

PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLITE TERHADAP KUAT GESER PADA TANAH BERLEMPUNG

Reki Thomas Parapaga

Alva N. Sarajar, Roski R. I. Legrans

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: parapagareki@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan dalam pembangunan suatu konstruksi diantaranya kondisi tanah yang tidak mendukung. Diperlukan metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan seperti itu. Stabilisasi kimiawi merupakan salah satu alternatif untuk memperbaiki kondisi tanah tersebut. Penelitian ini menggunakan zeolite sebagai bahan stabilisasi, yaitu mencampur zeolite dengan tanah yang digunakan, dengan variasi campuran 5%, 10%, 15% dan 20% zeolite terhadap berat contoh tanah. Tujuannya untuk meningkatkan kuat geser pada tanah yang diteliti. Berdasarkan hasil penelitian, penambahan zeolite memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat geser. Kuat geser mula-mula $0,128 \text{ kg/cm}^2$ berubah menjadi $0,546 \text{ kg/cm}^2$ dengan variasi campuran 20% zeolite. Variasi penambahan 20% zeolite memberikan hasil yang paling besar dibandingkan 5%, 10% dan 15% zeolite. Semakin besar jumlah zeolite yang digunakan semakin besar pula pengaruh yang diberikan.

Kata kunci: Kuat Geser, Stabilisasi kimiawi, Zeolite.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam proses pembangunan suatu konstruksi berbagai kesulitan dapat ditemui, diantaranya adalah kondisi tanah yang tidak mendukung untuk dijadikan sebagai dasar dari suatu pekerjaan konstruksi. Kondisi tanah yang dimaksud meliputi sifat-sifat dasar dari tanah seperti penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser dan kapasitas daya dukung terhadap beban.

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki karakteristik yakni daya dukung yang rendah dan kembang susut yang besar, ini menjadikan tanah lempung sebagai material yang kurang baik untuk suatu pekerjaan konstruksi. Daya dukung yang rendah dapat mengakibatkan ketidakstabilan suatu pondasi bangunan yang didirikan di atas tanah lempung dan sifat kembang-susut tanah lempung dapat mengakibatkan retak-retak (*cracking*) pada perkerasan jalan raya, juga terjadi pecah atau jebol (*buckling*) pada lantai dasar bendungan. Oleh karena itu dibutuhkan metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan yang ada pada tanah lempung, agar tanah tersebut layak untuk dijadikan sebagai dasar dari suatu pekerjaan konstruksi.

Rumusan Masalah

Adanya kondisi tanah yang tidak mendukung untuk dijadikan dasar dari suatu pekerjaan konstruksi maka dibutuhkan metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini mencoba memanfaatkan *zeolite* sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan kuat geser tanah.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui pengaruh penambahan *zeolite* terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas tanah.
- Mengetahui variasi penambahan yang memberikan pengaruh signifikan, terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas tanah.

KAJIAN PUSTAKA

Mineral Lempung

Mineral Lempung terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite* terdapat pula kelompok yang lain, misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra yang secara parsial dapat digantikan oleh elemen lain dalam kesatuannya.

Kaolinite merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri-dari susunan satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal $7,2 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) (Gambar 1.2a) Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk suatu lapisan tunggal. Mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk di antara lempengan (air dapat menimbulkan kembang susut pada sel satuannya).

Halloysite hampir sama dengan *kaolinite*, tetapi kesatuan yang berurutan lebih acak ikatannya dan dapat dipisahkan oleh lapisan tunggal molekul air. Sifat tanah berbutir halus yang mengandung halloysite akan berubah secara tajam jika tanah dipanasi sampai menghilangkan lapisan tunggal molekul airnya.

Montmorillonite sangat kecil, pada waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

Illite adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *illite*. *Illite* tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembaran penyusunnya.

(Hardiyatmo, 2012).

Pengaruh Air Pada Tanah Lempung

Tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air hal ini dikarenakan luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah. Dalam suatu kristal yang ideal, muatan-muatan negatif dan positif seimbang. Akan tetapi, akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempung. Untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel lempung menarik ion muatan positif (kation) dari garam yang ada di dalam air pori.

Air yang tertarik secara elektrik, yang berada di sekitar partikel lempung, disebut air lapisan ganda (*double-layer-water*) sifat plastis tanah lempung adalah akibat eksistensi dari lapisan ganda.

