

PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP KUAT GESER TANAH LEMPUNG

Surta Ria Panjaitan¹, Yetty R Saragi², Astuti Simbolon³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan
email : surta.panjaitan@uhn.ac.id¹, yetty.saragi@uhn.ac.id²,
astuti.simbolon@student.uhn.ac.id³

ABSTRAK

Tanah adalah sekumpulan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak di atas batuan dasar. Tanah berfungsi untuk mendukung semua beban bangunan yang bersifat mempengaruhi daya dukung tanah dalam menahan beban konstruksi yang di atasnya. Percobaan kuat geser langsung merupakan salah satu pengujian tertua dan sangat sederhana untuk menentukan parameter kuat geser tanah lempung. Bahan campuran zeolit yang digunakan diharapkan dapat mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat tanah yang kurang baik dari tanah yang digunakan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Pada pengujian ini terdapat beberapa pengujian yaitu mengetahui sifat fisis tanah dan mengetahui sifat mekanis tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat geser tanah yang telah distabilisasi dengan campuran bahan kandungan zeolit yang memiliki persentase sebesar 15%, 20%, 25% dan 30%. Dari pengujian berdasarkan hasil penelitian penambahan zeolit mampu menaikkan kepadatan tanah dan menurunkan kadar air optimum di tiap penambahan zeolit. Dengan menggunakan bahan zeolit sebagai bahan stabilisasi tanah dapat dikategorikan cukup baik, karena menghasilkan nilai kuat geser yang meningkat di setiap kenaikan persentase zeolit.

Kata Kunci : tanah lempung, zeolit, kuat geser

ABSTRACT

Soil is a collection of minerals, organic materials and relatively loose sediments, which are located on bedrock. Soil functions to support all building loads which influence the carrying capacity of the soil in supporting the construction loads above it. The direct shear strength experiment is one of the oldest and very simple tests to determine the shear strength parameters of clay soil. It is hoped that the zeolite mixture used can reduce or eliminate the unfavorable soil properties of the soil used. The methodology used in this research uses the experimental method. In this test there are several tests, namely knowing the physical properties of the soil and knowing the mechanical properties of the soil. This research aims to determine the shear strength of soil that has been stabilized with a mixture of zeolite content which has a percentage of 15%, 20%, 25% and 30%. From tests based on research results, the addition of zeolite is able to increase soil density and reduce the optimum water content with each addition of zeolite, with the use of zeolite material as a soil stabilization material it can be categorized as quite good, because it produces a direct shear test which increases with each increase in percentage zeolite.

Keywords : clay, zeolite, direct shear test

PENDAHULUAN

Tanah merupakan material dasar yang sangat berpengaruh dari suatu struktur maupun konstruksi dalam pekerjaan Teknik Sipil, baik konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Tanah berfungsi untuk mendukung semua beban bangunan yang bersifat mempengaruhi daya dukung tanah dalam menahan beban konstruksi yang di atasnya. Tanah yang sering dijumpai ialah

tanah lempung (*clay*). Biasanya tanah lempung mempunyai nilai daya dukung dan geser yang kecil sehingga sebelum digunakan harus dilakukan stabilisasi terlebih dahulu. Tanah lempung merupakan tanah berbutir halus koloidal yang tersusun dari material-material yang dapat mengembang. Tanah lempung pada umumnya merupakan material tanah dasar yang buruk, hal ini dikarenakan kekuatan geser yang sangat rendah sehingga pembuatan suatu konstruksi di atas lapisan tanah maka dari itu diperlukan perbaikan tanah guna untuk meningkatkan gaya dukung tanah, salah satunya itu adalah dengan perbaikan tanah secara kimiawi.

Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedangkan pada kadar air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak serta permeabilitas. Daya dukung yang sangat rendah dapat mengakibatkan ketidakstabilan suatu pondasi bangunan yang akan didirikan di atas tanah lempung dan sifat kembang susut tanah lempung dapat mengakibatkan retak-retak (*cracking*) pada pekerjaan jalan raya juga bisa terjadi jebol (*buckling*). Oleh karena itu dibutuhkan metode perbaikan tanah untuk dijadikan sebagai dasar dari suatu pekerjaan konstruksi.

