

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TERHADAP KEKUATAN DAN PENGEMBANGAN (SWELLING) PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF BOJONEGORO

Riota Abeng Ranggaesa¹⁾, Yulvi Zaika²⁾, Suroso³⁾

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya
Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145 – Telp (0341) 580120
E-mail: riotaabeng@gmail.com¹⁾

ABSTRACT

Expansive clay soil has a low bearing capacity on condition that the high water level, the nature and development of shrinkage (swelling) were large and high plasticity. One method of stabilization of the soil used in an attempt to improve the quality of the soil is poor, among others, chemical stabilization. Chemical stabilization is done by adding stabilizing agents on the basis of land that will be upgraded. Stabilizing agents used in this study is lime (lime). In this study, the object being observed is, without stabilization of expansive clay and expansive clay with stabilization. Soil stabilized with lime content of 6%, 8%, 9% and 10% of the dry weight of the soil. This study involved testing the physical properties of the analysis granules, Specific Gravity, Atterberg Limit, and compaction, as well as testing the mechanical properties of soil CBR, Swelling, and triaxial. From the results of the test specimen, the native land of the inorganic clay with high plasticity, expands the potential is very high and has a value of current activity. The value of the liquid limit (LL) and plasticity index (PI) decreased with increasing levels of lime, while the value of plastic limit (PL) and the shrinkage limit (SL) increased with increasing lime content. The increase in the value of CBR soaked and unsoaked highest in the percentage of lime addition of 8% and more and more levels of lime are added, the smaller the swelling that occurs. Relationship stress and strain that occurs on lime content of 8%.

Keywords : *Expansive Clay Soil, Soil Stabilization, Lime, CBR, Swelling, tress and strain*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah yang terdapat pada wilayah Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro merupakan tanah lempung ekspansif. Pada saat musim kemarau, tanah tersebut akan menjadi lebih kaku dan akan menjadi lembek pada saat musim hujan.

Berdasarkan penelitian - penelitian sebelumnya, perbaikan kualitas dari tanah lempung ekspansif dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan *additive* pada tanah lempung ekspansif tersebut. Bahan *additive* yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur (*lime*).

Warsiti (2009) menyatakan bahwa penambahan kadar kapur 10% merupakan kadar paling baik untuk stabilisasi sehingga dapat meningkatkan nilai CBR keadaan *unsoaked* sampai pada persentase 10% dan nilai CBR *soaked* dari 2,45% menjadi 7,6%. Sedangkan untuk nilai *swelling* tanah lempung, dengan bertambahnya persentase kadar kapur maka nilai *swelling* semakin kecil.

Sutikno dan Budi Damianto (2009) pada penelitian yang dilakukan pada tanah ekspansif di daerah Cipularang menyatakan bahwa pada penambahan kadar kapur 4%-6% terjadi peningkatan nilai CBR yang signifikan.

Tujuan penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah :

1. Untuk dapat mengetahui karakteristik tanah asli pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro.
2. Untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan dari penambahan kapur (*lime*) terhadap karakteristik tanah ekspansif (LL,PL,SL), pengembangan (*swelling*) dan nilai CBR pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro.
3. Untuk mengetahui besar kadar kapur yang ditambahkan agar menghasilkan hubungan tegangan dan regangan yang baik untuk tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung

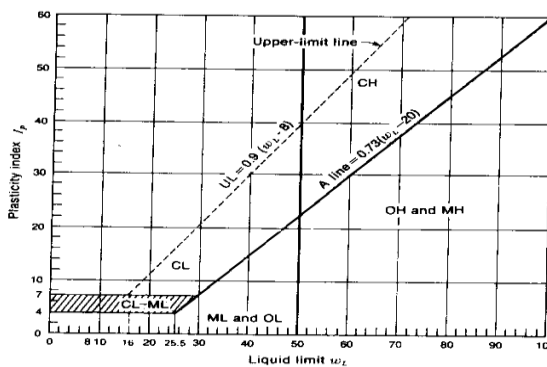
Selain digolongkan menurut ukuran butiran, lempung juga dapat digolongkan menurut segi mineralnya. Berdasarkan segi mineral tanah lempung mempunyai partikel mineral yang Menghasilkan sifat plastis apabila dicampur dengan air (Grim, 1953 dalam Das, 1995). Menurut Das (1995) terdapat tiga jenis kelompok mineral penyusun lempung, diantaranya *kaolinite*, *illite* dan *montmorillite*.

