

**PENGARUH RATIO *SLURRY* AIR-KAPUR PADA STABILISASI
TANAH LEMPUNG EKSPANSIF UNTUK METODE DSM**

**PUBLIKASI ILMIAH
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Lina Rahman Ubaidillah
NIM. 125060100111037**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

PENGARUH RATIO SLURRY AIR-KAPUR PADA STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF UNTUK METODE DSM

Lina Rahman Ubaidillah¹⁾, Yulvi Zaika²⁾, Harimurti¹⁾

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

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif adalah tanah kohesif tinggi dan memiliki masalah terhadap daya dukung tanah, karena mempunyai sensitifitas tinggi jika terjadi perubahan kadar air. Sifat yang dimiliki oleh tanah lempung ekspansif tidak baik dalam perencanaan pembangunan diatas tanah tersebut. Pengaruh perubahan kadar air serta potensi kembang susut yang besar mempengaruhi volume tanah kemudian kondisi plastisitas tanah yang tinggi dapat membahayakan jika suatu struktur dibangun diatas tanah lempung ekspansif

Perbaikan tanah dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi. Salah satu metode perbaikan tanah adalah stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan bahan aditif, salah satunya kapur. Slurry air-kapur berpengaruh terhadap perubahan kuat tekan dan pengembangan tanah yang telah diperbaiki untuk menjadi acuan dalam uji menggunakan metode Deep Soil Mix (DSM)

Hasil pengujian kuat tekan bebas benda uji tanah asli kuat tekan 0,504 kg/cm². Pengujian tanah dengan perbaikan 8% kapur kuat tekan sebesar 3,027 kg/cm² pada kadar slurry (air-kapur) 10%. Semakin besar kadar slurry (air-kapur) kuat tekan akan bertambah namun terjadi penurunan ketika kadar slurry (air-kapur) berlebihan, dapat membuat tanah tersebut lembek sehingga menurunkan kuat tekan tanah. Hasil uji kuat geser didapatkan Cu maksimum pada tanah slurry (air-kapur) pada perbaikan dengan 8% kapur serta penambahan 10% slurry (air-kapur) sebesar 1,604 kg/cm².

Pada pengembangan diuji dengan kadar slurry (air-kapur) pengembangan yang semakin rendah berbanding lurus dengan slurry (air-kapur) yang bertambah. Hal ini karena kondisi tanah yang sudah mengalami penjujukan mengakibatkan pengembangan semakin turun, tetapi masih pada batas yang diizinkan oleh Bina Marga. Pengujian kuat tekan bebas setelah pengembangan didapatkan kuat tekan yang sama dengan pengujian sebelum pengembangan. Pada perbaikan 8% kapur dengan slurry (air-kapur) 10% q_u dan Cu tanah mencapai pada hasil maksimum pada daya dukung tanah.

Kata Kunci : Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Kapur, Unconfined, Swelling, tegangan dan regangan

ABSTRACT

Expansive clay is high cohesive soil and have a problem to bearing capacity, because it has high sensitivity if there is water content changed. Properties of expansive clay can changes water content and give effect to the potential volume of soil in which the conditions high soil plasticity can be dangerous for structure was built

Ground improvement can increase the effectiveness and efficiency. One method of soil improvement is expansive clay stabilization by using an additive, of lime. The slurry water-lime affect can change the strength and swell potential a reference in the Deep Soil Mix (DSM)

The results unconfined test undisturbed expansive clay soil compressive strength is 0.504 kg/cm². Soil with improved 8% limes, compressive strength of 3.027 kg/cm² with slurry (water-lime) 10%. The amount of slurry (water-lime) compressive strength will increase, but decreased when amount of slurry (water-lime) too much, it can make the compressive strength lower. Shear strength test results obtained maximum Cu in soil slurry (water-lime) at 8% improvement with lime and additional 10% slurry (lime-water) is 1,604 kg/cm².

Swelling potential with amount of slurry (water-lime) swell potential increasingly lower, proportional when the slurry (water-lime) increased. This is because the soil conditions are already experiencing saturation which is made the swell potential getting down, but still the limit authorized by Bina Marga. The unconfined test after swell potential increase a compressive strength. On the improvement of 8% lime slurry (water-lime) 10% Cu and q_u reached maximum bearing capacity.

Keywords : Expansive Clay Soil, Soil Stabilization, Lime, Unconfined, Swelling, Stress and Strain, Deep Soil Mix

I. PENDAHULUAN

Tanah adalah bagian terpenting yang berperan dalam suatu bangunan. Kokoh atau tidaknya suatu struktur yang berupa jalan raya maupun gedung sangatlah bergantung pada daya dukung tanah tersebut. Untuk itu, sebelum mendirikan suatu struktur di atasnya, maka hal pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui karakter tanah tempat dimana bangunan akan didirikan. Salah satu jenis karakter tanah yang mempunyai permasalahan yaitu tanah yang memiliki sensitifitas terhadap perubahan kadar air, yang mempengaruhi volume dan potensi kembang susut yang besar atau bisa disebut juga tanah lempung ekspansif.