Kuat geser langsung (*direct shear test*) tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Kerutuhan geser (*shear failir*) bukan dikarenakan hancurnya butiran-butiran tanah tersebut tetapi karena adanya gerakan relatif antara butir-butir tanah tersebut. Percobaan kuat geser langsung merupakan salah satu pengujian tertua dan sangat sederhana untuk menentukan parameter kuat geser tanah lempung dalam percobaan ini dapat dilakukan pengukuran secara langsung dan cepat nilai kuat geser tanah dengan kondisi tanah pengaliran atau dalam konsep tegangan total.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi hasil pengujian tanah lempung tanpa adanya bahan tambahan dan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh zeolit untuk meningkatkan kuat geser yang telah distabilisasikan pada tanah lempung.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung

Tanah kempung sebagai tanah dengan tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan permeabilitasi lempung sangat rendah. Sehingga bersifat plastis kadar air sedang sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lebih lengket (*kohesif*) sangat lunak (Terzaghi, 1987). Tanah lempung yang memiliki perilaku pada tanah dalam keadaan lunak, namun tidak juga dalam keadaan cair. Pada kondisi ini tanah yang dijadikan tanah dasar dari sebuah bangunan struktur akan sangat tidak kondusif sehingga menjadikan bangunan menjadi tidak stabil karena tanah lempung dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung pada tanah, pemanfaatan tanah dengan sifat demikian dapat menjadikan kegagalan pada konstruksi (Arpina Pahrida, dkk, 2021). Sifat dan perilaku tanah lempung terlihat pada komposisi mineral, unsur-

unsur kimia dan partikel-partikel serta pengaruh yang ditimbulkan di lingkungan sekitarnya, sehingga untuk memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung. Hary Christady (1999) memaparkan sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut :

- a. Ukuran butir halus < 0,002 mm
- b. Permeabilitas rendah
- c. Kenaikan air kapiler tinggi
- d. Bersifat sangat kohesif
- e. Kadar kembang susut yang tinggi
- f. Proses konsolidasi lambat

Nilai Kuat Geser Tanah

Hary Christady (2002) menjelaskan bahwa kuat geser tanah yaitu gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebasan akan ditanah oleh :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja bidang geser
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya

Menurut Coulomb (1776) dalam Harry Christady (2006) menyatakan bahwa nilai kuat geser tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Dimana :

- τ = Kuat geser tanah (kN/m²)
- c = Kohesi tanah
- σ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)
- $\tan \phi$ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

Kuat geser tanah diukur dengan dua (2) parameter tanah sebagai berikut (Epi Tania, 2024) :

1. Pada tanah berbutir halus (*kohesif*) seperti lempung, lempung berlanau, lempung berpasir dan lanau, kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antar butir-butir tanah (c tanah)
2. Pada tanah berbutir kasar (*non – kohesif*), komponen kohesi ($c = 0$) sehingga kuat gesernya hanya bergantung pada gesekan antar butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (ϕ tanah). Contoh dari tanah *non kohesif* adalah pasir padat, kerikil dan batuan.

Menurut Epi Tania (2024) Parameter kuat geser tanah ditentukan dari uji-uji laboratorium serta benda uji yang diperiksa di laboratorium, biasanya dilakukan dengan besar beban yang ditentukan lebih dulu dan dikerjakan dengan tipe peralatan yang khusus. Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah yang di uji di laboratorium antara lain :

- a. Kandungan mineral dan butiran tanah
- b. Bentuk partikel
- c. Angka pori dan kadar air
- d. Sejarah tegangan yang pernah dialami
- e. Tegangan yang ada di lokasi (di dalam tanah)
- f. Perubahan tekanan selama pengambilan contoh dari dalam tanah
- g. Tegangan yang dilakukan sebelum pengujian
- h. Cara pengujian
- i. Kondisi drainase yang dipilih, seperti drainase terbuka (*drained*) atau drainase tertutup (*undrained*)
- j. Tekanan air pori yang ditimbulkan
- k. Kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser

Zeolit

Zeolit pertama kali ditemukan oleh Freiherr Axel Cronstedt, seorang ahli mineralogi dari Swedia pada tahun 1756. Zeolit merupakan mineral alumina sikilat terhidrat yang dapat mengikat molekul air secara reversible. Penggunaan zeolit berkaitan dengan tiga sifat penting yang dimiliki yaitu kemampuan untuk melakukan pertukaran ion, daya serap dan daya saring molekuler serta daya katalis. Pemanfaatan utama zeolit sebagai penukar ion untuk pelunakan air untuk menghilangkan dan pengikatan radionuklida serta penyerapan logam berat dari limbah tercemar dan penghilangan ion amonium dari limbah cair (Didiek Hadjar, 2004).

Menurut Dedi Susanto (2015), Zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah yang sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek atau dibawah standar. Penambahan zeolit ini akan meningkatkan kepadatan ikatan antara partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser, material tanah sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atasnya. Adapun keuntungan penggunaan zeolit sebagai bahan campuran stabilisasi adalah :

- a) Memperbaiki dan meningkatkan kualitas mineral yang ada dalam tanah
- b) Meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah sehingga dapat meningkatkan daya dukung dan kuat tekan tanah
- c) Meningkatkan tanah terhadap geser yang terjadi di lereng

METODE PENELITIAN

Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung yang berasal dari Desa Gundaling I Kecamatan Berastagi Kabupaten Karo Provinsi Sumatera Utara. Cara pengambilan sampel yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Untuk contoh tanah asli (*undisturbed*) diambil dari kedalaman ± 50 cm di bawah permukaan tanah guna menghilangkan sisa-sisa kotoran tanah. Contoh tanah asli dapat diambil dengan menggunakan tabung contoh (*samples tubes*). Tabung contoh ini dimasukkan ke dalam dasar lubang bor. Tabung-tabung contoh yang digunakan menggunakan berdiameter 6 – 7 cm.
- Untuk contoh tanah terganggu (*disturbed*), sampel tanah diambil secara acak dari bongkahan permukaan tanah.

Bahan Zeolit

Bahan zeolit awalnya berbentuk batuan yang kemudian dipabrikasi lalu dipecahkan menjadi ukuran yang sangat kecil hingga berukuran $< 0,002$ mm.

Pengujian Sifat Fisis

Beberapa pengujian sifat fisis tanah yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pengujian kadar air tanah
2. Pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*) (SNI 1964:2008)
3. Pemeriksaan analisa saringan (*sieve analysis*) (SNI 03-433:2010)
4. Pemeriksaan analisa hidrometer (*hydrometer analysis*)
5. Batas konsistensi (*atterberg limit*) (SNI 1966:2008)
6. Pemeriksaan batas plastis (*plastis limit*) (SNI 1966:2008)
7. Pengujian pemadatan standar proctor (SNI 1743:2008)
8. Pengujian kuat geser (*direct shear test*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah yang digunakan sebagai bahan uji dalam penelitian ini dijabarkan pada Tabel 1 berikut.

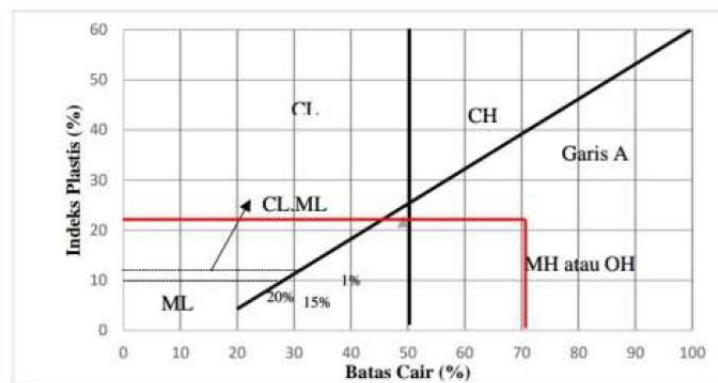
Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah Lempung