Air lapisan ganda pada bagian paling dalam yang sangat kuat melekat pada partikel

lempung, disebut sir serapan (*adsorbed water*). Pertalian hubungan mineral-mineral lempung dengan air serapan, memberikan bentuk dasar dari susunan tanah. Ion-ion yang berbeda, material organik, beda konsentrasi, dan lain-lainnya akan berpengaruh besar pada sifat tanah. Partikel lempung dapat tolak menolak satu dengan yang lain secara elektris, tapi prosesnya bergantung pada konsentrasi ion, jarak antara partikel, dan faktor-faktor lain. Secara sama, dapat juga terjadi saling tarik menarik antara partikel akibat pengaruh ikatan hidrogen, gaya Van Der Waals, macam ikatan kimia dan organiknya. Gaya antara partikel berkurang dengan bertambahnya jarak dari permukaan mineral

Hasil Penelitian beberapa peneliti pada *kaolinite* dan *montmorillonite* menunjukkan bahwa jumlah dan distribusi muatan residu jaringan mineral, bergantung pada pH air. Pada pH yang rendah, ujung partikel *kaolinite* dapat menjadi bermuatan positif dan selanjutnya dapat menghasilkan gaya tarik ujung ke permukaan antara partikel yang berdekatan. Gaya tarik ini menimbulkan sifat kohesif.

(Hardiyatmo, 2012).

Stabilisasi Kimia

Stabilisasi kimia adalah metode perbaikan parameter tanah dengan menggunakan bahan pencampur yang mengandung mineral, yang dapat bereaksi dengan mineral yang terkandung dalam massa tanah, dan menghasilkan senyawa baru yang lebih stabil dari senyawa yang ada dalam massa tanah sebelum dicampurkan.

Bahan untuk stabilisasi tanah secara kimia cukup banyak, namun yang sudah sering dilakukan adalah penggunaan semen, kapur dan larutan kimia yang diinjeksikan ke dalam lapisan tanah. (Panguriseng, 2001).

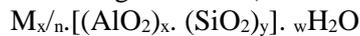
Zeolite

Zeolite merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino-silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Struktur dari *zeolite* terdiri dari tetrahedral $\text{TO}_{4/2}$ (T = Si, Al, Zn, P, Ga, Ge, B, Be, dan lain-lain) unit bagian utama, dimana setiap atom oksigen berkaitan dengan dua atom tetrahedral (Ogawa Takaya, dkk).

Zeolite memiliki sifat-sifat yaitu dehidrasi, absorpsi, penukar kation, katalis dan penyaring atau pemisah.

Terdapat dua jenis *zeolite* yaitu *zeolite* alam dan sintesis. *Zeolite* alam merupakan jenis-jenis *zeolite* yang tersedia di alam. *Zeolite* sintetik *Zeolite* sintetik adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan *zeolite* yang ada di alam, dibuat dari bahan lain dengan proses sintesis, dimodifikasi sedemikian rupa sehingga menyerupai *zeolite* yang ada di alam (Kusumaningtyas, 2003).

Rumus kimia *zeolite* secara empiris ditunjukkan sebagai berikut (Bekum, 1991):



Dimana:

M = kation alkali atau alkali tanah

n = muatan dari ion logam

x,y,w = bilangan-bilangan tertentu

Molekul-molekul air yang terdapat dalam *zeolite* merupakan molekul yang mudah lepas. Komponen utama pembangun struktur *zeolite* adalah struktur bangun primer $(SiO_4)^4-$ yang mampu membentuk struktur tiga dimensi. Muatan listrik yang dimiliki oleh kerangka *zeolite* baik yang terdapat dipermukaan maupun di dalam pori menyebabkan *zeolite* dapat berperan sebagai penukar kation, penyerap dan katalis.

Pengujian Tekan Bebas

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo, 2012). Parameter kuat geser tanah bisa didapatkan dengan beberapa pengujian laboratorium, salah satunya yaitu pengujian tekan bebas.

Pengujian tekan bebas ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan bebas tanah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial telah mencapai 20%. Besarnya tegangan aksial yang terjadi pada tanah dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana:

σ = Tegangan normal (kg/cm²)

P = Beban (kg)

A = Luas rata-rata pada setiap saat (cm²)

Untuk kuat geser dapat ditulis seperti persamaan berikut berikut:

$$c_u = \frac{\sigma}{2} = \frac{q_u}{2}$$

Dimana :

c_u = Kuat geser *undrained* (*undrained shear strength*)

q_u = Kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*)

Untuk mengetahui konsistensi tanah berdasarkan kuat tekan bebas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Hubungan kuat tekan bebas (q_u) lempung dengan konsistensinya

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Keras	> 400
Sangat kaku	200 - 400
Kaku	100 - 200
Sedang	50 - 100
Lunak	25 - 50
Sangat Lunak	25

Sumber: Hardiyatmo, 2012.

Analisis Statistik

Analisis Varians

Dasar pemikiran umum ANAVA adalah bahwa harga varians total (total varians) pada populasi dalam suatu pengamatan (eksperimen) dapat dianalisis menjadi 2 sumber, yaitu varians antarkelompok (*between group variance*) dan varians dalam kelompok (*within group variance*). Untuk melakukan interpretasi pada hasil ANAVA digunakan tabel nilai-nilai F sebagai kriterianya. Apabila harga F empiris lebih besar atau sama dengan F teoretis, hasil ANAVA diinterpretasikan signifikan, yang artinya terdapat perbedaan antara kelompok-kelompok data yang diteliti. Sebaliknya, apabila F empiris lebih kecil dari pada F teoretis, hasil ANAVA diinterpretasikan tidak signifikan, yang artinya tidak terdapat perbedaan antara kelompok-kelompok data yang diteliti (Sudaryono, 2014).