Tanah Lempung Ekspansif

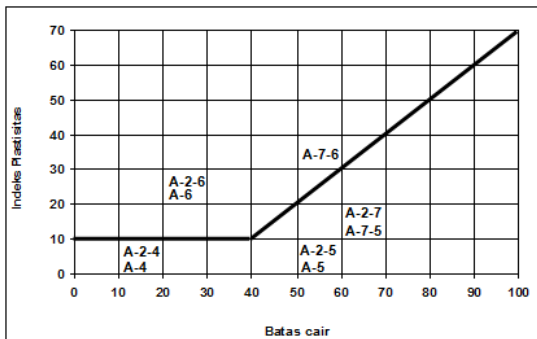
Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang mempunyai kembang susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air dikarenakan mineral penyusun tanah tersebut. Menurut Bowles (1986) tanah lempung diperkirakan akan memiliki perubahan volume yang besar (ekspansif) bila indeks plastisitasnya melebihi 20 ($IP > 20$).

Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah dapat didasarkan pada tekstur yang relatif sederhana karena hanya berdasarkan distribusi ukuran butir tanah (Das, 1995). Umumnya dalam pekerjaan konstruksi bangunan dipakai dua sistem klasifikasi tanah yaitu sistem klasifikasi pada (USCS) dan (AASHTO).



Gambar 1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah USCS



Gambar 2 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Potensi Mengembang

Indeks plastisitas mempunyai hubungan yang erat dengan potensi pengembangan tanah ekspansif sehingga potensi pengembangan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan indeks plastisitas (Chen, 1975), seperti pada tabel yang disajikan berikut

Tabel 1 Hubungan Potensi Mengembang Terhadap Indeks Plastisitas (Chen, 1975)

Potensi Mengembang	Indeks Plastisitas (IP)
Rendah	0 - 15
Sedang	15 - 35
Tinggi	35 - 55
Sangat Tinggi	55 <

Tabel 2 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI (Raman, 1967)

Plasticity Index (%)	Shrinkage Index (%)	Degree of Expansion
<12	<15	Low
12 - 30	15 - 30	Medium
23 - 30	30 - 40	High
>30	> 40	Very High

Tabel 3 Klasifikasi potensi mengembang berdasarkan Atteberg Limit (Altmeyer, 1955)

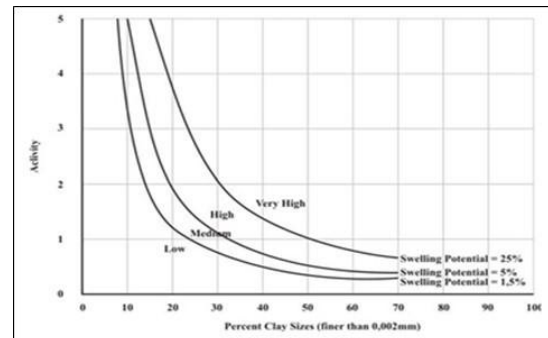
Batas susut Atteberg (%)	Susut linier (%)	Derajat mengembang
<10	> 8	Kritis
10 - 12	5 - 8	Sedang
> 12	0 - 8	Tidak kritis

Menurut Skempton (1953) dalam Das (1995) yang disebut aktivitas dapat diketahui berdasarkan rumus berikut:

$$Activity (A) = \frac{PI}{c}$$

Keterangan:

