 0,348 kg/cm², dan sudut gesek (ϕ) berubah dari 25,37° menjadi 28,41°. Penambahan abu eceng gondok dapat meningkatkan daya dukung tanah.[8]. Penggunaan sekam padi dan abu menghasilkan berat tanah adalah 39,22 g/cm, kepadatan tanah adalah 2,34 g/cm, batas cair Atterbag adalah 54,40, batas plastis adalah 40,53, dan indeks plastis adalah 13,67. Tanah ini terdiri dari 55,949% air.[9]. Nilai kuat geser (τ) sebesar 0,198 kg/cm², sudut gesek sebesar 19°, dan kohesi (c) sebesar 0,150 kg/cm², menunjukkan bahwa penambahan air berpengaruh terhadap kuat geser dan daya dukung tanah lempung. Nilai daya dukung tanah sebesar 3,64 kg/cm² dan nilai q_{ijin} sebesar 1,21 kg/cm². [10]. Berdasarkan uji kuat geser, daya dukung tanah (q_{ult}) setelah stabilisasi adalah 4.362 kg/cm² dan sebelum stabilisasi adalah 1.509 kg/cm². Daya dukung tanah (q_{ult}) pada uji kuat tekan bebas adalah 0,171 kg/cm² sebelum stabilisasi dan 0,642 kg/cm² setelah stabilisasi.[11]. Abu bata merah dan plastik PET dapat meningkatkan kekuatan tanah, tergantung pada faktor geser dan konsolidasi tanah. Proporsi kombinasi yang adalah tanah dengan 0,5% plastik PET dan 11% debu bata merah, yang menghasilkan peningkatan kekuatan geser sebesar 259,947%, penurunan laju waktu konsolidasi sebesar 64,214%, dan penurunan luas lahan sebesar 57,116%. [12]. Pada persentase campuran 15% dan masa pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kohesi maksimum sebesar 0,54 kg/cm². Penambahan limbah abu ampas tebu setelah masa pemeraman tertentu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter kuat geser tanah, berdasarkan hasil uji hipotesis yang dilakukan dengan pendekatan ANOVA dua arah.[13]. Setelah tiga hari proses curing, nilai kuat geser tanah (τ) sebesar 0,181 kg/cm² dengan variasi 5%, 10%, dan 15% berupa pasir, debu bata, dan abu sekam padi, berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik. Nilai yang diperoleh adalah pasir zirkon 10% (τ) = 0,177 kg/cm², pasir zirkon 15% (τ) = 0,183 kg/cm², debu bata 5% (τ) = 0,195 kg/cm², debu bata 10% (τ) = 0,203 kg/cm², dan debu bata 15% (τ) = 0,211 kg/cm². Seiring dengan perubahan campuran, persentase nilai kuat geser meningkat antara tanah pondasi yang mengandung pasir zirkon 0,2%, debu bata 3,3%, dan abu sekam padi 3%. [14]. Hasil penelitian menunjukkan tegangan geser dan tingkat tegangan normal. Nilai tegangan normal Sampel 1 adalah 2,540 kPa saat berat 0,8 kg, nilai tegangan normal Sampel 2 adalah 5,012 kPa saat beban 1,593 kg, dan nilai tegangan normal Sampel 3 adalah 10,110 kPa saat beban 3,163 kg.[15].

METODOLOGI

A. Lokasi Pengambilan Sampel

Pengujian sampel tanah dilakukan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik tanah di Desa Laptuppa, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo. Pengambilan sampel tanah dan perlengkapan laboratorium merupakan langkah awal dalam prosedur pengujian sampel untuk penelitian ini.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Zeolit

B. Tanah Lempung

Tanah Lempung yang mempunyai sifat kohesi dan fleksibilitas yang kuat disebut tanah liat, umumnya berwarna coklat muda. Karena partikel lempung terbentuk seperti lembaran dengan permukaan yang unik, gaya permukaan memiliki pengaruh terhadap karakteristik lempung. Kumpulan partikel berukuran koloid dengan diameter butiran kurang dari 0,002 mm terbentuk selama pelapukan sebagai akibat interaksi kimia.