Uji Dunnet

Uji Dunnet digunakan untuk mengetahui perbandingan kontrol dengan perlakuan lainnya. Metode ini hanya membutuhkan suatu nilai pembanding yang digunakan untuk membandingkan antara kontrol dengan perlakuan lainnya. Interpretasi pada uji Dunnet yaitu dengan membandingkan selisih rata-rata dengan DLSD. Apabila selisih rata-rata >

DLSD dapat diinterpretasikannya signifikan, yang berarti terdapat perbedaan atau berbeda nyata, dan apabila selisih rata-rata \leq DLSD dapat diinterpretasikannya tidak signifikan, yang berarti tidak terdapat perbedaan atau tidak berbeda nyata.

Analisis Regresi

Analisis regresi adalah suatu analisis yang mengukur pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

Jika melibatkan satu variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y), pengukuran pengaruh ini dinamakan analisis regresi linier sederhana, yang dirumuskan dengan $Y = a + bX$. Koefisien regresi b adalah kontribusi besarnya perubahan nilai variabel bebas (X). Semakin besar nilai koefisien regresi, semakin besar kontribusi perubahan dan sebaliknya. Salah satu yang khas dari analisis regresi adalah persamaan yang dihasilkannya. Persamaan tersebut berguna untuk memprediksi atau meramal seberapa jauh pengaruh satu atau beberapa variabel bebas/independent terhadap variabel bergantung/dependent (Sudaryono, 2014).

METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Untuk memperoleh hasil yang maksimal maka disusun metode penelitian dalam pelaksanaannya yaitu:

Pengambilan sampel tanah pada kedalaman 1.0-1.5 meter dengan menggunakan cangkul dan sekop. Sampel tanah merupakan sampel dengan kondisi terganggu.

Setelah pengambilan contoh tanah, dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis tanah yaitu, pemeriksaan kadar air (ASTM D 2216), pemeriksaan berat jenis (ASTM D 854), pemeriksaan analisa saringan (ASTM D 421), pemeriksaan analisa hidrometer (ASTM E 100), pemeriksaan batas-batas Atterberg (ASTM D 4318).

Selanjutnya mengklasifikasikan tanah (menurut USCS). Jika tanah yang diambil tidak sesuai dengan kriteria tanah yang akan digunakan (tanah berlempung), maka dilakukan pengambilan sampel tanah yang lain kemudian dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis dan mengklasifikasikan tanah tersebut sampai mendapatkan sampel tanah yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Jika tanah yang diambil sesuai dengan kriteria

tanah yang akan digunakan (tanah berlempung), maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk pemeriksaan kuat geser tanah.

Pemeriksaan kuat geser tanah melalui pengujian tekan bebas (ASTM D 4767) dilakukan pada tanah asli, tanah asli + *zeolite* 5%, tanah asli + *zeolite* 10%, tanah asli + *zeolite* 15%, tanah asli + *zeolite* 20%. Dari hasil pemeriksaan kuat geser tanah dilakukan analisis data.

Teknik analisis data di dalam penelitian ini menggunakan analisis statistik, yaitu, Analisis varians untuk mengetahui pengaruh *zeolite* terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas. Jika $F_{empiris} > F_{teoritis}$ maka signifikan, *zeolite* berpengaruh terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas. Jika tidak, maka tidak signifikan, *zeolite* tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas. Jika tidak signifikan langsung dilakukan analisis regresi. Uji Dunet untuk mengetahui perbandingan antar kontrol (tanah asli) dengan perlakuan lainnya (tanah asli dengan variasi penambahan *zeolite* 5%, 10%, 15% dan 20%). Analisis regresi untuk mengukur pengaruh *zeolite* terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas melalui koefisien determinasi. Dari analisis regresi juga didapat persamaan regresi dimana persamaan tersebut berguna untuk memprediksi atau meramal seberapa jauh pengaruh *zeolite* terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas.

Kesimpulan merupakan pernyataan berdasarkan hasil pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik tanah

Karakteristik tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Karakteristik tanah

Karakteristik Tanah	
- Kadar Air	37,307 %
- Berat Jenis	2,463
- Distribusi Butiran :	
* Kerikil (<i>Gravel</i>)	0,000 %
* Pasir Kasar (<i>Coarse Sand</i>)	8,930 %
* Pasir Sedang (<i>Medium Sand</i>)	35,165 %
* Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	42,000 %
* Lanau dan Lempung (<i>Silt Clay</i>)	13,904 %
- Batas-batas Atterberg :	
* Batas Cair	38,391 %
* Batas Plastis	22,421 %
* Indeks Plastisitas	15,970 %
-Modulus Young (E_{50})	0,167 kg/cm ²
-Tegangan aksial (σ)	0,257 kg/cm ²
-Kuat geser (C_u)	0,128 kg/cm ²

Klasifikasi Tanah

Berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)* tanah dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar yaitu tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*) dan tanah berbutir halus (*fine grained soil*). Dalam penelitian ini tanah yang digunakan termasuk dalam tanah berbutir kasar dimana hasil ayakan sampel yang digunakan lebih dari 50% berat total tertahan saringan nomor 200.