- A = Aktivitas
- PI = Indeks Plastisitas
- C = Presentase lempung lolos saringan 0,002 mm



Gambar 3 Klasifikasi Potensi Mengembang

California Bearing Ratio

Pemeriksaan CBR merupakan salah satu cara untuk menyatakan kualitas suatu tanah dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standar dengan harga CBR 100% (batu pecah dianggap sebagai agregat standar dengan harga CBR 100%). Besar nilai CBR dapat dinyatakan menurut perhitungan sebagai berikut :

- Penetrasi 0,1" (2,5 mm)

$$CBR = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\%$$
- Penetrasi 0,2" (5 mm)

$$CBR = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\%$$

Persamaan diatas diterbitkan oleh California Highway Departemen dan US Army Corps of Engineer, 1929 pada Rollings and Rollings, J. R (1996).

Unconsolidated Undrained Test / UU Test

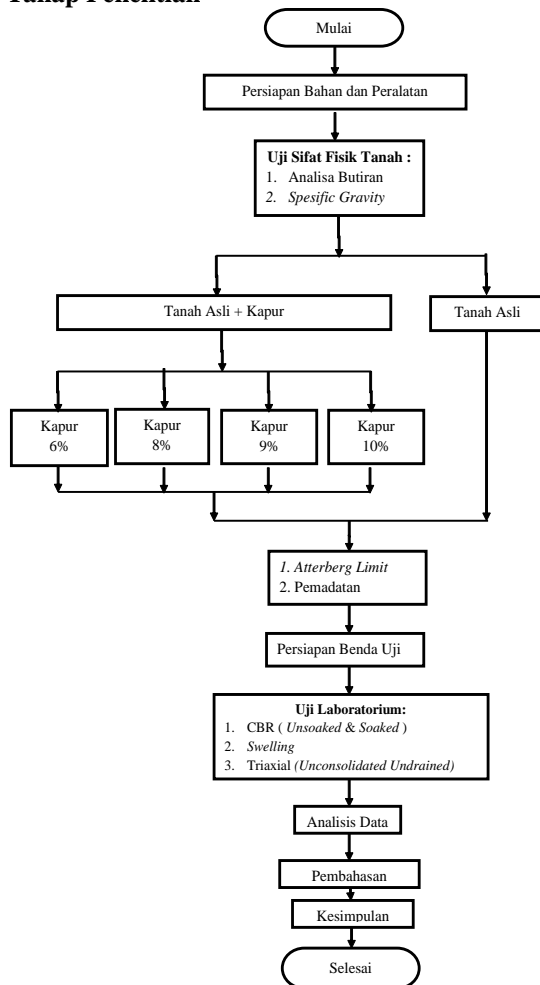
Pada pengujian triaksial konvensional prosedur normal, pengujian yang sama terhadap sampel tanah bisa dilakukan beberapa kali dengan memberikan nilai tegangan sel σ_3 yang berbeda. Bila nilai tegangan utama mayor / besar serta minor / kecil pada setiap uji dapat diketahui, maka kita bisa menggambarkan lingkaran-lingkaran Mohr-nya mendapatkan garis selubung untuk keruntuhannya (failure envelope). Koordinat titik singgung pada garis keruntuhan dengan menggunakan lingkaran Mohr menunjukkan besarnya tegangan (normal dan geser) terhadap bidang keruntuhan dari tiap sampel tanah yang diuji.

Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Kapur yang dicampur dengan butiran mineral lempung bereaksi membentuk kalsium silikat yaitu gel yang keras untuk mengikat partikel tanah. Gel silika melapisi serta mengikat partikel-partikel lempung dan menutupi pori tanah.

METODE PENELITIAN

Tahap Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan dua perlakuan, yaitu variasi yang dilakukan pada tanah asli dan tanah yang sudah dicampur dengan kapur 6%, 8%, 9%, 10%. Rancangan penelitian disajikan pada tabel 4 dan 5 berikut ini.