C. Pelaksanaan Penelitian

Analisis data hasil penelitian ini dilakukan dengan analisis dan pembahasan yang sesuai rumusan dan tujuan yang akan dicapai sebagai berikut:

1. Pengujian sifat fisik tanah

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan sesuai dengan metode ASTM (*Americans Society for Testing*), pengujian yaitu, pengujian untuk berat jenis tanah (ASTM 854), kadar air (ASTM 2216), dan batas Atterberg (ASTM 4318-95).

2. Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji geser langsung mengukur kohesi dan sudut geser alat uji geser langsung dalam keadaan terkonsolidasi untuk menghitung besarnya parameter kuat geser pada tanah. Pengujian geser dilakukan secara langsung menggunakan ASTM 2116-68. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah pengujian *Direct Shear Test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Dari hasil pengujian sifat fisik Tanah, didapatkan nilai hasil pengujian pada titik 1, titik 2 dan titik 3 :

Kadar air titik 1: 28,04% , titik 2 : 29,31%, dan titik 3 : 28,26%.

Berat jenis titik 1 : 2,71, titik 2 : 2,72, dan titik 3 : 2,69.

Batas cair (*liquid limit*) titik 1 : 43,08% , titik 2 : 41,92%, dan titik 3 : 38,32%

Batas Plastis (*Plastic Limit*) titik 1 : 23,33% , titik 2 : 22,56% , dan titik 3 : 19,51%

Batas susut (*shrinkage Limit*) titik 1 : 6,86% , titik 2 : 5,51% , dan titik 3 : 2,21%

Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) titik 1 : 19,75% , titik 2 : 19,36%, dan titik 3 : 18,81%

Gradasi butiran untuk presentasi lolos saringan 200 titik 1 : 78,612% , titik 2 : 81,436% , dan titik 3 : 81,301%

kerikil titik 1 : 0% , titik 2 : 0% , dan titik 3 : 0%

Pasir titik 1 : 21,388% , titik 2 : 18,564% , dan titik 3 : 18,699%

Lanau titik 1 : 36,948% , titik 2 : 37,788%, dan titik 3 : 33,685%

Lempung titik 1 : 41,664% , titik 2 : 43,648%, dan titik 3 : 47,616%



Gambar 3. Benda Uji

B. Hasil Pengujian Direct Shear

Nilai kohesi dan sudut geser yang diperoleh dari setiap proporsi penambahan kapur dan zeolit ditunjukkan di bawah ini berdasarkan temuan uji geser langsung:

1. Pengujian Geser Langsung pada tanah asli untuk titik 1, 2, dan 3

Tabel 1. Kohesi pada tanah asli untuk titik 1, 2, dan 3

Percobaan	Kohesi (kg/cm ²) titik 1	Kohesi (kg/cm ²) titik 2	Kohesi (kg/cm ²) titik 3
1	0,090	0,093	0,131
2	0,092	0,115	0,107

Dari hasil uji geser langsung pada variasi 0 % pada titik 1, 2, dan 3 untuk percobaan 1 didapatkan Nilai kohesi Pada percobaan 2, nilainya naik menjadi 0,092 kg/cm² dari 0,068 kg/cm². Pada percobaan 1, nilai kohesi adalah 0,093 kg/cm² pada titik 2, sedangkan pada percobaan 2, nilainya naik menjadi 0,115 kg/cm². Pada percobaan 1, nilai kohesi adalah 0,131 kg/cm² pada titik 3, namun pada percobaan 2, nilainya turun menjadi 0,107 kg/cm².

Tabel 2. Sudut geser pada tanah asli untuk titik 1, 2, dan 3

Percobaan	Sudut geser (°) titik 1	Sudut geser (°) titik 2	Sudut geser (°) titik 3
1	18,459	20,210	18,943
2	20,154	20,767	20,628



Gambar 4. Grafik Kohesi dan Sudut Geser Pada Tanah Asli Untuk Titik 1, 2, dan 3

Nilai sudut geser pada percobaan 1 adalah 18,459° berdasarkan hasil uji geser langsung pada variasi 0% di titik 1, 2, dan 3. Pada percobaan 2, nilai sudut geser naik menjadi 20,154°. Pada percobaan pertama, nilai sudut geser pada titik 2 adalah 20,210°; pada percobaan kedua, naik menjadi 20,767°. Nilai sudut geser pada titik 3 pada percobaan 1 adalah 18,943°, sedangkan pada percobaan 2, naik menjadi 20,628°.