Pengujian	Hasil pengujian
Kadar Air	76,47%
Berat Jenis	2,723 gr/cm ²
Lolos saringan No. 4	83,39%
Lolos saringan No. 20	57,41%

Pengujian	Hasil pengujian
Lolos saringan No. 40	41%
Lolos saringan No. 200	6,04%
Batas Cair (LL)	71,01%
Batas Plastis (PL)	49,22%
Indeks Plastisitas (IP)	21,79%
Klasifikasi Tanah AASTHO	A – 7 – 5
Klasifikasi Tanah USCS	OH

(Sumber : hasil pengujian laboratorium, 2024)

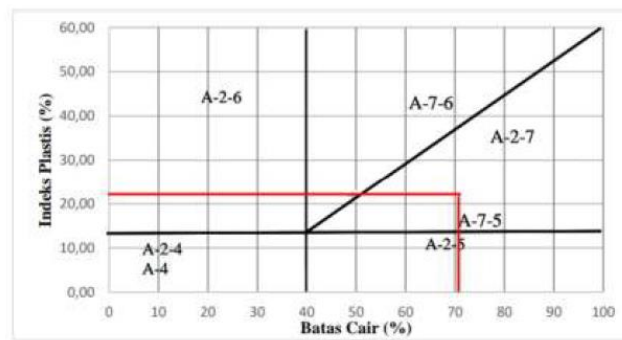
Berdasarkan Tabel 1 maka tanah lempung yang digunakan dapat digolongkan jenis tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi sesuai dengan ketentuan klasifikasi tanah AASHTO dan klasifikasi tanah USCS.



Gambar 1. Grafik klasifikasi tanah sistem USCS

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Berdasarkan nilai indeks plastisitas sebesar 21,79% dan nilai batas cair sebesar 71,01% maka klasifikasi tanah AASHTO tersebut termasuk dalam klasifikasi tanah A – 7 – 5 yang digolongkan jenis tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi (garis merah).



Gambar 2. Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Pengujian Pemadatan (*Proctor Standard*)

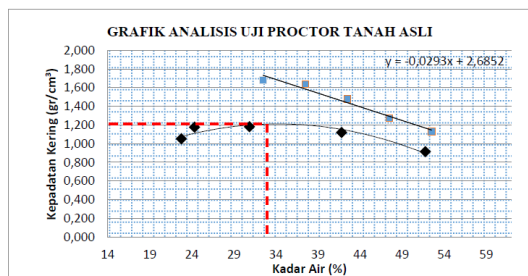
Proses pemadatan yang dilakukan di laboratorium merupakan usaha untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum pada energi yang standar dengan cara memberikan kadar air optimum. Pada pengujian ini tanah lempung dicampur dengan zeolit sebesar 0%, 15%, 20%, 25% dan 30%. Uji pemadatan tanah dilakukan dua (2) kali dengan cara tumbukan pada sampel tanah lolos saringan No. 4 menggunakan metode standar *proctor* yang sebelumnya dilakukan uji lima (5) sampel untuk menentukan nilai kadar air optimum.