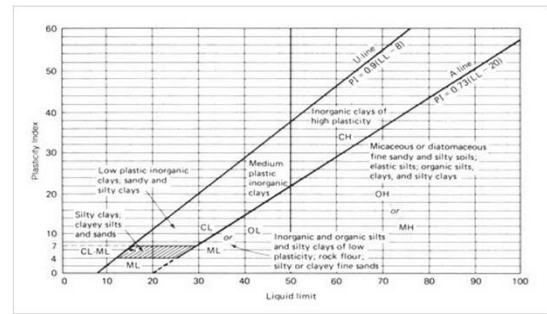
Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu diadakannya perbaikan salah satunya dengan menggunakan metode *Deep Soil Mix* (DSM). Perbaikan menggunakan 8% kapur dari berat kering. Pada penelitian secara khusus fokus pada kadar *slurry* (air-kapur). Peran kapur sebagai stabilisator pada tanah lempung ekspansif sehingga perlu dicari pengaruh rasio kadar *slurry* (air-kapur) terhadap kekuatan dan sifat kembang susut tanah lempung ekspansif. Selain itu juga untuk mengetahui kadar *slurry* (air-kapur) yang tepat untuk meningkatkan kekuatan tanah dan menurunkan sifat kembang susut tanah tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

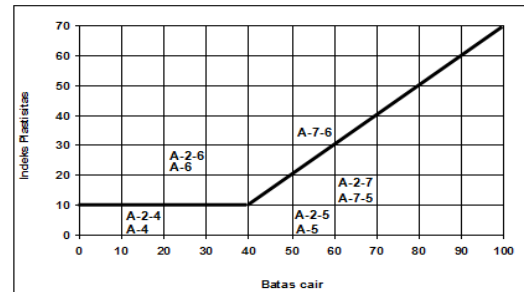
Tanah lempung atau *clay* merupakan jenis tanah berkohefif tinggi. Menurut mineral pembentuk tanah lempung dibagi menjadi dua yaitu tanah lempung ekspansif dan non-ekspansif.

a. Klasifikasi Tanah

Metode klasifikasi tanah yang umum digunakan sesuai dengan standar internasional ada dua, yaitu USCS dan AASHTO



Gambar 1. Plastisitas untuk Klasifikasi USCS



Gambar 2. Plastisitas untuk Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi tanah lempung menurut indeks plastisitas, berpengaruh terhadap tingkat pengembangan menurut para ahli ditampilkan pada tabel 1, tabel 2.

Tabel 1. Korelasi indeks plastisitas, indeks susut dengan tingkat pengembangan

PI (%)	SI (%)	Tingkat Pengembangan
< 15	< 15	Rendah
10–35	13 - 15	Sedang
20–55	30 - 40	Tinggi
>35	> 40	Sangat Tinggi

Tabel 2. Korelasi tingkat keaktifan dengan potensi pengembangan

Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
<0,75	Tidak Aktif
0,75 – 1,25	Normal
> 1,25	Aktif

Skempton (1953), parameter yang disebut aktifitas seperti pada rumus berikut

$$A_c = \frac{PI}{CF - 10} \quad (1)$$

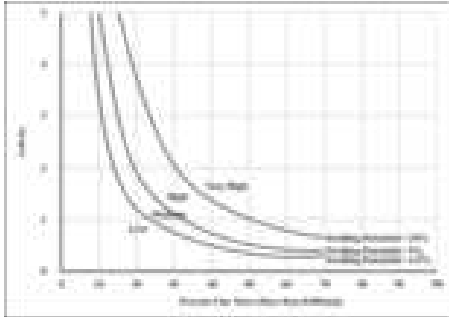
Dimana,

A_c = adalah tingkat keaktifan

PI = adalah indeks plastisitas (%)

CF = adalah persentase fraksi lempung berdiameter kurang dari 0,002 mm (%)

10 = adalah konstanta



Gambar 3. Klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

Pada penelitian ini, perbaikan tanah menggunakan stabilisasi zat *additive* yaitu *lime*. Kandungan *lime* atau kapur seperti pada tabel berikut

Tabel 3. Ukuran butiran maksimum kelas A,B,C

NO	BAHAN	KELAS		
		A	B	C
1	Butiran kapur yang tertahan di atas saringan Nomor 30 (0,60 mm)	2%	3%	4%
2	Butiran kapur yang tertahan di atas saringan Nomor 200 (0,075 mm)	12%	14%	18%

b. Atterberg Limit

Batas plastis (*plastic limit*) merupakan kadar air pada batas bawah daerah plastis yang biasa disebut kadar air minimum dimana tanah diberi perlakuan dari bentuk bola-bola kemudian digulung sampai diameter 3 mm hingga tanah tersebut retak atau pecah.

Batas cair (*liquid limit*) merupakan kadar air tanah batas antara keadaan cari dan keadaan plastis. Menentukannya melalui alat *Cassagrande*. Percobaan

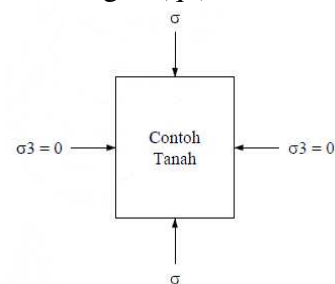
dilakukan pada beberapa contoh sampel tanah dengan kadar air yang berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk setiap sampel. Dihasilkan grafik kadar air terhadap banyaknya jumlah pukulan sehingga kadar air pada pukulan tertentu dapat terbaca.

Batas susut (*shrinkage limit*) merupakan batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering atau tidak terdapat kadar air namun tidak menyebabkan penyusutan volume tanah.