2. Pengujian Geser Langsung setelah penambahan kapur dan zeolit pada titik 1

Tabel 3. Variasi kapur + zeolit dan kohesi pada titik 1

Variasi kapur + zeolit (%)	Kohesi (kg/cm ²)
0	0,091
5	0,114
10	0,122
15	0,159

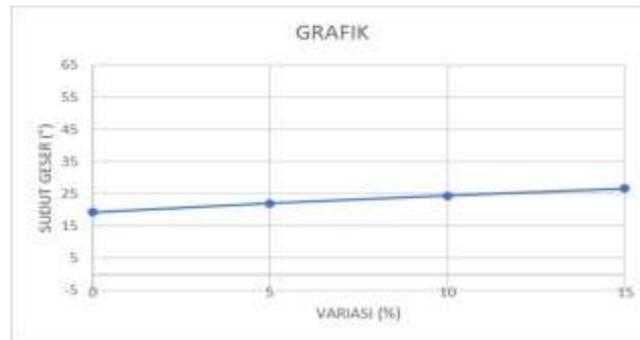


Gambar 5. Grafik Variasi Kapur + Zeolit dan Kohesi Pada Titik 1

Dari grafik variasi kapur + zeolit dan kohesi pada titik 1 dengan variasi 0% nilai kohesi tanah (c) meningkat sebesar 75,38%, dari 0,091 kg/cm², setelah penambahan 5% zeolit meningkat menjadi 0,114 kg/cm², pada zeolit 10% meningkat menjadi 0,122 kg/cm², dan pada zeolit 15% terus meningkat menjadi 0,159 kg/cm².

Tabel 4. Variasi kapur + zeolit dan sudut geser pada titik 1

Variasi Kapur + Zeolit (%)	Sudut Geser (°)
0	19,307
5	22,089
10	24,388
15	26,691



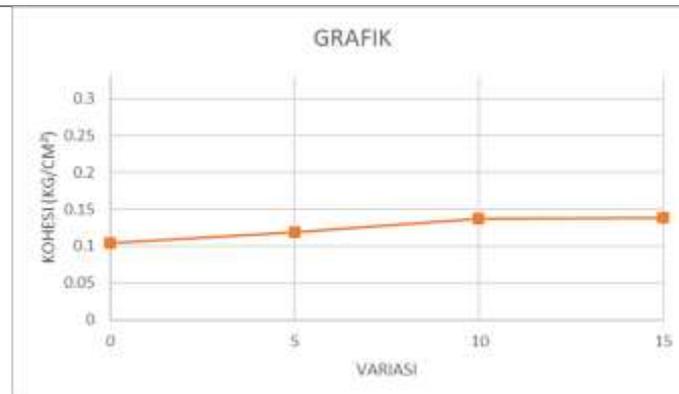
Gambar 6. Grafik Variasi Kapur + Zeolit dan Sudut Geser Pada Titik 1

Dari grafik variasi kapur + zeolit dan sudut geser tanah (ϕ) meningkat sebesar 38,25%. Pada variasi 0% diperoleh sebesar 19,307°, setelah ditambah 5% zeolit nilai sudut geser meningkat menjadi 22,089°, pada 10% meningkat menjadi 24,388°, dan pada 15% terus meningkat menjadi 26,691°.