Tabel 4 Rancangan Penelitian

Komposisi Tanah	Atterberg Limit				OMC	γ_d
	LL	PL	SL	PI		
Tanah Asli						
Tanah Asli + 6% kapur						
Tanah Asli + 8% kapur						
Tanah Asli + 9% kapur						
Tanah Asli + 10% kapur						

Tabel 5 Rancangan Penelitian (lanjutan)

Komposisi Tanah	CBR		Swelling	Triaxial
	soaked	unsoaked		Unconsolidated Undrained
Tanah Asli				
Tanah Asli + 6% kapur				
Tanah Asli + 8% kapur				
Tanah Asli + 9% kapur				
Tanah Asli + 10% kapur				

Langkah-Langkah Pengujian

Langkah – langkah pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah lempung yang sudah diambil dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dihancurkan dan dikeringkan terlebih dahulu. Kemudian disaring dengan saringan no. 4 (4,75 mm).
2. Timbang tanah yang sudah disaring dengan berat 4,5 kg dan campur dengan air kemudian dipadatkan untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) pada tanah asli.
3. Lakukan uji *California Bearing Ratio* (CBR), *Swelling*, dan *Triaxial* pada tanah asli.
4. Tambahkan 6%, 8%, 9% dan 10% kapur dari berat kering pada tanah dengan menggunakan 3 sampel tanah, kemudian timbang dengan berat 4,5 kg dan dicampur dengan air kemudian dipadatkan untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) pada tanah tersebut.
5. Lakukan uji *California California Bearing Ratio* (CBR), *Swelling*, dan *Triaxial* pada tanah tersebut sesuai dengan kadar kapur yang ditambahkan .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Pada Tanah Asli

Pengujian di laboratorium mengenai karakteristik tanah asli mencakup analisis butiran dan hidrometer, *specific gravity*, *Atterberg Limit*, pemadatan, CBR, *swelling* dan triaxial UU.

Tabel 6 Hasil Pengujian Tanah Asli

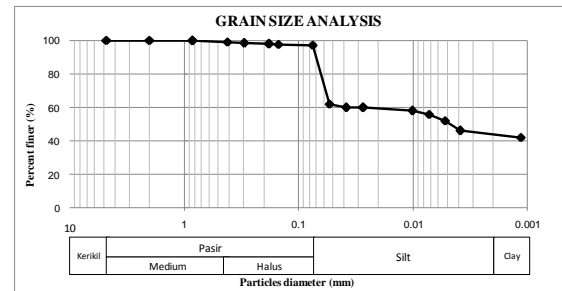
Jenis Percobaan	Satuan	Nilai
Specific Gravity (Gs)		2.685
Lolos Saringan no.200	%	97,03
(LL) Batas Cair	%	81,5
(PL) Batas Plastis	%	35,59
(SL) Batas Susut	%	6,77
Indeks Plastisitas (PI)	%	45,91
Fraksi Lempung (C)	%	44
Berat Isi Kering	gr/cc	0,8186
Kadar Air Optimum	%	21,9
CBR soaked	%	4,66
CBR unsoaked	%	14,76
Pengembangan (<i>Swelling</i>)	%	5,5088
Sudut Geser (Φ)	°	20,61
Kohesi (c)	kg/cm ²	0,842

Dari hasil pada tabel diatas, didapatkan nilai indeks plastisitas (IP) sebesar 45,91% dan batas cair (LL) sebesar 81,5%. Menurut Chen (1975) berdasarkan data diatas maka tanah lempung ekspansif Bojonegoro tergolong dalam tanah lempung ekspansif dengan tingkat pengembangan yang sangat tinggi dan nilai aktivitas yang aktif.

Untuk pengujian distribusi butiran, dilakukan pengujian analisis saringan dan *hydrometer*. Hasil pengujian analisis saringan disajikan pada tabel 7 dan gambar 5, yang mengindikasikan bahwa 97,03% butiran tanah lolos saringan no 200.