Selisih batas cair dengan batas plastis disebut dengan indeks plastisitas. Indeks plastisitas mempunyai pengaruh dalam penentuan jenis tanah, jika memiliki PI yang tinggi maka kemungkinan tanah memiliki banyak kandungan butiran lempung. Sebaliknya jika rendah maka termasuk jenis tanah lanau yang mengakibatkan tanah kering.

c. Kuat Tekan Bebas

Uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah dimana besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda dilakukan pengujian mengalami keruntuhan atau biasa disebut dengan (q_u)



Gambar 4. Pengujian kuat tekan bebas

Pada lempung jenuh, tekanan air pori benda uji pada awal pengujian negatif. Pada saat keruntuhan $\sigma_3=0$, maka

$$\sigma_1 = \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \quad (2)$$

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2} \quad (3)$$

S_u dan C_u adalah kuat geser *undrained* dari tanah tersebut.

Perbandingan antara kekuatan tanah asli (*undisturbed*) dengan setelah tekan (*remolded*) menentukan sensivity tanah

tersebut. Seperti dalam rumus sebagai berikut:

$$\text{Sensitivity (ST)} = \frac{qu(\text{undistrubed})}{qu(\text{remolded})} \quad (4)$$

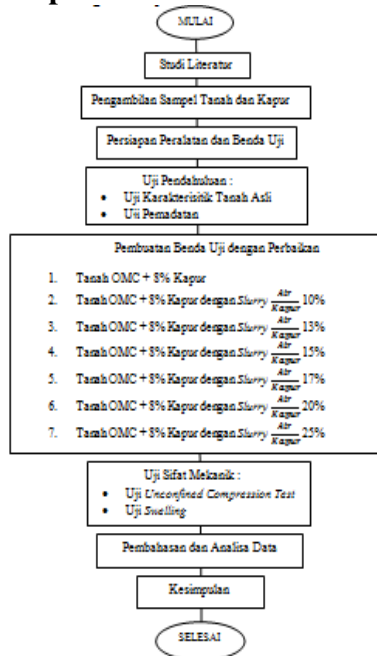
d. Kembang Susut (Swelling)

Tanah lempung ekspansif mengalami perubahan volume yang ekstrim ketika terjadi perubahan kadar air. Bertambahnya volume tanah secara perlahan akibat tekanan air pori berlebih negatif disebut juga swelling.

Menentukan nilai swell melalui pengujian ini dikarenakan akibat adanya beban vertikal. Air yang masuk ke pori-pori tanah dapat menyebabkan perubahan pada isi pori tanah sehingga tekanan vertikal bekerja pada tanah tersebut.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian



Gambar 1. Bagan alir penelitian

3.2 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan berat jenis
2. Pemeriksaan grain size
3. Pemeriksaan *index properties*
4. Pengujian pemadatan

Pengujian berat jenis, grain size dan *index properties* adalah untuk mengklasifikasikan jenis tanah yang berjenis lempung ekspansif

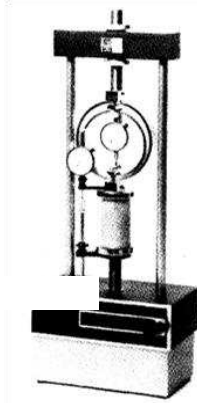
Tujuan dari pengujian pemadatan adalah untuk mendapatkan nilai kadar optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (γ_d) yang akan digunakan pada pembuatan sampel benda yang akan diuji

3.3 Persiapan Benda Uji

Pada penelitian kali ini digunakan sampel yang dibentuk didalam mold yang sebelumnya sudah di lakukan pencampuran dengan menggunakan kapur sebesar 8% dari berat kering tanah yang kemudia dicampurkan dengan kapur yang sudah diberi *slurry*. Kemudian tanah tersebut dieramkan selama 3 hari didalam mold agar homogen dan reaksi *pozzolanic* berlangsung secara maksimal. Tanah yang sudah mengalami perbaikan di eramkan di lakukan uji kuat tekan bebas untuk menemukan kuat tekan tanah yang sudah diperbaiki. Kemudian pembuatan sampel benda uji dengan tanah yang juga diberi perlakuan sama dengan sebelumnya untuk mencari pengembangannya

3.4 Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined*)

Pengujian kuat tekan bebas adalah uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial telah mencapai 15%



Gambar 2. Alat Uji Kuat Bebas

Langkah-langkah pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

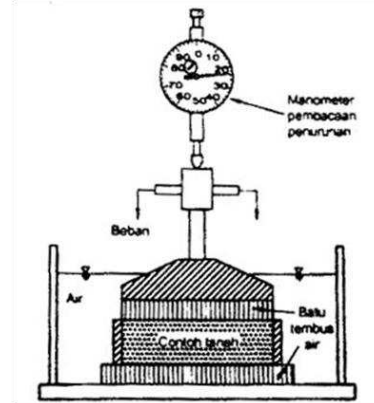
1. Menyiapkan model benda uji.
2. Meletakkan sampel tanah pada alat *unconfined*
3. Melakukan uji kuat tekan dengan beban satu arah
4. Pembebanan dilakukan bertahap dengan interval pembacaan setiap penurunan arloji.
5. Mencatat tegangan dan regangan yang terjadi (Tabel 1).

Pembacaan Arloji (pencuraman mm)	Pembacaan Arloji (tegangan mm)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terbaharisi $A^2 = A_0 / (1 - \epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)

Tabel 1. Pembacaan Uji Kuat Tekan

3.5 Uji Pengembangan (Swelling)

Uji kuat tekan bebas adalah uji yang dilakukan menggunakan silinder berbahan logam, dimana bertambahnya volume tanah secara perlahan akibat tekanan air berlebih negatif. Waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam tanah yang akan diamati. Sehingga memerlukan waktu beberapa hari



Gambar 3. Alat Uji Pengembangan

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan model benda uji.
2. Meletakkan sampel tanah pada mold kedalam bak perendaman
3. Mencatat pengembangan pada setiap waktu yang telah ditentukan

Mencatat tegangan dan regangan yang terjadi (Tabel 2).

Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Proses Pengembangan (%)
5	0	0,000
10	0	0,000
15	0	0,000

Tabel 2. Pembacaan Uji Pengembangan

3.5 Rancangan Penelitian

Pada proses uji kuat tekan bebas diawali dengan persiapan benda uji sampel tanah *undisturbed* atau tanah yang tidak terganggu untuk mengetahui kekuatan tanah asli pada tanah tersebut. Kemudian dilakukan pengujian sampai keruntuhan. Selanjutnya adalah pengujian tanah yang sudah diberi OMC tanpa perbaikan kapur untuk mengetahui perubahan kuat tekan ketika tanah tersebut diberi kapur dan *slurry*(air-kapur), benda uji berikutnya yaitu tanah perbaikan dengan masing-masing variasi rasio kadar *slurry*(air-kapur). Untuk pengujian kuat tekan bebas dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada saat sebelum tanah mengembang dan mengembang

No	Tanah + 8% Kapur	Sampel	Tegangan (%)	Regangan (kg/cm ²)
1	Slurry air kapur 10%	1		
		2		
		3		
2	Slurry air kapur 13%	1		
		2		
		3		
3	Slurry air kapur 15%	1		
		2		
		3		
4	Slurry air kapur 17%	1		
		2		
		3		
5	Slurry air kapur 20%	1		
		2		
		3		
6	Slurry air kapur 25%	1		
		2		
		3		

Tabel 3. Rancangan Penelitian Variasi Kadar *Slurry* pada Kuat Tekan Bebas Sebelum Pengembangan dan Setelah Pengembangan

No	Tanah + 8% Kapur	Sampel	Pengembangan (%)
1	Slurry air kapur 10%		
2	Slurry air kapur 13%		
3	Slurry air kapur 15%		
4	Slurry air kapur 17%		
5	Slurry air kapur 20%		
6	Slurry air kapur 25%		

Tabel 4. Rancangan Penelitian Variasi Kadar *Slurry* pada Uji Pengembangan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

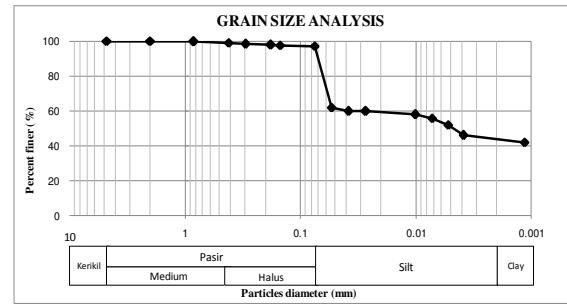
4.1 Hasil Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik tanah yang akan diuji. Pengujian ini seperti mencari berat jenis, *index properties*, serta uji grain size

a. Klasifikasi Tanah

Untuk klasifikasi jenis tanah yang akan diuji ada dua cara yaitu analisis saringan (*grain size*) dan analisis *hydrometer*. Analisis saringan bertujuan untuk mencari butiran kasar dan halus yang tertahan pada saringan no. 200 dan analisis *hydrometer* digunakan menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang lolos saringan no. 200 atau tertahan pada pan. Hasil analisis yang

dilakukan dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 1. Analisis saringan dan Hidrometer

b. Specific Gravity

Berat spesifik atau yang biasa disebut dengan *specific gravity* yaitu perbandingan berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu telah ditentukan. Berat jenis diketahui sebesar 2,685.

c. Atterberg Limit

Pengujian terdiri dari uji batas cair (*Liquid limit*), uji batas plastis (*Plastic limit*) dan uji batas susut (*Shrinkage limit*) atau yang biasa disebut bata *Atterberg*. Batas cair dan batas plastis digunakan untuk mengetahui indeks plastisitas tanah. Indeks plastisitas digunakan untuk menentukan jenis tanah yang akan dilakukan pengujian. Berikut adalah hasil dari pengujian batas-batas *atterberg*.

	PL (%)	SL (%)	PI (%)
LL (%)			
	81,5	35,59	6,77
			45,91

Tabel 1. Hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg*

Dari hasil tersebut tanah digolongkan berdasarkan klasifikasi tanah sistem *Unified* atau USCS.

Dari data yang didapatkan pada pengujian batas *Attreberg* diketahui nilai batas cair (*liquid limit*) 81,5% batas plastis (*plastic limit*) 35,59%, batas susut (*Shrinkage limit*) 6,77%, sehingga dapat di tentukan Indeks Plastisitas tanah lempung ekspansif sebesar 45,91%. Berdasarkan klasifikasi tanah USCS dan *specific gravity* (Gs), tanah golongan

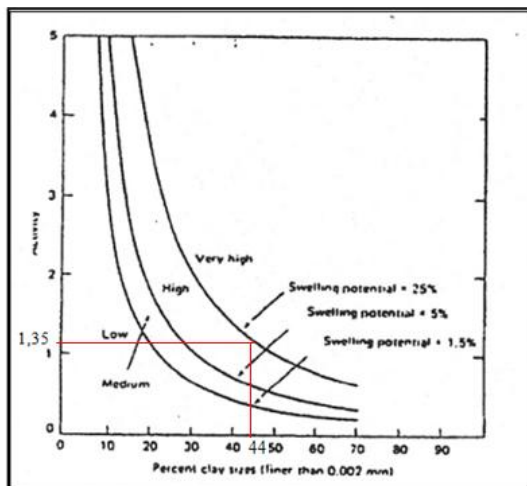
tanah bersimbol CH yaitu tanah lempung anorganik berplastisitas tinggi

d. Kriteria Lempung Ekspansif

Dari hasil pengujian batas *Atterberg* parameter tanah lempung ekspansif diantaranya adalah berdasarkan presentase indeks plastisitas pada tabel berikut