1. Pengujian Geser Langsung setelah penambahan pada titik 2

Tabel 5. Variasi Kapur + Zeolit dan Kohesi Pada Titik 2

Variasi Kapur + Zeolit (%)	Kohesi (kg/cm ²)
0	0.104
5	0.118
10	0.137
15	0.139

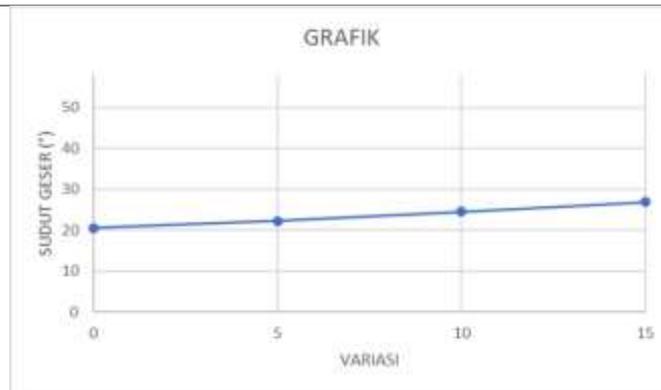


Gambar 7 Grafik Variasi Kapur + Zeolit dan Kohesi Pada Titik 2

Dari grafik variasi serat ijuk dan kohesi pada titik 1 dengan variasi 0% nilai kohesi tanah (c) diperoleh sebesar 0,104 kg/cm², setelah penambahan 5% zeolit meningkat menjadi 0,118 kg/cm², pada 10% meningkat menjadi 0,137 kg/cm², dan pada 15% terus meningkat menjadi 0,139 kg/cm². Meningkat sebesar 33,16%

Tabel 6. Variasi Kapur + Zeolit dan Sudut Geser Pada Titik 2

Variasi Kapur + Zeolit (%)	Sudut Geser (°)
0	20,488
5	22,187
10	24,454
15	26,860



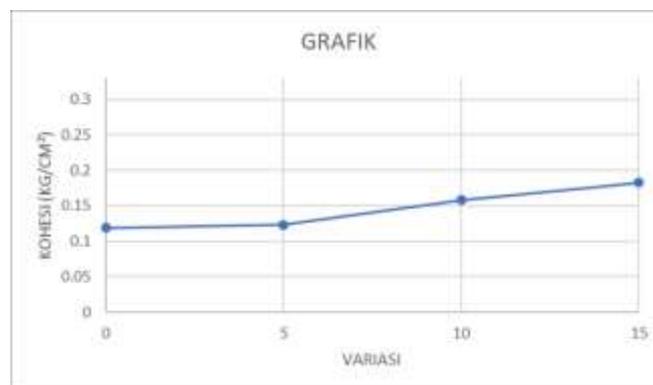
Gambar 8. Grafik Variasi Kapur + Zeolit dan Sudut Geser Pada Titik 2

Dari grafik variasi kapur + zeolit dan sudut geser tanah (ϕ) pada variasi 0% diperoleh sebesar 20,488°, setelah ditambah 5% zeolit nilai sudut geser meningkat menjadi 22,187°, pada 10% meningkat menjadi 24,454°, dan pada 15% terus meningkat menjadi 26,860°. Meningkatkan sebesar 31,10%.

1. Pengujian Geser Langsung Setelah Penambahan pada Titik 3

Tabel 7. Variasi Kapur + Zeolit dan Kohesi Pada Titik 3

Variasi Kapur + Zeolit (%)	Kohesi (kg/cm ²)
0	0,119
5	0,123
10	0,158
15	0,182



Gambar 9 Grafik Variasi Kapur + Zeolit dan Kohesi Pada Titik 3

Dari grafik variasi kapur + zeolit dan kohesi pada titik 1 dengan variasi 0% nilai kohesi tanah (c) diperoleh sebesar 0,119 kg/cm², setelah penambahan 5% zeolit meningkat menjadi 0,123 kg/cm², pada 10% zeolit

meningkat menjadi 0,158 kg/cm², dan pada 15% terus meningkat menjadi 0,182 kg/cm². Meningkat sebesar 53,34%.

