

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TOHOR TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH LEMPUNG LUNAK

Siti Nur Afia Jayanti^{1*}, Revianty Nurmeyliandari², Ghina Amalia³
^{1), 2), 3)}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri
* Email : Jayantiafia@gmail.com

ABSTRAK

Tanah memainkan peranan penting dalam teknik sipil karena merupakan komponen fundamental dalam konstruksi bangunan. Tergantung pada letak geografis tanah tersebut memiliki fitur sifat dan jenis yang tidak selalu sama. Jenis tanah yang umum adalah tanah liat. Di Palembang terdapat suatu wilayah yang terdapat tanah lempung yang salah satunya di Jalan R. Dentjik Asaari, Kecamatan Talang Kelapa, Kota Palembang Oleh karena itu dilakukan penelitian pengaruh stabilisasi tanah dengan penambahan kapur tohor pada tanah lempung untuk mendapatkan hasil nilai maksimum kuat geser tanah (Direct Shear). Stabilisasi yang bisa dilakukan pada lempung salah satu cara melunakkannya adalah dengan menambahkan bahan kimia seperti kapur tohor. Hasil dari pengujian direct shear mendapatkan nilai pemasangan 0,336 kg/cm² pada sampel tanah asli. Pada pengujian direct shear dengan variasi campuran tanah asli + 5% kapur tohor mendapatkan nilai sebesar 0.398 kg/cm², pada variasi campuran tanah asli + 15% kapur tohor nilai kohesi mengalami penurunan sebesar 15% dari nilai kohesi tanah asli. Pengujian direc shear pada variasi campuran tanah asli + 20% kapur tohor mengalami peningkatan tertinggi sebesar 135.05% dari nilai kohesi tanah asli

Kata Kunci : Tanah, Kapur Tohor, Kuat Geser, Kadar Air

ABSTRACT

Soil has an important role in civil engineering, because soil is the basic supporting component of building construction. Based on geographical location, land has characteristics and types that are not always the same. A common type of soil is clay soil. In Palembang there is an area where there is clay soil, one of which is on Jalan R. Dentjik Asaari, Talang Kelapa District, Palembang City. Therefore, research was carried out on the effect of soil stabilization by adding quicklime to clay soil to get maximum results on the shear strength value of the soil. (Direct Shear). By increasing the bearing capacity of the soil by increasing soil parameters such as . One way to stabilize soft clay is by adding chemicals such as quicklime. The results of the direct shear test obtained a cohesion value of 0.336 kg/cm² on the original soil sample. In the direct shear test with a variation of the original soil mixture + 5% quicklime, the value was 0.398 kg/cm², with a variation of the original soil mixture + 15% quicklime the cohesion value decreased by 15% from the original soil cohesion value. Direct shear testing on variations of the original soil mixture + 20% quicklime experienced the highest increase of 135.05% of the original soil cohesion value.

Keywords : Soil, calcium oxide, Shear Strength, Water Content

PENDAHULUAN

Tanah memainkan peranan penting dalam teknik sipil karena merupakan komponen fundamental dalam konstruksi bangunan (Landangkasiang dkk, 2020). Kekuatan dari sebuah bangunan tanah seperti bendungan, Gedung dan juga jalan raya didukung oleh sifat kepadatan serta kekuatan dari tanah (Terzaghi & Peck, 2012).

Dalam dunia konstruksi pengaruh tanah sangatlah besar, maka dari itu dalam perencanaan konstruksi perlu diperhatikan perencanaannya (Mukramin et al., 2018). Berdasarkan ukuran partikelnya tanah dibagi menjadi 3 yakni tanah berlumpur, tanah lempung, dan pasir (Slesak et al, 2017).

Tanah liat mengalami perubahan kadar air musiman, yang terjadi di daerah yang disebut zona aktif. Perubahan ini disebabkan oleh siklus musiman basah dan kering yang mempengaruhi perubahan ketinggian air. Sifat pada tanah sangat di pengaruhi pada perubahan kadar air (Lestari, 2023). Perubahan kadar air menyebabkan perubahan kuat geser (Tjandra, 2015). Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan alternatif penanganan salah satu caranya adalah dengan stabilisasi (Wesley, 2012). Bahan yang dapat digunakan dalam stabilisasi ialah semen portland, kapur, dan bitumen (Furlan, 2018). Stabilisasi tanah ialah cara untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah agar dapat memenuhi spesifikasi teknis (Hardiyatmo, 2010).