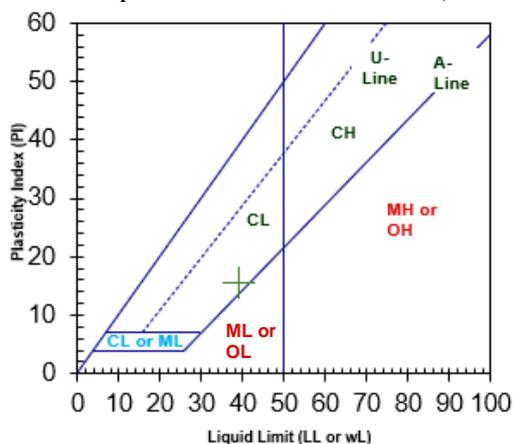
Tabel 3. Pemeriksaan analisis saringan

Sieve Number	Diameter (mm)	Mass of Sieve (g)	Mass of Sieve & Soil (g)	Soil Retained (g)	Soil Retained (%)	Soil Passing (%)
#4	4.750	512,38	512,38	0,00	0,00	100,00
#8	2,380	474,81	480,34	5,53	4,81	95,19
#10	2,000	462,60	467,34	4,74	4,12	91,07
#12	1,680	461,06	464,27	3,21	2,79	88,28
#16	1,190	442,66	450,03	7,37	6,41	81,87
#18	1,000	437,74	443,33	5,59	4,86	77,01
#30	0,590	410,32	424,62	14,30	12,43	64,57
#40	0,425	396,34	406,31	9,97	8,67	55,90
#50	0,297	388,07	394,78	6,71	5,83	50,07
#80	0,177	348,48	369,48	21,00	18,26	31,81
#100	0,149	351,06	355,25	4,19	3,64	28,17
#200	0,075	385,29	401,69	16,40	14,26	13,90
Pan		331,70	347,69	15,99	13,90	0,00
TOTAL:				115,00	100	

Berdasarkan hasil analisis saringan, tanah ini termasuk ke dalam kelompok pasir dimana tanah yang digunakan memiliki hasil ayakan sebesar 100% berat total lolos saringan nomor 4.

Dalam kelompok pasir tanah yang digunakan termasuk ke dalam pasir dengan butiran halus-SC. Hal ini dikarenakan hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan kriteria dari pasir butiran halus-SC, dengan penggambaran sebagai berikut:

1. Lebih dari 12% lolos saringan nomor 200 (contoh tanah yang digunakan 13,904% lolos saringan nomor 200).
2. Batas-batas Atterberg terletak di atas garis A dan indeks plastisitas > 7 (Contoh tanah yang digunakan memiliki batas-batas Atterberg terletak di atas garis A dan indeks plastisitas sebesar 15,970%).



Gambar 1. Diagram plastisitas

Maka dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tanah yang diinginkan yaitu tanah berlempung.

Pemeriksaan Kuat Geser Tanah

Dalam penelitian ini digunakan pengujian tekan bebas untuk mendapatkan parameter kuat tanah geser tanah. Hasil dan evaluasi dari pengujian tekan bebas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil dan evaluasi pengujian tekan bebas

Nama	No Sampel	Kadar Air		Regangan		Tegangan Aksial		Kuat Geser		Modulus Young	
		w	W _{ata-rata}	e	e _{rata-rata}	σ	σ _{rata-rata}	Cu	C _{urata-rata}	E ₅₀	E _{50rata-rata}
		%	%	(%)	(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
Tanah Asli	1	36,666		0,200		0,280		0,140		0,170	
	2	36,876		0,210		0,259		0,129		0,159	
	3	36,723	36,400	0,208	0,198	0,272	0,257	0,136	0,128	0,190	0,167
	4	34,336		0,225		0,262		0,131		0,142	
	5	37,198		0,149		0,211		0,106		0,176	
Tanah Asli + Zeolite 5%	1	35,542		0,161		0,296		0,148		0,207	
	2	35,743		0,211		0,315		0,157		0,174	
	3	36,004	35,519	0,226	0,208	0,428	0,360	0,214	0,180	0,258	0,219
	4	35,330		0,227		0,370		0,185		0,195	
	5	34,957		0,215		0,390		0,199		0,265	
Tanah Asli + Zeolite 10%	1	34,014		0,153		0,508		0,299		0,409	
	2	33,067		0,212		0,705		0,353		0,510	
	3	33,444	34,096	0,183	0,182	0,712	0,685	0,356	0,343	0,528	0,477
	4	34,900		0,170		0,660		0,330		0,442	
	5	35,054		0,193		0,750		0,375		0,504	
Tanah Asli + Zeolite 15%	1	32,926		0,151		1,194		0,597		1,080	
	2	34,872		0,186		0,725		0,362		0,488	
	3	34,620	34,187	0,203	0,177	0,666	0,773	0,333	0,386	0,464	0,580
	4	34,096		0,192		0,690		0,345		0,494	
	5	34,413		0,151		0,587		0,294		0,396	
Tanah Asli + Zeolite 20%	1	32,794		0,135		0,961		0,481		1,004	
	2	33,281		0,139		0,977		0,488		1,006	
	3	32,845	33,099	0,124	0,128	0,995	1,092	0,498	0,546	0,977	1,167
	4	33,448		0,118		1,251		0,625		1,432	
	5	33,126		0,124		1,278		0,639		1,418	