Tabel 7 Hasil Pengujian Analisis Saringan

Ukuran saringan		Berat tertinggal	Jumlah tertinggal	Tertahan (%)	Lolos (%)
inch	mm	(gram)	(gram)		
4	4.75	0	0	0.0	100
10	2	0.03	0.03	0.02	99.99
20	0.84	0.61	0.64	0.32	99.68
40	0.42	1.27	1.91	0.96	99.05
50	0.3	1.47	3.38	1.69	98.31
80	0.18	1.02	4.40	2.20	97.80
100	0.15	0.53	4.93	2.47	97.54
200	0.075	1.02	5.95	2.98	97.03
Pan		194.05	200.00	100	0.00



Gambar 5 Grafik analisa butiran

Hasil Pengujian Tanah Dengan Campuran Kapur

Pengujian ini dilakukan pada tanah lempung ekspansif yang memiliki komposisi kapur sebesar (0%, 6%, 8%, 9% dan 10%) yang meliputi *Atterberg limit*, pemadatan, CBR, *swelling*, dan triaxial UU.

Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Hasil pemeriksaan *atterberg limit* pada tanah campuran kapur dengan berbagai prosentase adalah sebagai berikut (tabel 8)

Tabel 8 Hasil Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Jenis Sampel	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah asli	81,5	35,59	6,77	45,91
Tanah + 6% kapur	58,50	45,16	17,65	13,34
Tanah + 8% kapur	55,00	45,76	18,18	9,24
Tanah + 9% kapur	54,50	46,24	18,79	8,26
Tanah + 10% kapur	53,00	46,67	19,34	6,33

Dengan adanya penambahan stabilisasi berupa kapur, indeks plastisitas menurun seiring dengan penambahan kadar campuran bahan tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan reaksi pertukaran ion yang terjadi sehingga mengakibatkan perubahan ion Ca^{+} untuk mengurangi ekspansifitas pada tanah lempung tersebut

Pengujian Pemadatan

Hasil pengujian pemadatan menunjukkan nilai OMC terhadap tanah yang dicampur dengan berbagai prosentase tersebut mengalami penurunan pada prosentase kapur 6% yaitu sebesar 19,39% kemudian mengalami peningkatan seiring dengan penambahan prosentase kapur. Untuk data berat isi kering tanah maksimum (γ_d maks) mengalami peningkatan sampai pada prosentase kapur 8% yaitu sebesar 1,1247 gr/cm³ dan mengalami penurunan seiring dengan penambahan prosentase kapur.

Tabel 9 Hasil Pengujian Pemadatan

Jenis Sampel	OMC (%)	γ_d maks (gr/cm ³)
Tanah asli	21,94	0,8186
Tanah + 6% kapur	19,39	1,1169
Tanah + 8% kapur	19,79	1,1247
Tanah + 9% kapur	20,70	1,1069
Tanah + 10% kapur	22,03	1,1024

Namun pada campuran tanah asli dengan 9% kapur nilai γ_d maks lebih kecil daripada saat kadar kapur 8%. Hal ini dikarenakan, terlalu banyaknya kadar kapur sebagai bahan adiktif atau dengan kata lain, berlebihnya kandungan kalsium sebagai pengikat sedangkan kandungan alumina dan silikat menjadi lebih sedikit sehingga ikatan yang terbentuk antar butiran tanah dan butiran kapur tidak kuat. Keadaan ini mengakibatkan γ_d maks menjadi lebih kecil.