Stabilisasi yang bisa dilakukan pada lempung lunak salah satunya solusinya adalah dengan menambahkan bahan kimia seperti kapur tohor. Kapur tohor (CaO) ialah hasil dari pembakaran batu kapur dengan suhu $\pm 900^{\circ}\text{F}$, dengan komposisi yang didominasi oleh kalsium karbonat (CaCO_3) kapur ini ialah salah satu material dari pembangunan yang sudah lumrah digunakan. Penggunaan kapur ini bertujuan untuk mencegah alur-alur serta disintegrasi pada

permukaan jalan (SNI 4147-1996).

Uji kuat geser adalah kemampuan atau kekuatan tanah yang melawan suatu geseran Ketika tanah menerima beban (Perubahan et al., 2019). Tujuan dari kuat geser tanah ialah memperoleh nilai kohesi serta sudut geser dan bisa mengklasifikasikan tanah tersebut termasuk tanah longsor atau tidak (Makkar, Chandrakaran and Sankar, 2019).

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya tabilisasi tanah Dengan menambahkan kapur tohor pada tanah liat maka didapat hasil optimal dalam hal nilai ketahanan geser tanah (*Direct Shear*). Dalam hal ini Parameter kuat geser tanah berguna untuk perhitungan daya dukung dari tanah (Behnood, 2018). Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan daya dukung tanah dengan memperbaiki parameter tanah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium, dalam penelitian ini menggunakan tanah liat lunak terganggu yang berasal dari kawasan Jalan R. Dentjik Asaari, Kecamatan Talang Kelapa, Kota Palembang. Metode penelitian yang digunakan meliputi penggunaan metode eksperimen atau percobaan laboratorium dengan sampel tanah liat terganggu dan bahan tambahan kapur tohor.

Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan Data primer adalah data yang dikumpulkan langsung di lokasi penelitian. Data primer diperoleh dalam bentuk pengambilan sampel dengan menentukan tekstur dan stabilitas tanah dari sampel tanah yang terganggu. Sampel tanah ini akan dilakukan pengujian analisis ukuran partikel, batas *Atterberg* (batas cair dan batas plastis), massa jenis, pemadatan, dan triaksial.

Tahapan Pengujian

Tahapan – tahapan pengujian laboratorium sebagai berikut:

- a. Kadar Air
Adalah salah satu indikator sifat yang berfungsi untuk mengkorelasikan perilaku sifat-sifat tanah. Tanah yang berbutir halus bergantung terhadap kadar airnya. Sedangkan kadar air tanah berketerkaitan pada batas cair dan batas plastis, yang digunakan untuk menyatakan indeks konsistensi relatif atau kemampuan mengalir. Pengujian ini menggunakan cetakan SNI 1965:2008.
- b. Analisis Saringan
Pengujian analisis saringan mengacu pada SNI 3432: 2008 (Metode Uji Analisis Ukuran Partikel Tanah) dan ASTM D 6913 (Metode Uji Standar Distribusi Ukuran Partikel (Hierarki) Tanah dengan Analisis Saringan). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel tanah.
- c. Batas-batas Atterberg
- Batas Cair (Liquid Limit) yaitu kadar air dimana tanah tidak lagi bersifat plastis dan mulai berubah sifat. Uji batas cair acuan SNI 1967:2008 (Cara uji batas cair tanah).
- Batas plastis adalah tingkat dimana tanah tidak lagi bersifat plastis. Periksa batas resin referensi SNI 1966:2008 (Cara uji batas plastis tanah).
- d. Berat Jenis Tanah
Berat jenis tanah (massa jenis tanah) adalah massa tanah kering yang mengisi rongga-rongga pada lapisan tanah. Oleh karena itu, kepadatan tanah adalah massa per satuan tanah kering. Tujuan pengujian ini untuk melihat kerapatan butiran tanah. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 1964:2008.
- e. Pematatan
Untuk mengetahui hubungan antara kadar air dengan massa jenis/massa volumetrik

serta menilai apakah kepadatan tanah memenuhi persyaratan kepadatan, perlu dilakukan 30 kali uji pematatan, termasuk uji kepadatan tanah di laboratorium dengan menggunakan uji Proctor. Proctor (1993) mengusulkan keterkaitan kadar air dan juga kepadatan kering untuk berbagai jenis tanah. Umumnya terdapat nilai kadar air yang optimal untuk mencapai kepadatan tanah yang maksimal. Pengujian ini mengacu pada SNI 1742:2008 (Kepadatan tanah standar).