Tabel 8. Variasi Kapur + Zeolit dan Sudut Geser pada Titik 3

Variasi Kapur + Zeolit (%)	Sudut Geser (°)
0	19,785
5	21,949
10	24,059
15	25,521



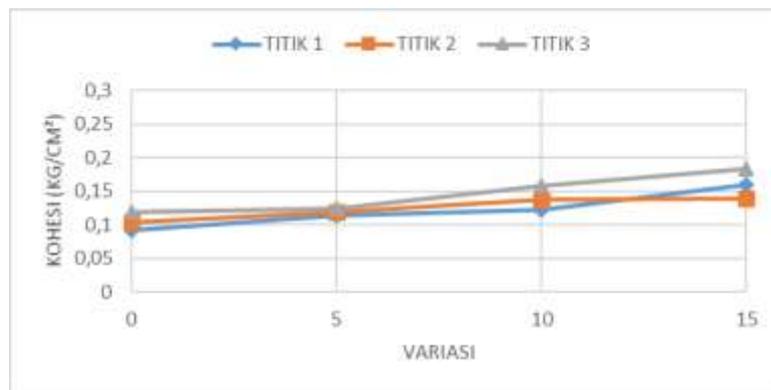
Gambar 10. Grafik Variasi Kapur + Zeolit dan Sudut Geser pada Titik 3

Dari grafik variasi kapur + zeolit dan sudut geser tanah (ϕ) pada variasi 0% diperoleh sebesar 19,785°, setelah ditambah 5% zeolit nilai sudut geser meningkat menjadi 21,949°, pada 10% meningkat menjadi 24,059°, dan pada 15% terus meningkat menjadi 25,521°. Meningkat sebesar 28,99%. Nilai sudut geser dalam tanah terus meningkat sehingga daya dukung tanah semakin meningkat karena semakin tinggi kekuatannya.

Tabel 9. Variasi Kapur + Zeolit dan Kohesi Pada Titik 1, 2, dan 3

Varisi Zeolit + Kapur (%)	Kohesi (c) Titik 1	Kohesi (c) Titik 2	Kohesi (c) Titik 3
0	0,091	0,104	0,119
5	0,114	0,118	0,123
10	0,122	0,137	0,158
15	0,159	0,139	0,182

Pengujian *direct shear* dengan penambahan kapur + zeolit pada sampel tanah dapat dilihat pada grafik variasi kapur + zeolit dan kohesi pada titik 1, 2, dan 3 dapat dilihat bahwa sampel tanah yang dicampurkan dengan kapur + zeolit mengalami peningkatan nilai kohesi setiap penambahan variasi. Hal ini disebabkan oleh penambahan kapur dan zeolit yang menyebabkan butiran tanah membentuk gaya tarik menarik antara tanah dengan kapur dan zeolit sehingga tanah menjadi lebih padat dan lengket. Pada titik 1 nilai kohesi sebesar 0,091 kg/cm². Pada penambahan zeolit 5% nilai kohesi meningkat menjadi 0,114 kg/cm². Pada penambahan 10% nilai kohesi meningkat menjadi 0,122 kg/cm² dan pada penambahan 15% nilai kohesi meningkat sebesar 0,159 kg/cm². Selain itu terjadi peningkatan kohesi pada titik contoh tanah 2, dimana nilai kohesi sebesar 0,104 kg/cm² pada variasi 0% dan meningkat sebesar 0,118 kg/cm²/penambahan zeolit 5%, Nilai kohesi meningkat sebesar 0,137 kg/cm² ketika zeolit 10% ditambahkan, dan terus meningkat sebesar 0,139 kg/cm² ketika zeolit 15% ditambahkan.