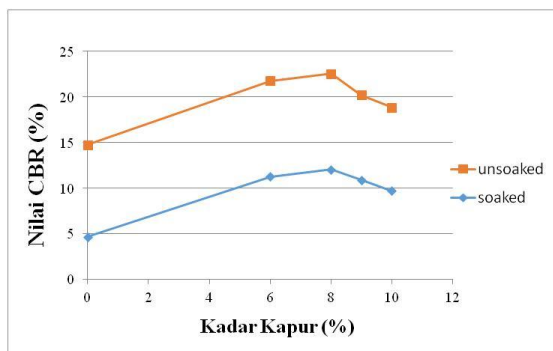
Pengujian CBR

Hasil pengujian CBR pada tanah campuran dari berbagai prosentase dapat disajikan dalam tabel 9 berikut.

Tabel 9 Hasil Pengujian CBR

Jenis Sampel	Nilai CBR (%)	
	Soaked	Unsoaked
Tanah asli	4,66	14,76
Tanah + 6% kapur	11,26	21,75
Tanah + 8% kapur	12,04	22,52
Tanah + 9% kapur	10,87	20,19
Tanah + 10% kapur	9,71	18,83

Proses pozzolan terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO₂) dan aluminat (AlO₃) dari aditif membentuk material pengikat tanah yang terdiri dari kalsium silikat atau aluminat silikat. Reaksi dari ion Ca²⁺ dengan silikat dan aluminat dari permukaan partikel lempung membentuk pasta semen (hydrated gel) sehingga mengikat partikel-partikel tanah. Reaksi sementasi yang terjadi pada campuran tanah dengan aditif membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga lebih kuat menahan beban yang diberikan, dengan kata lain penambahan kapur akan memperkuat tanah asli dengan meningkatkan nilai CBR.

**Gambar 6** Hasil Pengujian CBR

Namun pada campuran tanah asli dengan 9% kapur nilai CBR lebih kecil daripada saat kadar kapur 8%. Hal ini dikarenakan selain gradasi butiran yang tidak seimbang juga terlalu banyaknya kadar kapur sebagai bahan adiktif atau dengan kata lain, berlebihnya kandungan kalsium sebagai pengikat sedangkan kandungan alumina dan silikat menjadi lebih sedikit sehingga ikatan yang terbentuk antar butiran tanah dan butiran kapur tidak kuat. Keadaan ini mengakibatkan daya dukung tanah menjadi lebih kecil.

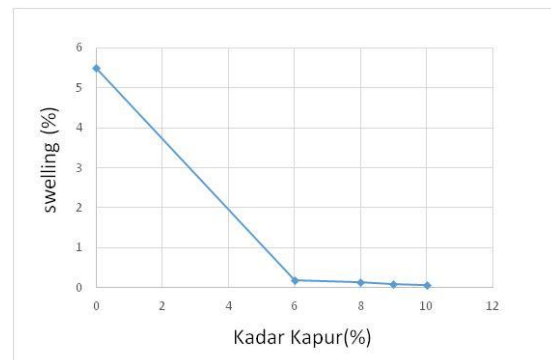
Pengujian Swelling (Pengkembangan)

Dari hasil pengujian *swelling* didapatkan *swelling* tanah *undisturbed* sebesar 5,509%, tetapi saat tanah tersebut dicampur dengan kapur maka nilai dari *swelling* didapatkan mengalami penurunan seiring penambahan prosentase kapur. Hasil dari pengujian *swelling* disajikan dalam tabel 10 dan gambar 7 berikut.

Tabel 10 Hasil Pengujian *Swelling*

Jenis Sampel	Pengembangan (%)	Penurunan Nilai Pengembangan (%)
Tanah asli	5,509	0
Tanah + 6% kapur	0,195	96,47
Tanah + 8% kapur	0,133	97,59
Tanah + 9% kapur	0,097	98,23
Tanah + 10% kapur	0,071	98,71

Penurunan terbesar terjadi pada penambahan kapur 10%, penurunan tersebut sebesar $\frac{5,509-0,071}{5,509} \times 100\% = 98,71\%$.