f. Direct Shear Test

Uji geser langsung dikerjakan di laboratorium, yaitu beban yang diberikan pada suatu massa tanah akan selalu menghasilkan suatu tegangan yang besarnya berbeda. Teori dasar kuat geser tanah adalah bahwa perputaran tanah di bawah zona yang dibebani atau kadang-kadang keruntuhan merupakan suatu pergerakan terbatas, betapapun besarnya, yang dapat menyebabkan keruntuhan struktur. Semua retakan yang ditampilkan merupakan retakan geser karena adanya pergerakan dan yang terjadi adalah luncuran diantara kedua permukaan tersebut..

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan contoh tanah liat lunak dihentikan dengan penambahan kapur tohor untuk menguji ketahanan terhadap geser langsung (*Direct Shear Test*). Perbedaan subjek uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Metode Pengujian	Material Dan Komposisi Campuran	Jumlah Sampel	Total Sampel
Direct Shear	Tanah + 0% Kapur	3	12
	Tanah + 5% Kapur	3	
	Tanah + 15% Kapur	3	
	Tanah + 20% Kapur	3	

Tabel 1. Variasi benda uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kadar Air Tanah

Analisis elevasi permukaan air

bertujuan untuk mengetahui ketinggian permukaan air bawah tanah. Hasil pengukuran tinggi permukaan air disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Uji Kadar Air Tanah

Uraian	Simbol	Satuan	Hasil	
			Sampel 1	Sampel 2
Berat Cawan	W1	Gram	23,65	23,31
Berat Cawan + Tanah Basah	W2	Gram	18,63	18,23
Berat Cawan + Tanah Kering	W3	Gram	4,14	3,60
Berat Air	$W_w = W2 - W1$	Gram	5,02	5,08
Berat tanah kering	$W_s = W3 - W1$	Gram	14,49	16,63
Rasio air	$W = (W_w / W_s) \times 100\%$	%	34,65	34,72
Rasio air rata-rata	$W_{rata-rata}$	%	34,68%	

Berdasarkan ketinggian air yang telah dilakukan pada sampel tanah lempung disturbed dari wilayah Jalan R. Dentjik Asaari, Kecamatan Talang Kelapa, Kota Palembang, didapatkan nilai rata-rata ketinggian air sebesar 34,68 %.

Uji Berat Jenis Tanah

Uji berat jenis dimaksudkan untuk mengetahui kepadatan spesifik suatu contoh tanah dengan menggunakan altimeter. Kepadatan tanah ialah suatu perbandingan berat partikel padat dengan berat air suling dalam volume udara yang sama pada suhu tertentu.

Tabel 3. Hasil massa jenis tanah

Uraian	Satuan	Simbol	Sampel 1	Sampel 2
Berat piknometer	Gram	w1	19,8	20,4
Berat piknometer + Tanah	Gram	w2	30,7	30,9
Berat piknometer + Tanah + Air	Gram	w3	76,8	76,1
berat piknometer + air	Gram	w4	70,9	70,3
tanah kering	Gram	W_s	10,9	10,5
Temperatur	°		28	28
Faktor koreksi temperature	K		0,992	0,992
berat piknometer + air terkoreksi		w5	70,3	69,73
Berat jenis tanah	G_s		2,67	2,82
Berat jenis tanah rata-rata	G_s		2,74	

Berdasarkan hasil uji pemadatan tanah awal, ditampilkan nilai rata-rata pemadatan spesifik sampel tanah adalah sebesar 2,74 dan termasuk ke jenis tanah lempung.

Saringan Uji Analitik

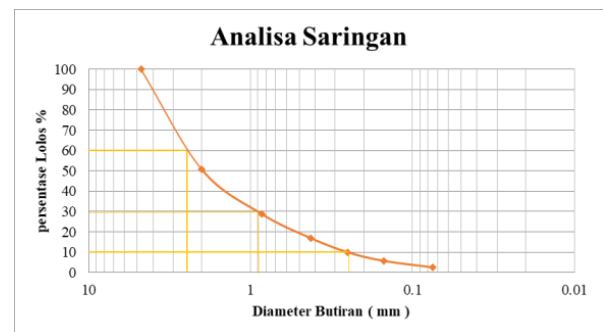
Uji Analisis Saringan Uji Analisis

Saringan dimaksudkan untuk mengetahui kadar atau ukuran sebagai persentase partikel halus dan kasar sample yang ditahan pada saringan No200. Uji Analisis Saringan ditunjukkan pada table 4.