Berdasarkan tabel di atas nilai tegangan aksial (σ) masing-masing yaitu :

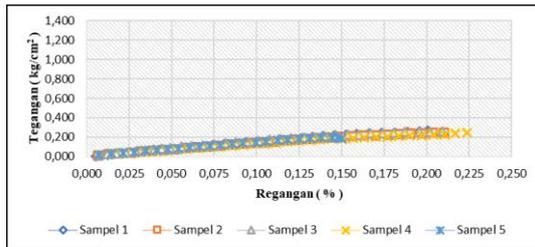
1. Tanah asli = 0,257 kg/cm² = 25,187 kN/m²
2. Tanah asli + zeolite 5% = 0,360 kg/cm² = 35,266 kN/m²
3. Tanah asli + zeolite 10% = 0,685 kg/cm² = 67,195 kN/m²
4. Tanah asli + zeolite 15% = 0,773 kg/cm² = 75,763 kN/m²
5. Tanah asli + zeolite 20% = 1,092 kg/cm² = 107,112 kN/m²

Dengan nilai tegangan aksial tersebut contoh tanah bisa diklasifikasi berdasarkan konsistensinya yaitu :

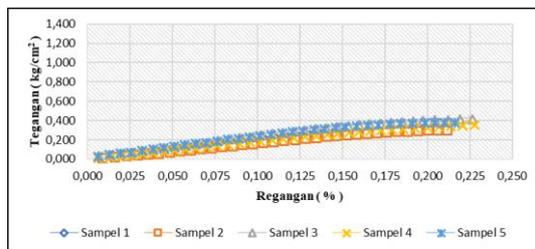
1. Tanah asli memiliki konsistensi lunak.
2. Tanah asli + zeolite 5% memiliki konsistensi lunak.
3. Tanah asli + zeolite 10% memiliki konsistensi sedang.
4. Tanah asli + zeolite 15% memiliki konsistensi sedang.
5. Tanah asli + zeolite 20% memiliki konsistensi kaku.

Tanah asli dan tanah asli + 5% zeolite memiliki konsistensi lunak. Tanah lunak memiliki ciri-ciri yaitu, gumpalan tanah yang mudah hancur bila diremas atau tanah berkoheisi lemah dan rapuh, sehingga jika ditekan sedikit saja akan mudah hancur. Tanah asli + 10% dan 15% zeolite memiliki konsistensi sedang dengan ciri-ciri yaitu,

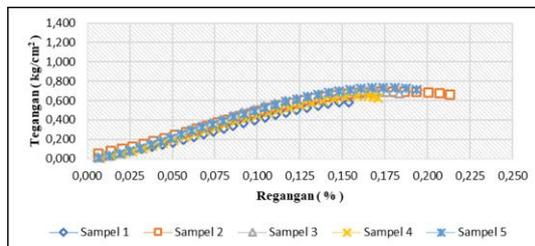
gumpalan tanah yang baru akan hancur jika diberi tekanan pada remasan atau jika hanya mendapat tekanan jari-jari tangan saja belum mampu menghancurkan gumpalan tanah. Tanah asli + 20% *zeolite* memiliki konsistensi kaku. Tanah kaku memiliki ciri-ciri yaitu makin susah untuk menekan gumpalan tanah dan makin sulitnya gumpalan untuk hancur atau makin diperlukannya tekanan yang lebih kuat untuk menghancurkan gumpalan tanah.



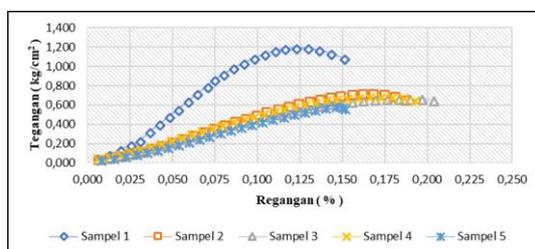
Gambar 2. Grafik hubungan tegangan dan regangan tanah asli.