**Gambar 7** Hasil Pengujian *Swelling*

Kapur yang dicampur dengan butiran mineral lempung bereaksi membentuk kalsium silikat yaitu gel yang keras untuk mengikat partikel tanah. Gel silika melapisi serta mengikat partikel-partikel lempung dan menutupi pori tanah. Hal tersebut mengakibatkan turunnya nilai indeks plastisitas dan batas cair. Menurut Chen (1975) semakin rendah nilai plastisitas maka semakin rendah potensi mengembang. Dengan kata lain, penambahan kapur akan meningkatkan kualitas dari tanah asli karena memperkecil besarnya pengembangan (*swelling*).

Pengujian Triaxial UU

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran tegangan total yang bekerja pada *specimen* dan selanjutnya dapat dikoreksi terhadap tekanan air pori. Dihasilkan nilai kohesi (c) dan nilai sudut geser dalam (ϕ). Metode yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada ASTM D-2850-95. Berikut adalah hasil dari pengujian Triaxial Compression Test (tabel 11).

Tabel 11 Hasil Pengujian Triaxial UU

Jenis Sampel	ϕ	c (kg/cm ²)
Tanah asli	20,61	0,842
Tanah + 6% kapur	22,64	0,972
Tanah + 8% kapur	23,70	1,059
Tanah + 9% kapur	24,58	1,023
Tanah + 10% kapur	26,37	0,958

Hardiyatmo (1999) menyatakan bahwa sudut geser dalam pada kondisi undrained untuk lempung jenuh adalah 0°, namun pada pengujian triaxial ini, sampel *remoulded* diberikan kadar air sesuai dengan OMC dan belum mencapai kejenuhan sehingga memiliki sudut geser (ϕ). Nilai sudut geser (ϕ) tanah pada uji geser Triaxial Compression Test terhadap prosentase kadar kapur meningkat seiring penambahan prosentase kapur. Kenaikan terbesar terjadi pada penambahan prosentase kapur 10% yaitu sebesar 26,37°. Berikut grafik pengaruh penambahan kapur terhadap nilai sudut geser (ϕ) (gambar 8).



Gambar 8 Pengaruh penambahan kapur terhadap nilai sudut geser (ϕ)

Hal ini dikarenakan zat aditif yang bercampur dengan tanah mengakibatkan terjadinya proses pertukaran kation alkali yaitu (Na^+ dan K^+) dari tanah digantikan oleh kation dari aditif mengakibatkan ukuran butiran lempung bertambah besar (flokulasi) sehingga berpengaruh terhadap nilai sudut geser tanah yang semakin meningkat.

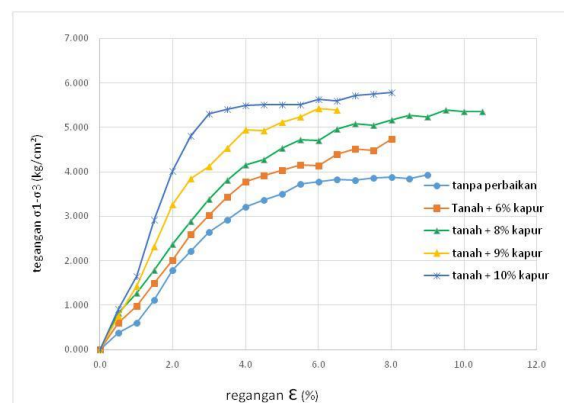
Nilai kohesi (c) tanah pada uji geser Triaxial Compression Test terhadap prosentase kadar kapur meningkat sampai dengan penambahan kadar kapur sebesar 8%, pada penambahan kapur diatas 8% akan memberikan nilai kohesi tanah yang cenderung menurun terus. Berikut grafik pengaruh penambahan kapur terhadap nilai kohesi (c) (gambar 9).