Tabel 4. Uji Analisis Filter

No Saringan	diameter Saringan	Berat Tanah Tertahan	Massa tanah yang dilepaskan	Persentase lahan yang dikonservasi	Persentase Tanah Lolos
	Mm	gram	Gram	%	%
4	4.75	0	500	0	100
10	2	246.7	253.3	49.34	50.66
20	0.85	109.5	143.8	21.9	28.76
40	0.425	59	84.8	11.8	16.96
60	0.25	35	49.8	7	9.96
140	0.15	21	28.8	4.2	5.76
200	0.075	16	12.8	3.2	2.56
Pan		12.8	0	2.56	0

Berdasarkan hasil percobaan di atas diperoleh grafik analisis saringan tanah seperti terlihat pada Gambar 1.



Berdasarkan hasil grafik yang ada diatas menghasilkan nilai persentase butiran tanah seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rasio Partikel Tanah

Keterangan	Satuan	Jumlah
Tanah melewati saringan No. 200	%	2,56
d10	mm	0,26
d30	Mm	0,92
d60	Mm	2,44
Cu		9,38
Cc		1,33

Berdasarkan tabel diatas, Nilai koefisien keseragaman (Cu) adalah 9,38 dan nilai koefisien tingkat (Cc) sebesar 1,33. Dari nilai Cu dan Cc dapat disimpulkan bahwa nilai

Cu pada kerikil lebih besar dari 4,0 dan pada pasir lebih besar dari 6,0. Jika Cu lebih besar dari 15,0 tanah dikatakan baik. Nilai Cc untuk kerikil dan pasir 1 sd 3, sehingga dengan terpenuhinya syarat tersebut maka tanah yang telah diuji mempunyai gradasi yang bagus.

Uji Batas-batas Atterberg

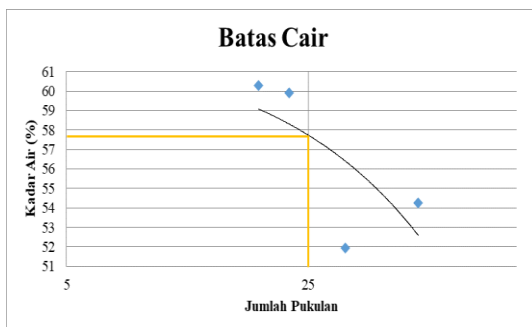
a) Pengujian Batas Cair

Uji Batas Likuiditas (LL) adalah kadar air tanah pada kondisi batas likuiditas plastis kuantitas ditentukan pada 25% tembakan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Bats Cair Tanah

No. uji	Satuan	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
Berat cawan	Gram	5,3	5,1	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,2
Berat cawan + Tanah Basah	Gram	17,1	16,2	19	17,8	15,4	16,3	14,8	16,5
Berat Tanah + Tanah Kering	Gram	12,8	11,9	13,8	13,1	11,8	12,4	11,5	12,4
Berat Tanah Basah	Gram	11,8	11,1	13,8	12,6	10,2	11,2	9,7	11,3
Berat Tanah Kering	Gram	7,5	6,8	8,6	7,9	6,6	7,3	6,4	7,2
Berat Air	Gram	4,3	4,3	5,2	4,7	3,6	3,9	3,3	4,1
Kadar Air	%	57,3	63,2	60,5	59,5	54,6	49,4	51,6	56,9
Kadar Air Rata-Rata	%	60,3		59,9		51,9		54,2	
Jumlah Ketukan (N)		18		22		32		52	

Berdasarkan hasil pengujian diatas, di peroleh grafik batas cair tanah dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Batas Cair Tanah

b) Pengujian Batas Plastis

Pengujian batas plastis (*Plastic Limit/PL*) bertujuan untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis.