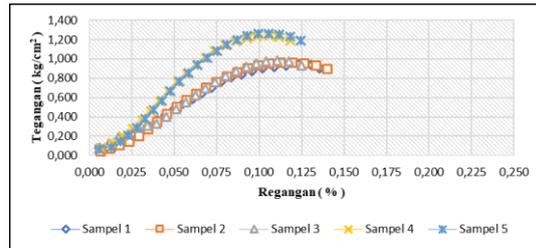
Gambar 3. Grafik hubungan tegangan dan regangan tanah asli + *zeolite* 5%.



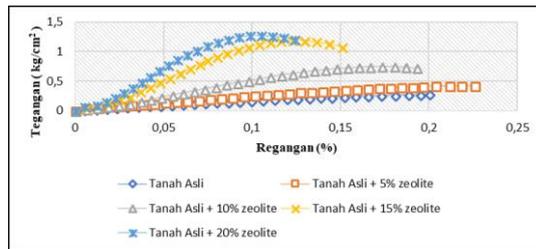
Gambar 4. Grafik hubungan tegangan dan regangan tanah asli + *zeolite* 10%.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dan regangan tanah asli + *zeolite* 15%.



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dan regangan tanah asli + *zeolite* 20%.



Gambar 7. Grafik hubungan tegangan dan regangan tanah asli, tanah asli + 5%, 10%, 15% dan 20% *zeolite*.

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak *zeolite* pada campuran membuat tegangan semakin besar, regangan semakin kecil.

Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Analisis Varians, Uji Dunnett, dan Analisis Regresi, yang akan dipaparkan sebagai berikut:

Analisis Varians

Analisis Varians 1 Jalur

Berdasarkan analisis varians satu jalur diperoleh hasil seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Ringkasan analisis varians 1 jalur

Terhadap	Sumber	Jk	db	Rk	F Empiris	F Teoretis	Interpretasi
Kadar Air	Antar Kelompok	33,725	4	8,431	15,574	2,870	SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	10,827	20	0,541	-	-	-
	Total	44,552	24	-	-	-	-
Regangan	Antar Kelompok	0,019	4	0,005	8,776	2,870	SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	0,011	20	0,001	-	-	-
	Total	0,030	24	-	-	-	-
Kuat Geser	Antar Kelompok	0,562	4	0,140	31,197	2,870	SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	0,090	20	0,005	-	-	-
	Total	0,652	24	-	-	-	-
Modulus Elastisitas	Antar Kelompok	3,197	4	0,799	29,888	2,870	SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	0,535	20	0,027	-	-	-
	Total	3,731	24	-	-	-	-

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada tanah yang ada, diperoleh hasil kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas seperti yang telah dipaparkan di atas. Kemudian dari hasil tersebut ditambahkan *zeolite* dengan variasi campuran sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil penambahan tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air, kuat geser, regangan, dan modulus elastisitas, ini

dibuktikan melalui analisis varians dimana hasil F empiris lebih besar dari F teoritis.

Uji Dunnet

Berdasarkan uji Dunnet diperoleh hasil variasi penambahan zeolite terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas seperti yang akan dipaparkan berikut.

Terhadap kadar air:

Tabel 6. Perbandingan selisih rata-rata dengan DLSD kadar air

Perlakuan (Kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{kontrol}-\mu_j $	DLSD	Interpretasi
T + 0% Zeolite	T + 20% Zeolite	3,301	> 1,0703	SIGNIFIKAN *
	T + 10% Zeolite	2,304	> 1,0703	SIGNIFIKAN *
	T + 15% Zeolite	2,213	> 1,0703	SIGNIFIKAN *
	T + 5% Zeolite	0,880	< 1,0703	TIDAK SIGNIFIKAN tn

Keterangan :

* = Berbeda nyata

tn = Tidak berbeda nyata

Terhadap kuat geser:

Tabel 7. Perbandingan selisih rata-rata dengan DLSD kuat geser

Perlakuan (Kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{kontrol}-\mu_j $	DLSD	Interpretasi
T + 0% Zeolite	T + 5% Zeolite	0,051	< 0,09759	TIDAK SIGNIFIKAN tn
	T + 10% Zeolite	0,214	> 0,09759	SIGNIFIKAN *
	T + 15% Zeolite	0,258	> 0,09759	SIGNIFIKAN *
	T + 20% Zeolite	0,418	> 0,09759	SIGNIFIKAN *

Keterangan :

* = Berbeda nyata

tn = Tidak berbeda nyata

Terhadap regangan:

Tabel 8. Perbandingan selisih rata-rata dengan DLSD regangan

Perlakuan (Kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{kontrol}-\mu_j $	DLSD	Interpretasi
T + 0% Zeolite	T + 20% Zeolite	0,070	> 0,03911	SIGNIFIKAN *
	T + 15% Zeolite	0,021	< 0,03911	TIDAK SIGNIFIKAN tn
	T + 10% Zeolite	0,016	< 0,03911	TIDAK SIGNIFIKAN tn
	T + 5% Zeolite	0,010	< 0,03911	TIDAK SIGNIFIKAN tn