Tabel 2. Hasil pengujian pemadatan dengan metode standar *proctor*

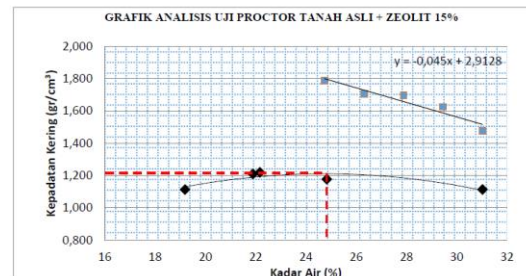
Nama sampel	No. sampel	Berat tanah	Volume cetakan	BJ tanah basah	BJ tanah kering	Kadar air	ZAV
		(gr)	(cm ²)	(gr/cm ²)	(gr/cm ²)	(%)	
Tanah asli	1	1245	963,72	1,292	1,052	22,787	1,680
	2	1409		1,462	1,176	24,354	1,637
	3	1469		1,524	1,165	30,863	1,480
	4	1529		1,587	1,119	41,822	1,273
	5	1336		1,386	0,913	51,776	1,130
Tanah + Zeolit 15%	1	1278	963,72	1,326	1,113	19,198	1,788
	2	1421		1,474	1,210	21,894	1,706
	3	1435		1,489	1,219	22,175	1,698
	4	1416		1,469	1,177	24,838	1,624
	5	1405		1,458	1,113	31,032	1,476
Tanah + Zeolit 20%	1	1245	963,72	1,292	1,103	17,145	1,856
	2	1399		1,452	1,203	20,681	1,742
	3	1387		1,439	1,154	24,691	1,628
	4	1378		1,430	1,102	29,730	1,505

Nama sampel	No. sampel	Berat tanah (gr)	Volume cetakan (cm ²)	BJ tanah basah (gr/cm ²)	BJ tanah kering (gr/cm ²)	Kadar air (%)	ZAV
Tanah + Zeolit 25%	5	1370	963,72	1,422	1,086	30,876	1,479
	1	1243		1,290	1,106	16,565	1,877
	2	1347		1,398	1,171	19,334	1,784
	3	1410		1,463	1,191	22,833	1,679
	4	1402		1,455	1,159	25,493	1,607
Tanah + Zeolit 30%	5	1345	963,72	1,396	1,072	30,180	1,495
	1	1246		1,293	1,128	14,605	1,948
	2	1314		1,363	1,147	18,916	1,797
	3	1524		1,581	1,278	23,737	1,654
	4	1370		1,422	1,120	26,887	1,572
	5	1344		1,395	1,065	31,000	1,477

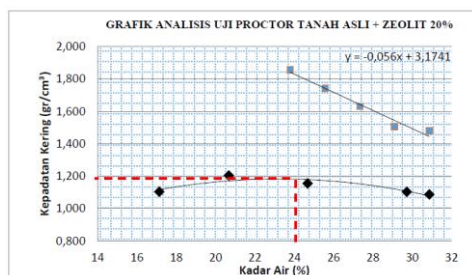
(Sumber : hasil analisis, 2024)



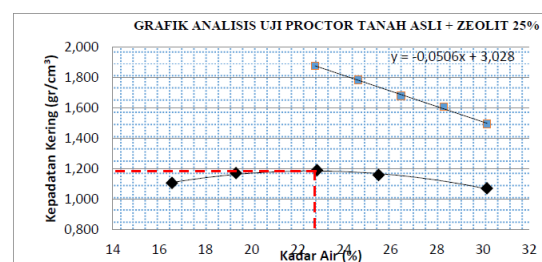
Gambar 3. Grafik analisis uji *proctor* tanah asli
(Sumber : hasil analisis, 2024)



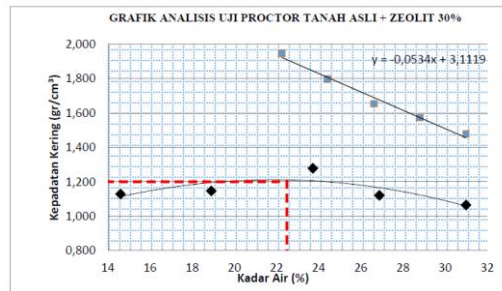
Gambar 4. Grafik analisis uji *proctor* tanah asli + zeolit 15%
(Sumber : hasil analisis, 2024)



Gambar 5. Grafik analisis uji *proctor* tanah asli + zeolit 20%
(Sumber : hasil analisis, 2024)



Gambar 6. Grafik analisis uji *proctor* tanah asli + zeolit 25%
(Sumber : hasil analisis, 2024)



Gambar 7. Grafik analisis uji *proctor* tanah asli + zeolit 30%
(Sumber : hasil analisis, 2024)