Tabel 7. Hasil Pengujian Batas Plastis

Uraian	Simbol	1		2	
		L	R	L	R
Berat Cawan	W1	5,4	5,2	5,4	5,4
Berat Cawan + Tanah Basah	W2	8,2	7,2	8,6	6,8
Berat Cawan + Tanah Kering	W3	7,5	6,7	7,8	6,3
Berat Tanah Basah	W2-W1	2,8	2	3,2	1,4
Berat Tanah Kering	W3-W1	2,1	1,5	2,4	0,9
Berat Air	W4-W5	0,7	0,5	0,8	0,5
Kadar Air	W6/W5 × 100%	33,3	33,3	33,3	55,5
Kadar Air Rata-Rata	W _{Rata-Rata}	33,3		44,4	

Pengujian Pemadatan Tanah

Uji Pemadatan Tanah Uji pemadatan tanah bertujuan untuk mengetahui nilai kepadatanmaksimum/nilai kepadatan keringmaksimum tanah (maksimum kepadatan kering/MDD) dan kadar air optimal (kelembaban optimal/OMC) tanah dalam suatu contoh tanah. Contoh tanah yang digunakan bersumber dari di Jalan R. Dentjik Asaari, Kecamatan Talang Kelapa, Kota Palembang.



Gambar 3. Pemadatan tanah

Berdasarkan Uji pemadatan tanah menunjukkan Kepadatan keringmaksimum ($\gamma_d \text{ max}$) sebesar 1,468 gram/cm³ dan kadar air (W_{opt}) optimal sebesar 31%. Di bawah ini adalah hasil gabungan Nilai kepadatan keringmaksimum ($\gamma_d \text{ max}$) dan kadar air optimal (W_{opt}).

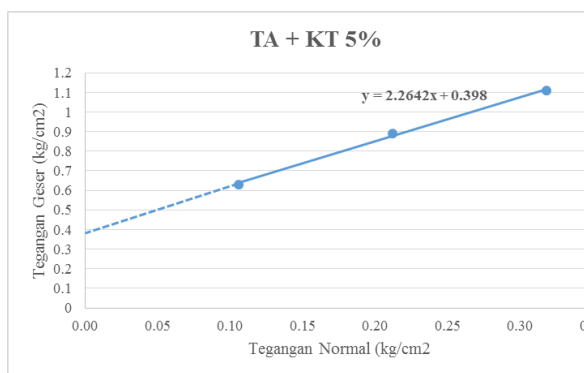
Pengujian geser langsung

Uji Pemotongan langsung bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter cutting edget geser tanah dengan menggunakan tanah asli yang telah diperkuat dengan kapur tohor dengan variasi kapur tohor 5%.15 dan

20% menggunakan masa pengawetan 7 hari. Pengujian ini akan dilakukan terhadap 3 buah unsur uji, setiap unsur terdiri atas 3 unsur uji i yang diberi beban masing-masing sebesar 3 kg, 6 kg, dan 9 kg

Pengujian Kuat Geser dengan Benda Uji Kadar Air 5%

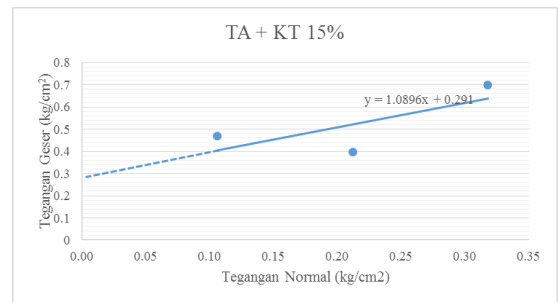
Uji kuat geser tanah awal ini menggunakan contoh tanah kapur tohor dengan kadar air 5% .Contoh tanah pada uji geser langsung ini berjumlah tiga buah, masing-masing diberi tiga beban berbeda yaitu 3 kg, 6 kg, dan 9 kg. Hasil uji geser langsung tanah awal disajikan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan geser dengan Regangan Tanah

Pengujian Kuat Geser dengan Benda Uji Kadar Air 15%

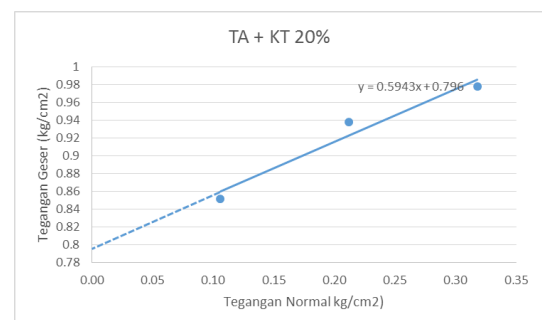
Uji kuat geser tanah awal ini menggunakan contoh tanah kapur tohor dengan kadar air 15% .Contoh tanah pada uji geser langsung ini berjumlah tiga buah, masing-masing diberi tiga beban berbeda yaitu 3 kg, 6 kg, dan 9 kg. Hasil uji geser langsung tanah awal disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan geser dengan Regangan Tanah