Keterangan :

* = Berbeda nyata

tn = Tidak berbeda nyata

Terhadap modulus elastisitas:

Tabel 9. Perbandingan selisih rata-rata dengan DLSD modulus elastisitas

Perlakuan (Kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{kontrol}-\mu_j $	DLSD	Interpretasi
T + 0% Zeolite	T + 5% Zeolite	0,052	< 0,23786	TIDAK SIGNIFIKAN tn
	T + 10% Zeolite	0,310	> 0,23786	SIGNIFIKAN *
	T + 15% Zeolite	0,413	> 0,23786	SIGNIFIKAN *
	T + 20% Zeolite	1,000	> 0,23786	SIGNIFIKAN *

Keterangan:

* = Berbeda nyata

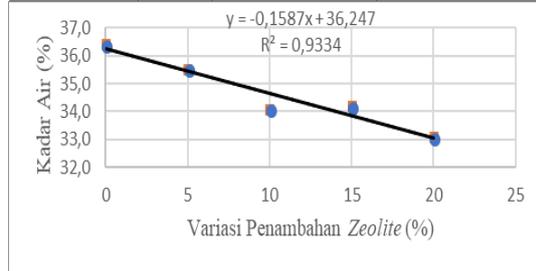
tn = Tidak berbeda nyata

Analisis Regresi

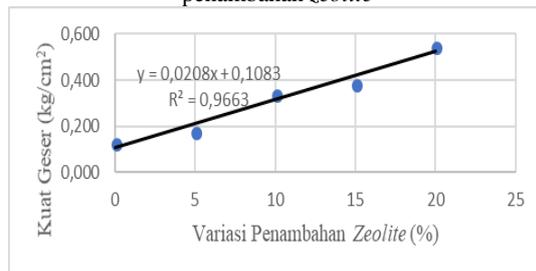
Berdasarkan analisis regresi, diperoleh persamaan terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas seperti dibawah ini.

Tabel 4.9 Ringkasan analisis regresi

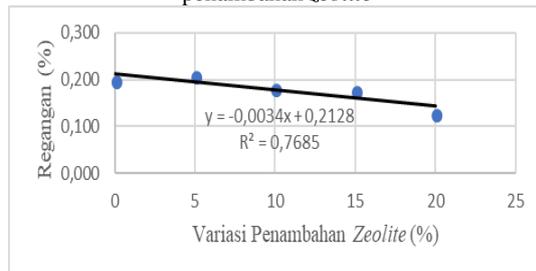
Terhadap	Persamaan	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (r^2)
Kadar Air	Linier	$Y = 36,247 - 0,159 X$	0,933
Kuat Geser	Linier	$Y = 0,108 + 0,021 X$	0,966
Regangan	Linier	$Y = 0,213 - 0,003 X$	0,769
Modulus Elastisitas	Linier	$Y = 0,050 + 0,047 X$	0,872



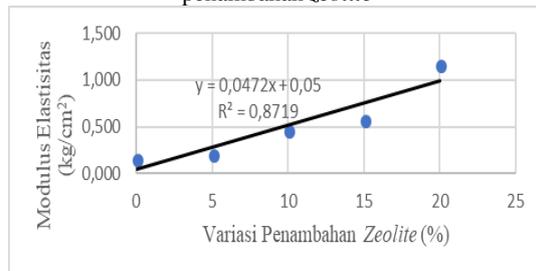
Gambar 8. Grafik hubungan kadar air dan variasi penambahan zeolite



Gambar 9. Grafik hubungan kuat geser dan variasi penambahan zeolite



Gambar 10. Grafik hubungan regangan dan variasi penambahan zeolite



Gambar 11. Grafik hubungan modulus elastisitas dan variasi penambahan zeolite

Dari persamaan dan grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak zeolite pada campuran maka kuat geser dan modulus elastisitas semakin bertambah, sebaliknya semakin banyak zeolite pada campuran membuat kadar air dan regangan berkurang.

Penambahan zeolite membuat kadar air berkurang mulai dari kadar air yang ada tanah asli + 0% zeolite yaitu 36,400%, tanah asli + 5% yaitu 35,519%, tanah asli + 10% zeolite yaitu 34,096, tanah asli + 15% zeolite yaitu

34,187% hingga dengan tanah asli + 20% *zeolite* yaitu 33,099%, ini sesuai dengan sifat *zeolite* bahwa *zeolite* mampu menyerap air.