Tabel 3. Hasil pengujian *proctor*

Nama sampel	Kadar air optimum	Kepadatan kering maksimum
	(W_{optimum})	($\gamma_{d\text{maks}}$)
	(%)	(gr/cm^3)
Tanah asli	32,80	1,236
Tanah + Zeolit 15%	24,75	1,210
Tanah + Zeolit 20%	23,80	1,195
Tanah + Zeolit 25%	22,75	1,187
Tanah + Zeolit 30%	22,25	1,183

(Sumber : hasil analisis, 2024)

Analisis Tegangan Geser

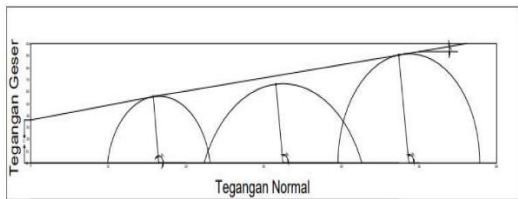
Hasil perhitungan untuk penentuan nilai tegangan geser dijabarkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai tegangan normal dan tegangan geser

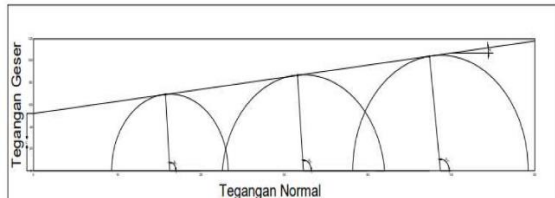
Nama sampel	Beban (kg)	Tegangan normal		Tegangan geser (τ)	Parameter kuat geser		
		kg/cm^2	kPa		Kohesi (c) (kPa)	Sudut geser dalam ($\tan \phi$)	Tegangan geser (ϕ)
Tanah asli	5	0,158	15,798	55,608	35,914	1,01	47,726
	10	0,316	31,596	66,035			
	15	0,474	47,393	90,363			
Tanah + Zeolit 15%	5	0,158	15,798	69,510	52,133	2,24	50,21
	10	0,316	31,596	86,888			
	15	0,474	47,393	104,265			
Tanah + Zeolit 20%	5	0,158	15,798	93,839	70,699	1,32	52,853
	10	0,316	31,596	107,741			
	15	0,474	47,393	135,545			

Nama sampel	Beban (kg)	Tegangan normal		Tegangan geser (τ)	Parameter kuat geser		
		kg/cm ²	kPa		Kohesi (c) (kPa)	Sudut geser dalam ($\tan \phi$)	Tegangan geser (ϕ)
Tanah + Zeolit 25%	5	0,158	15,798	125,118	97,314	1,54	57,002
	10	0,316	31,596	139,021			
	15	0,474	47,393	173,776			
Tanah + Zeolit 30%	5	0,158	15,798	142,496	108,899	0,102	61,864
	10	0,316	31,596	159,874			
	15	0,474	47,393	201,580			

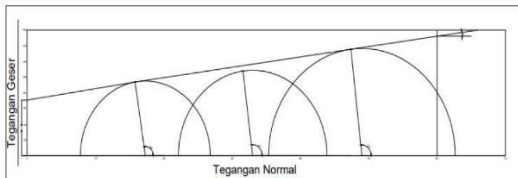
(Sumber : hasil analisis, 2024)



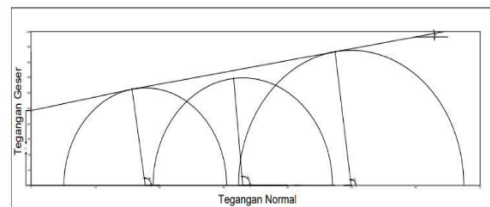
Gambar 8. Lingkaran Morh hasil uji kuat geser tanah asli
(Sumber : hasil analisis, 2024)