Gambar 9 Pengaruh penambahan kapur terhadap nilai Kohesi (c)

Hal ini dikarenakan, terlalu banyaknya kadar kapur sebagai bahan adiktif atau dengan kata lain berlebihnya kandungan kalsium sebagai pengikat sedangkan kandungan alumina dan silikat menjadi lebih sedikit sehingga ikatan yang terbentuk dari gradasi butirannya menjadi tidak seimbang. Salah satu aspek yang mempengaruhi nilai kohesi yaitu kerapatan dan jarak molekul-molekul dalam tanah. Bila kerapatan semakin tinggi nilainya, maka kohesi yang didapatkan akan semakin besar. Dengan demikian nilai kohesi maksimum dicapai pada kondisi penambahan kapur optimum, yaitu pada kadar kapur sebesar 8% dan nilai kohesi sebesar 1,059 kg/cm²

Nilai Tegangan (σ) dan regangan (ϵ) juga menentukan tingkat kegetasan tanah, dalam hasil pengujian triaxial ini juga didapatkan hasil hubungan tegangan regangan pada tegangan (σ)=1 dari tiap prosentase kapur yang ditambahkan (Gambar 10). Berikut grafik hubungan tegangan regangan tanah campuran pada $\sigma_3=1$.



Gambar 10 Hubungan Tegangan Regangan Tanah Campuran Pada $\sigma_3=1$.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa hubungan tegangan dan regangan yang baik terjadi pada kadar kapur 8%, dengan kata lain tanah yang dicampur dengan prosentase kapur 8% tidak terlalu getas dan tidak terlalu lembek.

KESIMPULAN

1. Tanah lempung ekspansif Bojonegoro merupakan tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, potensi mengembang sangat tinggi dan memiliki nilai aktifitas yang aktif.
2. Nilai batas cair dan indeks plastisitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar kapur, sedangkan nilai batas plastis dan nilai batas susut mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar kapur. Kenaikan nilai CBR *soaked* dan *unsoaked* tertinggi terjadi pada penambahan prosentase kapur 8% dan semakin banyak kadar kapur yang ditambahkan maka semakin kecil *swelling* yang terjadi. Jadi, prosentase penambahan kapur yang optimum untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif Bojonegoro adalah 8%.
3. Hubungan tegangan dan regangan menunjukkan bahwa pada penambahan prosentase kadar kapur 8% tanah tersebut menjadi tidak terlalu getas maupun tidak terlalu lembek.

SARAN

1. Perlu dilakukan variasi waktu dalam pengujian *swelling* untuk mendapatkan waktu yang diperlukan agar tanah benar-benar dalam keadaan jenuh air setelah di stabilisasi dengan kapur.
2. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan supaya data yang didapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Altmeyer, W.T., 1955, "Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays", Civil Eng. 81, New York.
- Ariyani, Ninik. 2009. *Pengaruh Penambahan Kapur Pada Tanah Lempung Ekspansif Dari Dusun Bodrorejo Klaten*. Yogyakarta: Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM
- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amterdam: Esvier Scientific
- Coduto, Donald P. 1994. *Foundation Design Principles and Practice*. USA.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1999. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Umum.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Pd T-10-2005-B. *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Departemen PU.
- Rollings, M.P. & Rollings JR, R.S., 1996. *Geotechnical Material in Construction*. Washington DC: McGraw-Hill New York.
- Santoso, Budi dkk. 1998. *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma.
- SNI S-01-1994-03. 1996. *Spesifikasi Kapur Untuk Stabilisasi Tanah*. Departemen PU.
- Sukirman, Silvia. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova
- Sutikno, Budi Damianto. 2009. *Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Penambahan Kapur (Lime) : Aplikasi pada Pekerjaan Timbunan*. Jurnal Volume 2 Nomor 11. Depok: Politeknik Negeri.
- Tobing, Benny Christian L. 2014. *Pengaruh Lama Waktu Curing terhadap Nilai CBR Fly Ash*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Warsiti. 2009. *Meningkatkan CBR dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah dan Kapur*. Jurnal Volume 14 Nomor 1. Semarang: Politeknik Negeri.
- Wesley. 1977. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.