Gambar 11 Perbandingan Nilai Kohesi

1. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik tanah dari, Kelurahan Latuppa, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo didapatkan nilai-nilai sebagai berikut:
 - a. Hasil uji kadar air tanah awal menunjukkan bahwa pada titik 1 sebesar 28,04%, pada titik 2 sebesar 29,31%, dan pada titik 3 sebesar 28,26%.
 - b. Berdasarkan hasil uji berat jenis tanah, pada titik 1 diperoleh nilai masing-masing sebesar 2,71, 2,72, dan 2,69. Berdasarkan tabel klasifikasi berat jenis tanah dan gambar, tanah yang diteliti termasuk dalam golongan tanah lempung anorganik.
 - c. Pada titik 1, batas cair sebesar 43,08%, batas plastis sebesar 23,33%, batas susut sebesar 6,86%, dan indeks plastisitas sebesar 19,75%. Pada titik 2, batas cair sebesar 41,92%, batas plastis sebesar 22,56%, batas susut sebesar 5,51%, dan indeks plastisitas sebesar 19,36%. Pada titik 3, batas cair sebesar 38,32%, batas plastis sebesar 19,51%, batas susut sebesar 2,21%, dan indeks plastisitas sebesar 18,81%, menurut hasil uji batas Atterberg yang dilakukan terhadap contoh tanah asal yang diperiksa di laboratorium mekanika tanah. Menurut klasifikasi tanah USCS, tanah tersebut termasuk dalam kelompok CL karena memiliki jenis lempung berdebu dan plastisitas sedang.
2. Berdasarkan hasil pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*) pada tanah dari Kelurahan Latuppa, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo dengan penambahan zeolit dan kapur didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Nilai kohesi (c) pada titik variasi 0% 1 sebesar 0,091 kg/cm², titik 2 sebesar 0,104 kg/cm², dan titik 3 sebesar 0,119 kg/cm²; pada titik variasi 5% 1 sebesar 0,114 kg/cm², titik 2 sebesar 0,118 kg/cm², dan titik 3 sebesar 0,123 kg/cm²; pada titik variasi 10% 1 sebesar 0,122 kg/cm², titik 2 sebesar 0,137 kg/cm², dan titik 3 sebesar 0,158 kg/cm²; pada variasi 15% titik 1 adalah 0,159 kg/cm², pada titik 2 adalah 0,139 kg/cm², dan pada titik 3 adalah 0,182 kg/cm². Dapat dilihat dari ketiga titik sampel tanah terus mengalami peningkatan nilai kohesi, dengan peningkatan nilai kohesi terbesar terdapat pada penambahan 15% kapur dan zeolit. Hal ini diakibatkan oleh penambahan kapur dan zeolit pada sampel tanah yang mampu menimbulkan gaya tarik menarik antar kapur + zeolit dan tanah dan membuat tanah tersebut lebih lekat dan padat seiring dengan penambahan kapur dan zeolit.
 - b. Nilai sudut geser (ϕ) pada variasi 0% pada titik 1 sebesar 19,307°, pada titik 2 sebesar 20,488°, dan pada Sudut geser (ϕ) pada variasi 0% adalah 19,307°, 20,488°, dan 19,785° di titik 1; pada variasi 5% adalah 22,089°, 22,187°, dan 21,949° di titik 1; pada variasi 10% adalah 24,388°, 24,454°, dan 24,059° di titik 1; pada variasi 15% adalah 26,691°, 26,860°, dan 25,521° di titik 1. Penambahan kapur dan zeolit pada sampel tanah menyebabkan nilai sudut geser terus meningkat, menurut hasil pengujian geser langsung. Gaya gesek yang dihasilkan dari penambahan kapur dan zeolit mungkin menjadi penyebabnya, dengan penambahan zeolit 15% menyebabkan peningkatan terbesar.

KESIMPULAN

Sistem klasifikasi tanah AAHSTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) menempatkan karakteristik tanah Desa Latuppa, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo, pada klasifikasi golongan A-7-6, sedangkan sistem USCS (Unified Soil Classification System) menempatkannya pada kategori CL. Karena kapur dan zeolit berfungsi menahan gaya gesek, maka penambahannya pada tanah lempung dapat mengakibatkan kenaikan nilai kohesi (c) dan sudut gesek (ϕ) menurut uji geser langsung. Nilai kohesi dan sudut gesek meningkat seiring dengan prosentase penambahan kapur dan zeolit. Penambahan zeolit 15%^o dan kapur 5% menghasilkan nilai kohesi dan sudut gesek yang paling besar.