Metode Klasifikasi			
1	Chen, 1967	Hubungan PI dengan Tingkat Pengembangan	Tingkat Pengembangan
		PI (%)	Tingkat Pengembangan
		0 - 15	Rendah
		10 - 35	Sedang
		20 - 55	Tinggi
		> 35	Sangat Tinggi
	Nilai sampel uji :	45.91%	
	Kesimpulan :	Potensi mengembang sangat tinggi	
2	Activity Method (A)		
	Skempton 1953	A = PI/(C - 10)	Tidak Aktif
		A < 0.75	Tidak Aktif
		0.75 < A < 1.25	Norma I
		A > 1.25	Aktif
	Nilai sampel uji :	PI = 45.91%	
	Kesimpulan :	C = 44%	
		A = 1.35, tanah tersebut termasuk aktif.	

Tabel 2. Identifikasi tanah lempung ekspansif



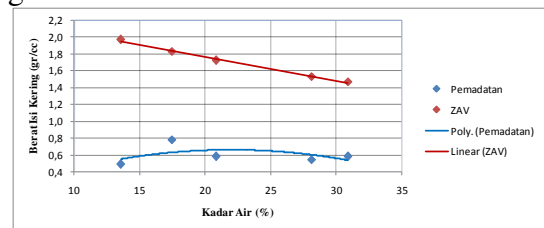
Gambar 2. Klasifikasi Potensi Mengembang

e. Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan standar digunakan untuk mengetahui (OMC) atau nilai kadar air optimum pada tanah yang mempunyai berat isi kering maksimum (γ_d maks) menggunakan metode **ASTM D-698** Metode B. Pengujian pemadatan menggunakan spesifikasi alat sebagai berikut

- Diameter cetakan (*mold*) 152 mm (6")
- Bahan lolos saringan no.4 (4,75 mm)
- Berat alat pemukul (*proctor*) 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,48 cm (12")

Grafik hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli dapat dilihat pada gambar berikut ini:

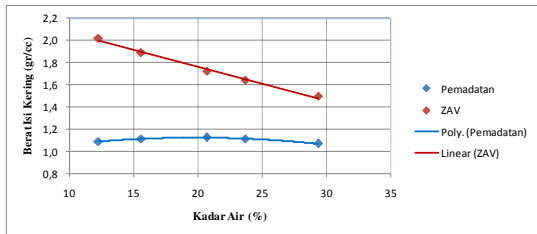


Gambar 3. Hasil pemadatan tanah asli

Dari hasil uji pemadatan standar didapatkan nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 21,9% dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 0,819 gr/cm³. Data tersebut akan digunakan untuk pembuatan benda uji dalam *box*.

f. Pemadatan Tanah Stabilisasi 8% Kapur

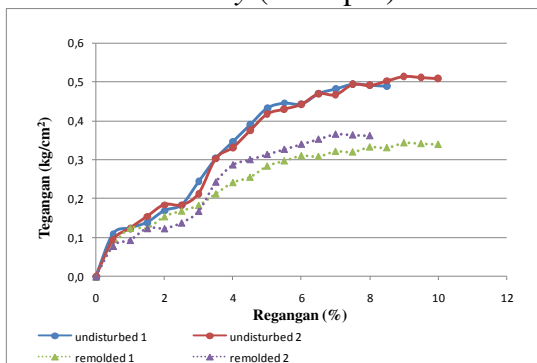
Hasil pemadatan tanah distabilisasi dengan 8% kapur yang didapatkan dari penelitian sebelumnya. Dari penelitian tanah dengan perbaikan 8% kapur didapatkan berat isi kering maksimum tanah d (γ_d maks) sebesar 1,125 gr/cm³ dengan kadar air optimum (OMC) adalah 20%.



Gambar 4. Grafik hasil pemadatan tanah stabilisasi 8% kapur

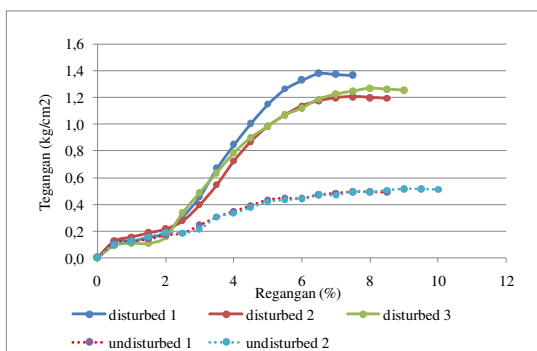
g. Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Sebelum Pengembangan

Benda yang diuji adalah tanah asli *undisturbed*, tanah *remolded*, tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan OMC tanpa perbaikan, serta pemberian variasi kadar *slurry* (air-kapur)