Pengujian Kuat Geser dengan Benda Uji Kadar Air 20%

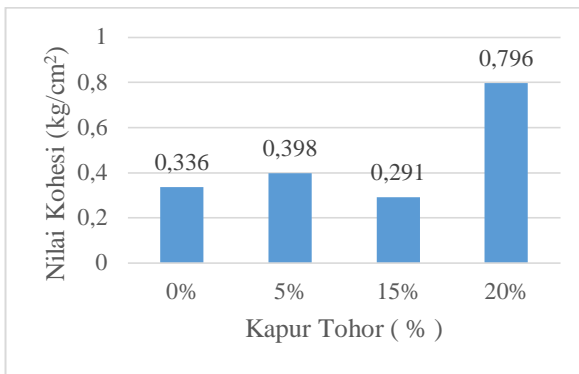
Uji kuat geser tanah awal ini menggunakan contoh tanah kapur tohor dengan kadar air 15% .Contoh tanah pada uji geser langsung ini berjumlah tiga buah, masing-masing diberi tiga beban berbeda yaitu 3 kg, 6 kg, dan 9 kg. Hasil uji geser langsung tanah awal disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan geser dengan Regangan Tanah

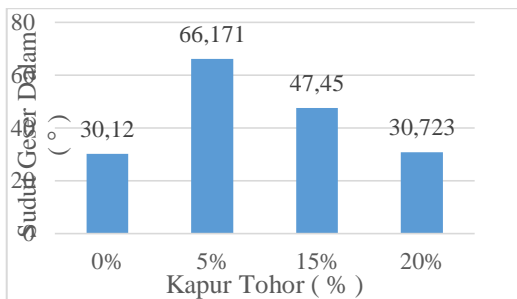
Rekapitulasi Nilai Kuat Geser

Untuk mengetahui nilai hasil rekapitulasi nilai kuat geser menggunakan kapur tohor 5% 15% dan 20% maka dilakukan analisis jumlah keseluruhan, yang mana pada penelitian ini memiliki metode pengolahan data yang menghasilkan persentase penambahan kapur tohor yang optimum sebesar 20% dibandingkan 5% dan 15% seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rekapitulasi Nilai Kuat Geser

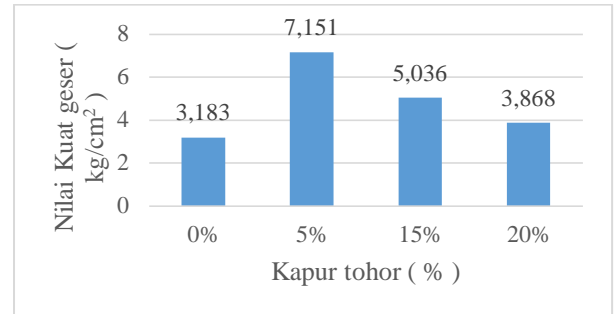
Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kohesi pengujian *direct shear* dengan sampel tanah asli sebesar 0,336 kg/cm². Penambahan kapur tohor 5% menunjukkan bahwa nilai kohesi tanah asli yang ditambah dengan kapur tohor memiliki kenaikan 15%, namun mengalami penurunan nilai lebih rendah dibanding dengan tanah asli pada penambahan 15% kapur tohor. Nilai kohesi tertinggi diperoleh pada penambahan 20% kapur tohor. Semakin tinggi penambahan kapur tohor yang diberikan, maka semakin tinggi juga nilai kohesi tanah yang diperoleh.



Gambar 8. Rekapitulasi Nilai Sudut Geser Dalam

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kuat geser dalam tanah asli sebesar 30,12°. Nilai tertinggi sudut geser dalam tanah asli yang ditambah dengan 5% kapur tohor mengalami peningkatan nilai tertinggi sebesar 66,17%. Akan tetapi penambahan 15% dan 20% kapur tohor nilai sudut geser dalam mengalami penurunan. Penambahan kapur tohor cukup mempengaruhi pengurangan nilai dari sudut

geser dalam pada sampel tanah, semakin banyak kapur tohor yang diberikan maka nilai dari sudut geser dalam mengalami penurunan.