Kadar air yang menurun atau berkurang ternyata memberikan pengaruh terhadap kuat geser dan regangan pada tanah yang diteliti. Penambahan *zeolite* pada penelitian ini memberikan hasil pada perubahan kuat geser dari yang awalnya rendah menjadi lebih tinggi. Perubahan yang sebaliknya terjadi pada regangan. Regangan yang awalnya tinggi menjadi lebih rendah. Perubahan yang terjadi yaitu berkurangnya kadar air, bertambahnya kuat geser dan berkurangnya regangan tanah ini sesuai dengan apa yang dikemukakan Hardiyatmo (2012) bahwa dengan berkurangnya kadar air akan membuat kekuatan tanahnya bertambah dan Das (1990) pada kadar air yang rendah, butiran tanah akan saling melekat dengan kuat dan membentuk massa yang sangat kompak dan kuat. Jika lempung menyerap air, air akan mengisi rongga antar butir, volume akan bertambah, butiran akan merenggang dan ikatan antar butir berkurang. Pengaruh kadar air terhadap kekuatan tanah (q_u) ini didukung juga oleh penelitian sebelumnya Adi (2013) dimana kekuatan tanah (q_u) tampak sangat tinggi dengan konsistensi keras pada kadar air sekitar 20% namun pada kadar air sekitar 35% tanah lempung sudah menjadi agak lunak dan menjadi lebih lunak pada kadar air sekitar 44%.

Perubahan nilai kuat geser dan regangan mempengaruhi nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas itu sendiri merupakan tegangan dibagi dengan regangan. Penambahan *zeolite* menyebabkan modulus elastisitas meningkat dari 0,167 kg/cm² pada tanah asli menjadi 1,167 kg/cm² pada variasi campuran 20% *zeolite*.

Besarnya penurunan kadar air, bertambahnya kuat geser, berkurangnya regangan dan meningkatnya modulus elastisitas dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan regresi yang ada pada tabel 4.9. Dari persamaan tersebut dapat dilihat seberapa jauh pengaruh variasi

campuran *zeolite* terhadap tanah yang diteliti. Dengan nilai koefisien determinasi pada tabel 4.9 dapat diinterpretasikan bahwa variasi campuran *zeolite* memiliki hubungan yang erat, baik dengan kadar air, kuat geser, regangan maupun dengan modulus elastisitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *zeolite* pada tanah menyebabkan kadar air pada tanah berkurang, kadar air 36,400% pada tanah asli menjadi 33,099% pada tanah asli dengan variasi penambahan 20% *zeolite*. Kuat geser bertambah seiring dengan penambahan *zeolite* pada tanah, kuat geser 0,128 kg/cm² pada tanah asli menjadi 0,546 pada tanah asli dengan variasi penambahan 20% *zeolite*. Penambahan *zeolite* pada tanah menyebabkan regangan tanah tersebut berkurang, regangan 0,198% pada tanah asli menjadi 0,128% pada tanah asli dengan variasi penambahan 20% *zeolite*. Terhadap modulus elastisitas semakin bertambah *zeolite* semakin bertambah nilai modulus elastisitas, modulus elastisitas 0,167 kg/cm² pada tanah asli menjadi 1,167 kg/cm² pada tanah dengan variasi penambahan 20% *zeolite*.
2. Dari uji Dunnett menunjukkan bahwa variasi penambahan 5% *zeolite* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas. Pada variasi penambahan 10% *zeolite* mulai memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air, kuat geser dan modulus elastisitas. Untuk regangan hanya variasi campuran 20% *zeolite* yang memberikan pengaruh yang signifikan. Variasi penambahan 20% *zeolite* merupakan variasi penambahan yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A.D. 2013. *Pengaruh Perubahan Kadar Air terhadap Parameter Kekuatan Tanah Lempung*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Alfian, R. dkk. 2015. *Studi Analisis Daya Dukung Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi yang Dicampur Zeolit*. ISSN:2303-001, hal.221 – 236.
- Bekkum, H.V., Flanigen, E.M. and Jansen, J.C. 1991. *Introduction to Zeolite Science and Practice. Volume 58 1st Edition*, Elsevier Science.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 1990. *Principles of Geotechnical Engineering, Third Edition*. Boston: PWS-KENT Publishing Company.
- Das, B.M. Endah Noor, B. Mochtar. 1995. *Mekanika tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Mekanika Tanah 1 Edisi keenam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kusumaningtyas, Ayu Endarti. 2003. *Pemanfaatan Zeolit Sebagai Adsorben Untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*. Malang : Universitas Negeri Malang.
- Ogawa, T., Iyoki, K., Fukushima, T. and Kajikawa, Y. 2017. *Landscape of Research Areas for Zeolites and Metal-Organic Frameworks Using Computational Classification Based on Citation Networks*, MDPI.
- Panguriseng, D. 2001. *Stabilisasi Tanah*. Makassar: Universitas 45 Makassar.
- Said, M. dkk. 2008. *Studi Aktifasi Zeolit Alam Sebagai Adsorbent Pada Adsorpsi Larutan Iodium*. Indralaya: Universitas Sriwijaya.
- Sudaryono. 2014. *Teori Dan Aplikasi Dalam Statistik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sudjana. 1996. *Metode Statistika*. Bandung : Tarsito.
- Terzaghi, K. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Edisi Kedua Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistics. A biometrical approach. 2nd edition*. McGraw-Hill, New York, USA, pp. 20-90.