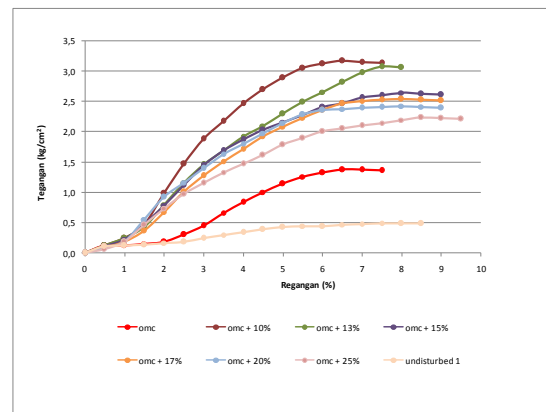
Gambar 4. Hubungan perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded*

Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar $0,504 \text{ kg/cm}^2$ sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar $0,354 \text{ kg/cm}^2$, hal ini sesuai bahwa tegangan saat runtuh (q_u) untuk tanah *undisturbed* lebih besar daripada *remolded*. Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan sensivity sebesar 1,424 dimana termasuk tanah normal.



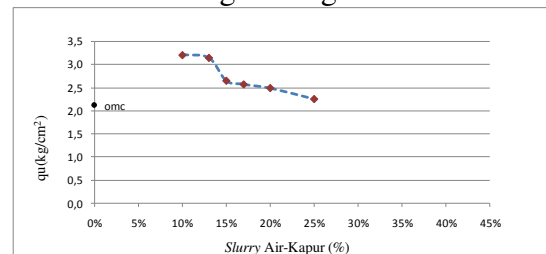
Gambar 4. Hubungan perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan menggunakan kadar air optimum (OMC) dan kapur 8%

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu sebesar $1,285 \text{ kg/cm}^2$ lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki q_u rata-rata sebesar $0,504 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 5. Hubungan perbandingan tegangan-regangan tanah (*undisturbed, remolded* tanpa perbaikan, *remolded* dengan perbaikan yang diberi variasi)

Benda uji yang diperbaiki dengan kapur 8% serta di variasikan *slurry* air-kapur sangat berpengaruh pada tegangan maksimum pada tanah tersebut. *slurry* air-kapur yang tepat, akan membuat tegangan tersebut menjadi lebih tinggi daripada tanpa diberi *slurry* air-kapur. Namun bila kadar *slurry* air-kapur yang diberi tinggi, maka bisa menurunkan tegangan tanah tersebut, tanah akan lembek dan mengembang.



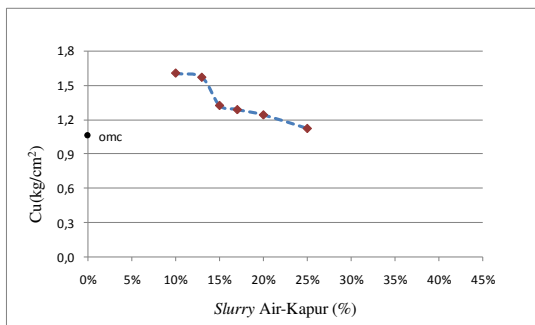
Gambar 6. Pengaruh variasi *slurry* air-kapur terhadap q_u

Pengaruh *slurry* air-kapur terhadap nilai q_u ditunjukkan pada gambar 6, untuk tanah dengan perbaikan tanpa tambahan *slurry* dihasilkan q_u dengan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu $2,117 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan untuk tanah perbaikan dengan tambahan *slurry*

air-kapur yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) memiliki nilai q_u terbesar $3,207 \text{ kg/cm}^2$ dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai q_u akibat pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 51 % dari tanah perbaikan tanpa tambahan *slurry* seperti pada tabel

No.	Tanah Asli OMC+8%Kapur	Kuat Tekan (q_u) tanpa <i>Slurry</i> (kg/cm^2)	Kuat Tekan (q_u) (kg/cm^2)	Peningkatan (%)
1	<i>Slurry</i> 10%	2,117	3,207	51
2	<i>Slurry</i> 13%		3,140	48
3	<i>Slurry</i> 15%		2,647	25
4	<i>Slurry</i> 17%		2,577	22
5	<i>Slurry</i> 20%		2,481	17
6	<i>Slurry</i> 25%		2,246	6
7	Tanpa <i>Slurry</i>		2,117	0

Tabel 3. Peningkatan nilai q_u dari tanah asli akibat perubahan *slurry* air-kapur untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan



Gambar 7. Pengaruh variasi *slurry* air-kapur terhadap Cu

Pada gambar 7 terlihat bahwa nilai q_u pada tanah perbaikan tanpa penambahan *slurry* air-kapur memiliki nilai paling kecil yaitu $1,059 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan dengan menggunakan penambahan *slurry* air-kapur memiliki q_u sebesar $1,604 \text{ kg/cm}^2$ dan mengalami peningkatan hingga 51% dari tanah perbaikan yang tanpa penambahan *slurry*

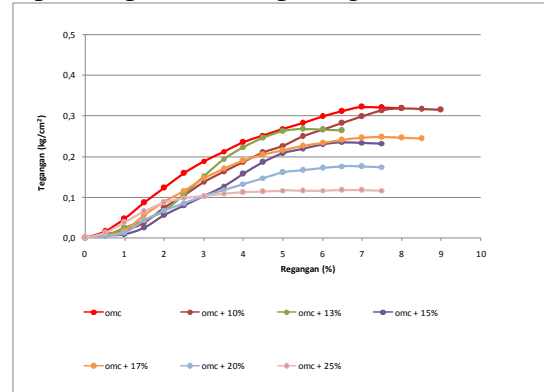
No.	Tanah Asli OMC+8%Kapur	Cu tanah tanpa <i>Slurry</i> (kg/cm^2)	Cu (kg/cm^2)	Peningkatan (%)
1	<i>Slurry</i> 10%	1,059	1,604	51
2	<i>Slurry</i> 13%		1,570	48
3	<i>Slurry</i> 15%		1,324	25
4	<i>Slurry</i> 17%		1,288	22
5	<i>Slurry</i> 20%		1,240	17
6	<i>Slurry</i> 25%		1,123	6
7	Tanpa <i>Slurry</i>		1,059	0