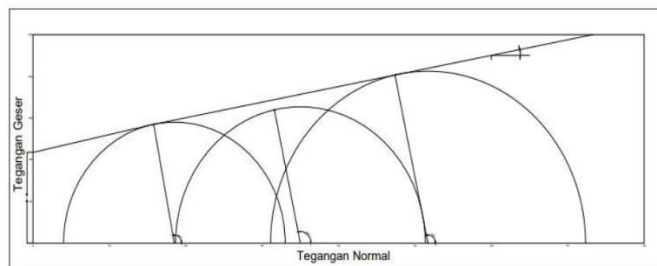
Gambar 9. Lingkaran Morh hasil uji kuat geser tanah asli + zeolit 15%
(Sumber : hasil analisis, 2024)



Gambar 10. Lingkaran Morh hasil uji kuat geser tanah asli + zeolit 20%
(Sumber : hasil analisis, 2024)



Gambar 11. Lingkaran Morh hasil uji kuat geser tanah asli + zeolit 25%
(Sumber : hasil analisis, 2024)



Gambar 12. Lingkaran Morh hasil uji kuat geser tanah asli + zeolit 30%
(Sumber : hasil analisis, 2024)

KESIMPULAN

Hasil penelitian stabilitas tanah lempung dengan penambahan zeolit pada kuat tekan bebas didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Dari pengujian *Atterberg Limit* diketahui bahwa nilai batas cair (LL) sebesar 71,01% dan nilai batas plastis sebesar 49% maka nilai indeks plastis sebesar 21,79%. Pada klasifikasi tanah menurut USCS termasuk dalam OH tanah lempung yang digolongkan jenis tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi sedangkan, klasifikasi tanah menurut AASTHO termasuk kelompok A – 7 – 5 (tanah berlempung). Dari pengujian tersebut dengan penambahan zeolit sebesar 15%, 20%, 25% dan 30% dapat dilihat pengaruhnya pada sifat mekanis tanah. Pada beberapa pengujian seperti kadar air, berat jenis (Gs), indeks plastisitas (IP) dan nilai kadar air optimum pada pemadatan (*standard proctor*) mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase zeolit.
2. Pada pengujian sifat mekanis tanah lempung kuat geser (*direct shear test*) pada tanah asli didapatkan nilai kohesi (c) adalah sebesar 35,914 kg/cm² dan untuk penambahan zeolit 30% dengan nilai kohesi (c) adalah sebesar 108,899 kg/cm² sedangkan pada tanah asli nilai tegangan geser (ϕ) adalah sebesar 47,726° dan untuk penambahan zeolit sebesar 30% nilai tegangan geser (ϕ) didapat 61,864°.

DAFTAR PUSTAKA

- Coulomb, C., A. 1776. *Essai sur une Application des Regles de Macimis et Minimum a quelques Problems de Statique Relatifs a l'Architecture*. Mem. Acad. Roy. Des Sciences Vol. 3.
- Hadjar, Didiek, G. 2004. *Teknologi Pengolahan Zeolit Menjadi Bahan Yang Memiliki Nilai Ekonomi Tinggi*. Jurnal Zeolit Indonesia Vol. 3 No. 1 Hal. 42-49.
- Hardiyatmo, H., C. 1999. *Mekanika Tanah II*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hardiyatmo, H., C. 2002. *Mekanika Tanah 2*. Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Pustaka.
- Hardiyatmo, H., C. 2006. *Mekanika Tanah I*. Edisi Keempat. Yogyakarta: Penerbit Gadjah Mada University Press.
- Pahrida, A., Gandi, S., Sarie, F. 2021. *Pengaruh Penambahan Bubuk Arang Kayu Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Indeks Plastisitas Dan Nilai CBR*. Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil Vol. 4 No. 1 Hal. 223 – 233.
- Susanto, Dedi. 2015. *Pengaruh Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi Dengan Bahan Additive Zeolit Pada Uji CBR dan Uji Geser Langsung*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Tania, Epi. 2024. *Analisis Korelasi Kuat Geser Tanah Menggunakan Uji Triaksial Dan Uji Direct Shear Test Nickel Smelter Kalimantan Timur*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Terzaghi, K., Pech, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Penerbit Erlangga.