REFERENSI

- [1] I. R. Iwan Ristanto, R. Adiyawar Shidiq, and H. Aski Safarizki, "Analisis Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Abu sekam Padi Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah," *inisiasi*, pp. 39–48, Jun. 2024, doi: 10.59344/inisiasi.v13i1.221.
- [2] H. Surahman and W. Lestari, "Hubungan Antara Batas Cair dan Indeks Plastisitas Terhadap Nilai Kohesi Tanah Lempung yang Dicampur Pasir Pantai dan Abu Kayu pada uji Direct Shear," *device*, vol. 13, no. 2, pp. 141–146, Nov. 2023, doi: 10.32699/device.v13i2.5235.
- [3] K. Nisa', A. I. Candra, M. A. A. Hanafi, R. Heru, and A. Rivianto, "Analisa Ketahanan Geser Tanah Lempung di Wilayah Universitas Kadirri dengan Uji Kuat Geser Langsung," *jurissipil*, vol. 6, no. 1, p. 11, Sep. 2022, doi: 10.20961/jrrs.v6i1.61580.
- [4] Ronny S. Poyk, Tri M. W. Sir, and Jusuf J. S. Pah, "Pengaruh Jenis Energi Pemasakan Tanah di Laboratorium Terhadap Karakteristik Tanah Lempung dari Desa Pene dan Desa Konbaki Kabupaten TTS," *KoNTekS*, vol. 2, no. 4, Jan. 2025, doi: 10.62603/konteks.v2i4.181.
- [5] W. N. Purwati, R. Rokhman, and H. Pristianto, "Pengaruh Kadar Semen Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau Dari Kuat Geser Tanah," *JTSRB*, vol. 5, no. 1, p. 42, Mar. 2019, doi: 10.33506/rb.v5i1.745.
- [6] V. V. Gracella, B. Nugroho, and I. Kamil, "Pengaruh Karakteristik Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Bahan Tambah Serbuk Batu Bata," *j.poltekba*, 2021.
- [7] R. Kurniawan, S. Hidayat, D. Wahyuni, and Y. Sutejo, "Kuat Geser Tanah Lempung Lunak di Kabupaten Banyuasin," *Teknika*, vol. 10, no. 1, p. 20, Aug. 2023, doi: 10.35449/teknika.v10i1.239.
- [8] A. A. Pasac, I. L. K. Wong, and L. T. Tangdialla, "Pengaruh Penambahan Abu Eceng Gondok Pada Tanah Lempung Dengan Pengujian Direct Shear," *pcej*, vol. 6, no. 2, 2024.
- [9] I. L. K. Wong, I. Apriyani, and E. Sriwinda, "Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Kapur Terhadap Tanah Lempung di Tawalian Timur Kabupaten Mamasa," *pcej*, vol. 5, no. 3, pp. 426–437, Sep. 2023, doi: 10.52722/pcej.v5i3.706.
- [10] D. Kurnia, F. Sarie, and S. Gandi, "Pengaruh Penambahan Air Terhadap Kuat Geser Tanah dan Daya Dukung Tanah Lempung," *JK*, vol. 4, no. 2, p. 202, Feb. 2022, doi: 10.31602/jk.v4i2.6427.
- [11] A. Amania, F. Sarie, and O. Okrobianus, "Pengaruh Penambahan Pasir Sirkon, Abu Kayu Dan Fly Ash Pada Tanah Lempung Terhadap Daya Dukung Dan Kuat Geser Tanah," *publ. ris. n.a. politek. n.a. prot.*, vol. 3, no. 2, pp. 63–70, Jan. 2022, doi: 10.26740/proteksi.v3n2.p63-70.
- [12] R. T. Eryuningsih and S. Wulandari, "Pengaruh Penambahan Serbuk Bata Merah dan Limbah Polyethylene Terephthalate pada Tanah Lempung," *jts*, vol. 20, no. 1, pp. 111–125, Apr. 2024, doi: 10.28932/jts.v20i1.6644.
- [13] B. H. Saputri, D. Novianto, and M. Sholeh, "Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah," *j.polinema*, vol. 4, 2023.
- [14] E. P. Ara, S. Gandi, and F. Sarie, "Perbandingan Penggunaan Abu Sekam Padi, Serbuk Batu Bata, dan Pasir Sirkon Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung," *JK*, vol. 4, no. 1, p. 244, Jun. 2021, doi: 10.31602/jk.v4i1.5273.
- [15] D. Mahendra, A. I. Candra, F. W. M. Aisyah, R. Heru, and A. Rivianto, "Stabilisasi Tanah Lempung Berpasir Melalui Uji Kuat Geser Langsung dengan Menggunakan Mesin Direct Shear Test," *j.of Sustainable civ. Engineering (JOSCE)*, vol. 4, no. 02, Oct. 2022, doi: 10.47080/josce.v4i02.2042.