Tabel 4. Peningkatan nilai Cu dari tanah asli akibat perubahan *slurry* air-kapur untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan

h. Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Setelah Pengembangan

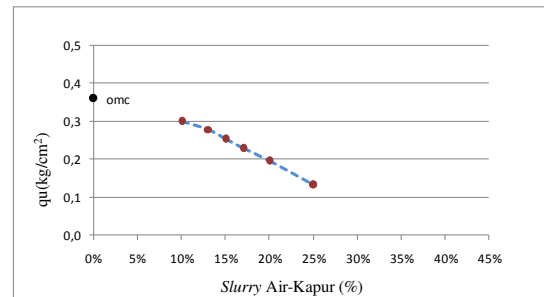
Benda yang diuji dalam pemeriksaan *unconfined* adalah tanah asli (*undisturbed*), tanah *remolded*, tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa

perbaikan, serta pemberian variasi *slurry* air-kapur untuk tanah perbaikan seluruhnya. Namun, benda uji dilakukan pengujian setelah sebelumnya dilakukan *swelling* atau uji pengembangan. Untuk mengetahui tegangan-regangan pada tanah setelah mengalami pengembangan. Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* setelah pengembangan adalah seperti diperlihatkan pada gambar berikut



Gambar 7. Hubungan perbandingan tegangan-regangan setelah pengembangan (*remolded*) dengan perbaikan yang diberi kadar *slurry* air-kapur

Tegangan tanah pada *slurry* air-kapur yang divariasikan semakin lama semakin kecil setelah mengalami pengembangan. Tanah yang terlalu banyak *slurry* air-kapur menyebabkan sifat tanah yang sebelumnya getas, dan kaku menjadikannya lebih lembek sehingga mempengaruhi tegangan pada tanah



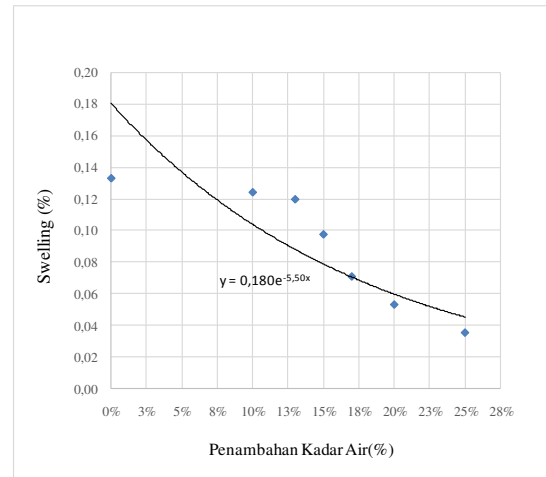
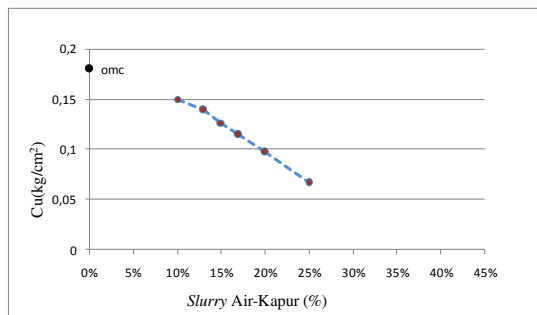
Gambar 7. Pengaruh variasi *slurry* air-kapur terhadap q_u setelah pengembangan

q_u perbaikan tanpa *slurry* air-kapur tambahan, dihasilkan q_u dengan nilai tertinggi diantara semua benda uji yaitu $0,36 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan untuk tanah perbaikan dengan menggunakan tambahan *slurry* air-kapur memiliki nilai

qu sebesar 0,3 kg/cm² dengan nilai ini didapatkan penurunan nilai qu akibat pengembangan sebesar 17% dari tanah perbaikan tanpa penambahan *slurry* air-kapur seperti pada tabel

No.	Tanah Asli OMC+8%Kapur	Kuat Tekan (qu) tanpa <i>Slurry</i> (kg/cm ²)	Kuat Tekan (qu) (kg/cm ²)	Penurunan (%)
1	<i>Slurry</i> 10%	0,360	0,300	-17
2	<i>Slurry</i> 13%		0,279	-23
3	<i>Slurry</i> 15%		0,253	-30
4	<i>Slurry</i> 17%		0,229	-37
5	<i>Slurry</i> 20%		0,195	-46
6	<i>Slurry</i> 25%		0,133	-63
7	Tanpa <i>Slurry</i>		0,360	0

Tabel 5. Peningkatan nilai qu dari tanah asli akibat perubahan *slurry* air-kapur untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan setelah pengembangan



Gambar 8. Pengaruh variasi *slurry* air-kapur terhadap Cu setelah pengembangan

Gambar 9. Pengaruh variasi *slurry* air-kapur terhadap *swelling*

Nilai Cu pada tanah perbaikan dengan penambahan *slurry* air-kapur 25% memiliki nilai paling kecil yaitu 0,066 kg/cm², untuk tanah perbaikan tanpa *slurry* air-kapur memiliki nilai Cu sebesar 0,18 kg/cm², tanah perbaikan dengan *slurry* air-kapur bisa menurunkan tingkat tegangan 17% dikarenakan telah terjadi pengembangan sebelumnya seperti pada tabel berikut:

No.	Tanah Asli OMC+8%Kapur	Cu tanpa <i>Slurry</i> (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Penurunan (%)
1	<i>Slurry</i> 10%	0,180	0,150	-17
2	<i>Slurry</i> 13%		0,140	-23
3	<i>Slurry</i> 15%		0,127	-30
4	<i>Slurry</i> 17%		0,114	-37
5	<i>Slurry</i> 20%		0,097	-46
6	<i>Slurry</i> 25%		0,066	-63
7	Tanpa <i>Slurry</i>		0,180	0

Tabel 6. Peningkatan nilai Cu dari tanah asli akibat perubahan *slurry* air-kapur untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan setelah pengembangan

Pada hasil uji pengembangan didapatkan bahwa semakin besar *slurry* air-kapur yang diberikan pada benda uji, maka pengembangannya akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pada tanah tersebut sudah dalam keadaan jenuh pada penambahan *slurry* air-kapur sehingga pada saat pengujian kemampuan tanah mengembang sudah maksimal. Pengembangan terbesar yaitu pada tanah tanpa penambahan *slurry* air-kapur sebesar 1,33%. Hasil dari pengembangan kurang 0,2% sesuai dengan standar yang diijinkan *flexible pavement* sebesar kurang dari 0,8%, seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini:

Sampel	Pengembangan (%)	Pengembangan (%)	Penurunan (%)
OMC+8%kapur	Tanpa <i>Slurry</i>	0,133	0
	<i>Slurry</i> air-kapur 10%	0,124	-6,667
	<i>Slurry</i> air-kapur 13%	0,119	-10,000
	<i>Slurry</i> air-kapur 15%	0,097	-26,667
	<i>Slurry</i> air-kapur 17%	0,071	-46,667
	<i>Slurry</i> air-kapur 20%	0,053	-60,000
	<i>Slurry</i> air-kapur 25%	0,035	-73,333

Tabel 7. Hasil uji pengembangan untuk sampel dengan variasi kadar *slurry* air-kapur

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Tanah yang distabilisasi dengan penambahan 8% kapur serta variasi kadar *slurry* air-kapur berpengaruh terhadap sifat pada tanah tersebut. Kadar *slurry* air-kapur mampu meningkatkan nilai qu, tegangan dan Cu. Hasil variasi kadar *slurry* air-kapur kekuatan maksimal yang bisa diperoleh pada penambahan sebesar 10%.

2. Kadar *slurry* air-kapur berpengaruh terhadap pengembangan (*swelling*), semakin besar kadar *slurry* air-kapur yang diberikan semakin kecil pengembangan (*swelling*) tersebut namun tetap dibawah pengembangan yang diizinkan kurang dari 0,8%

5.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan bahan limbah yang lebih bervariasi untuk mengurangi pencemaran dan masalah lingkungan
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung ekspansif
3. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal
4. Perlu adanya peralatan praktikum yang lebih memadai agar hasil dari penelitian lebih baik dan akurat

DAFTAR PUSTAKA

- Bruce, Marry Ellen C. 2013. "Deep Mixing for Embankment and Foundation Support" dalam *Federal Highway Administration Design Manual*. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1999. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Umum.
- Santosa, Budi et al. 1998 *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amterdam: Esevier Scientific
- SK SNI S-01-1994-03. 1996. *Spesifikasi Kapur Untuk Stabilisasi Tanah*. Departemen PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1994. *Peraturan SK SNI S-01-1994-03*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005 *Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
- Sutikno, Budi Damianto. 2009. *Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Penambahan Kapur (Lime) : Aplikasi pada Pekerjaan Timbunan*. *Jurnal Volume 2 Nomor 11*. Depok: Politeknik Negeri.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Munawir, As'ad 2014. *Buku Ajar Perbaikan Tanah*. Hand Out: Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Ariyani, Ninik. 2009. *Pengaruh Penambahan Kapur Pada Tanah Lempung Ekspansif Dari Dusun Bodrorejo Klaten*. Yogyakarta: Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM
- Warsiti. 2009. *Meningkatkan CBR dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah dan Kapur*. *Jurnal Volume 14 Nomor 1*. Semarang: Politeknik Negeri.
- Hardiyati, S. 2003. *Studi Potensi Mengembang Kekuatan Tanah Lempung Ekspansif Dengan dan Tanpa Kapur Akibat Siklus Berulang Basah-Kering*. *Tesis*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Maulidya, Adelina. 2016. *Pengaruh Kadar Air dan Presentase Stabilisasi Dengan 10% Kapur Terhadap Kekuatan Tanah Ekspansif*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Madhayannapu, R.S. dan Puppala, A. J. 2014. *Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils*. *Journals of Geotechnical and*

Geoenvironmental Engineering. 140.
American Society of Civil Engineers
Seed, H. B., Wood Ward, R. J. Dan
Lundgren, R. 1962. Prediction of
Swelling Potential for Compacted
Clay. *Journal of The Soil Mechanics
and Foundations Divisions*. 88
(SM4):107-131. American Society
of Civil Engineers
Filz, Hodges, Weatherby, Marr (2005).
*Standardized Definitions and Laboratory
Procedures for Soil-Cement Specimens
Applicable to the Wet Method of Deep
Mixing*