Gambar 9. Rekapitulasi Nilai Kuat Geser

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kuat geser tanah asli sebesar 3,183%. Nilai tertinggi sudut geser tanah asli yang ditambah dengan 5% kapur tohor mengalami peningkatan nilai tertinggi sebesar 7,151%. Akan tetapi penambahan 15% dan 20% kapur tohor nilai sudut geser dalam mengalami penurunan. Penambahan kapur tohor cukup mempengaruhi pengurangan nilai dari sudut geser dalam pada sampel tanah, semakin banyak kapur tohor yang diberikan maka nilai dari sudut geser dalam mengalami penurunan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengujian geser langsung diperoleh nilai kohesi sampel tanah awal sebesar 0,336 kg/cm². Pada uji geser langsung dengan variasi campuran tanah awal + kapur tohor 5% nilainya sebesar 0,398 kg/cm², dengan variasi campuran tanah awal + kapur tohor 15% nilai kohesinya mengalami penurunan yaitu 15% dari tanah asli nilai kohesi. Uji geser langsung pada variasi campuran tanah awal + kapur tohor 20% menunjukkan peningkatan nilai kohesi tanah awal tertinggi yaitu sebesar 135,05%. 3). Hasil uji geser langsung diperoleh nilai sudut geser dalam sebesar 030,12° pada contoh tanah asli. Pada uji geser langsung dengan perubahan

campuran tanah awal + kapur tohor 5% nilai sudut gesernya meningkat sebesar $66,171^\circ$, dengan perubahan campuran tanah awal + kapur tohor 15% nilai kohesinya berkurang sudut potongnya sebesar 15%. nilai asli tanah tersebut. Uji geser langsung pada variasi campuran tanah asli + kapur tohor 20% menunjukkan bahwa nilai sudut geser kohesif tanah asli mengalami penurunan..

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1929, *Public Road Administration Classification System*.
- ASTM, (D 3080-04). Metode Uji Standar Untuk Uji Geser Langsung Tanah.
- Behnood, A. (2018) „Transportation Geotechnics Soil and clay stabilization with calcium- and noncalcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques“, *Transportation Geotechnics*, 17(May), pp. 14–32. doi:10.1016/j.trgeo.2018.08.002.
- Furlan, A. P., Razakamanantsoa, A., Ranaivomanana, H., Levacher, D., & Katsumi, T. (2018). Shear strength performance of marine sediments stabilized using cement, lime and fly ash. *Construction and Building Materials*, 184, 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.231>.
- Hardiyatmo, HC (2010) *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- Landangkasiang, F. N., Oktovian, B. A., Sompie, J. E. R., dan Sumampouw. (2020). Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. *Jurnal Sipil Statik*, 8 (2), 197 – 204.
- Mukramin, S.C. et al. (2018) „PENGARUH PENAMBAHAN CAMPURAN SEMEN, TRAS DAN BATU“, 6(7), pp. 471–480.
- Makkar, F.M., Chandrakaran, S. and Sankar, N. (2019) „Experimental Investigation of Response of Different Granular Soil–3D Geogrid Interfaces Using Large-Scale Direct Shear Tests“, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(4), p. 04019012. doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002645.
- Perubahan, P. et al. (2019) „TANAH LEMPUNG INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT TO SHEAR STRENGTH OF CLAY SOIL PENDAHULUAN Kuat geser tanah yaitu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat dan padat (Das , 1995). Penambahan air ke dalam tanah menyebabkan tanah akan menjadi mudah d“, 2(1), pp. 115–122.
- Slesak, R.A. et al. (2017) „Changes in soil physical and chemical properties following organic matter removal and compaction: 20-year response of the aspen Lake-States Long Term Soil Productivity installations“, *Forest Ecology and Management*, 392, pp. 68–77. doi:10.1016/j.foreco.2017.03.005
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (2012). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, 2, 1–373.
- Tjandra, Daniel. 2015, *Pengaruh Elektroknetik Terhadap Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung*,
- Wesley, LD. (2012), *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan dan Residu*. ANDI Yogyakarta. Yogyakarta.
- Lestari, (2023) *Pemodelan Peningkatan Kadar Air Akibat Infiltrasi Ditinjau Dari Parameter Kekuatan Tanah*. *Jurnal Bangun Rekaprima* Vol.09/1/April/2023