

**PENGARUH KADAR AIR DAN PERSENTASE STABILISASI
DENGAN 10% KAPUR TERHADAP KEKUATAN TANAH
EKSPANSIF**

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



**ADELINA MAULIDYA FIRDAUS
125060100111065**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

**PENGARUH KADAR AIR DAN PERSENTASE STABILISASI DENGAN 10%
KAPUR TERHADAP KEKUATAN TANAH EKSPANSIF**

(The Effect of Water Content and Percent Stabilization Using 10% Lime Against Expansive Soil Strength)

Adelina Maulidya Firdaus, Yulvi Zaika, Eko Andi Suryo
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: adelinamaulidya@yahoo.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada infrastruktur seperti jalan raya, jalan rel, tanggul, lapangan terbang, dan infrastruktur lain, untuk itu tanah jenis ini harus di stabilisasi. Salah satu jenis tanah ini berada di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro. Pada penelitian ini akan dilakukan stabilisasi dengan menambah zat aditif berupa 10% kapur menggunakan metode deep soil mix untuk mengetahui penurunan, kuat geser, dan pengembangan. Penurunan untuk uji konsolidasi dibedakan menjadi tanah asli dan tanah asli dengan campuran kapur. Kadar air di sekitar deep soil mix dibedakan menjadi OMC \pm 6%, OMC \pm 3% dan OMC serta digunakan persentase perbaikan volume 50%, 60%, dan 76% dengan masing-masing perbaikan menggunakan pipa dsm berdiameter 25 mm, 30 mm, dan 38mm untuk uji kuat tekan bebas. Sedangkan jumlah dsm (2,4,6,8 lubang) akan digunakan pada uji pengembangan (swelling) pada masing-masing persentase perbaikan. Dari hasil penelitian uji konsolidasi tanah asli didapatkan bahwa penurunan pada tanah asli \geq 25 mm, sehingga dapat dilakukan perbaikan dengan metode deep soil mix. Hasil uji kuat tekan bebas didapatkan semakin besar kadar air dan rasio volume pada daerah sekitar deep soil mix nilai tegangan-regangan dan kohesi semakin kecil dibandingkan dengan kondisi tanah asli. Sedangkan pada hasil uji pengembangan didapatkan semakin besar rasio volume perbaikan deep soil mix maka nilai pengembangan semakin kecil.

Kata-kata kunci: Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Kapur, *Deep Soil Mix*, Konsolidasi, Kuat Tekan Bebas, *Swelling*.

ABSTRACT

Expansive clay can cause significant damage to infrastructure such as roads, railways, levees, airports, and other infrastructure, for those problem expansive soil must have a stabilization. One type of this soil is in the village of Ngasem, District Ngasem, Bojonegoro. This research will be conducted stabilization by adding additives of 10% lime using the method of deep soil mix to determine the settlement, shear strength, and swelling. Settlement in the consolidation test can be divided into the original soil and original soil with a mixture of lime. The water content around deep soil mix can be divided into $OMC \pm 6\%$, $OMC \pm 3\%$ and OMC also used persentase of volume stabilization of 50%, 60%, and 76% with each repair using a pipe with diameter 25 mm, 30 mm, and 38mm for unconfined compression test. While the number of dsm (2,4,6,8 holes) will be used in swelling test at each percentage expansion. From the results of the original land consolidation test research shows that the decline in the native land of ≥ 25 mm, so it can be repaired by the method of deep soil mix. Unconfined Compression Test test results obtained the more water content and the volume ratio of the area around the deep soil mix stress-strain values and cohesion are smaller than the original soil conditions. Whereas in the swelling test results obtained the greater volume ratio of stabilitation of deep soil mix then the value of expansion are smaller.

Key words: *Expansive Clays, Soil Stabilization, Lime, Deep Soil Mix, Consolidation, Unconfined Compression Test, Swelling*

Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada infrastruktur seperti jalan raya, jalan rel, tanggul, lapangan terbang, dan infrastruktur lain. Sebagian dari tanah lempung ekspansif ini mempunyai sifat yang kurang baik diantaranya, kuat geser yang rendah, plastisitas yang tinggi, kemampuan kembang dan susut yang tinggi, serta perubahan volume atau kemampatan yang tinggi.

Penelitian sebelumnya menyatakan stabilisasi atau perbaikan tanah dapat dilakukan melalui beberapa metode. Metode tersebut yakni, metode mekanis maupun kimia dengan tujuan meningkatkan daya dukung tanah. Untuk stabilisasi yang menggunakan metode mekanis diantaranya dengan melakukan pemadatan, *dewatering*, *DDC (Deep Dynamic Compaction)*, *Explosive Compaction*, dan lain sebagainya. Sedangkan untuk stabilisasi yang menggunakan metode kimia yakni dengan melakukan *soil nailing*, *soil cement*, *lime column*, dan penambahan tanah ekspansif dengan gypsum dimana bahan-bahan tersebut merupakan zat aditif industrial. Namun ada juga yang menambahkan bahan-bahan non industrial atau dapat disebut limbah suatu proses produksi misalnya, *coal bottom ash*, *coal fly ash*, *steel fly ash*, *rice husk fly ash* (abu sekam padi).

Pada penelitian ini akan digunakan campuran zat aditif kapur 10% dan kapur. Metode yang digunakan adalah *Deep Soil Mix* untuk mengetahui penurunan, kuat geser, dan pengembangan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran zat kimia kapur dengan kadar 10% terhadap daya mampat (konsolidasi) pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro.
2. Untuk mengetahui adanya pengaruh kadar air terhadap tegangan - regangan dan kohesi (c) pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro yang telah dicampur zat aditif kapur dengan kadar 10% metode *deep soil mix*.
3. Untuk mengetahui adanya pengaruh persentase volume perbaikan terhadap tegangan - regangan dan kohesi (c) pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro yang telah dicampur zat aditif kapur dengan kadar 10% metode *deep soil mix*.
4. Untuk mengetahui pengaruh persentase volume perbaikan terhadap kembang susut (*swelling*) pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro yang telah dicampur zat aditif kapur dengan kadar 10% metode *deep soil mix*.

Tinjauan Pustaka

Pengertian tanah lempung

Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung (dan mineral lempung) ialah yang mempunyai partikel-partikel

mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air” (Grim, 1953). Secara umum susunan mineral pada lempung terdiri dari 3 macam diantaranya *kaolinite*, *Illite*, dan *montmorillonite*.

Tabel 1 Aktifitas Tanah Lempung

Mineralogi taanah lempung	Nilai Aktifitas
Kaollinite	0,4 – 0,5
Illite	0,5 – 1,0
Montmorillonite	1,0 – 7,0

Sumber : Skempton (1953)

Hasil pengujian *index properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Hardiyatmo (2006) merujuk pada Skempton (1953) mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dengan persentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm. Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif. Nilai $A 1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal. Sedangkan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif.

Tabel 2 Klasifikasi potensi mengembang didasarkan pada Atterberg Limit

Batas susut (%)	Susut linear (%)	Derajat mengembang
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 – 8	Tidak kritis

Seed et al (2003) mengembangkan grafik hubungan nilai aktifitas dan persentase butir tanah lempung yang lolos saringan 0,002 mm yang diperoleh dari hasil pengamatan sejumlah tanah lempung remolded yang berbeda-beda, yaitu :

Bentonite, Illite, Kaolinit, dan pasir halus dimana contoh tanah-tanah tersebut dipadatkan 100% pada kadar air optimumnya dan menerima beban 1 psi. Rumus dalam bentuk analitis adalah sebagai berikut:

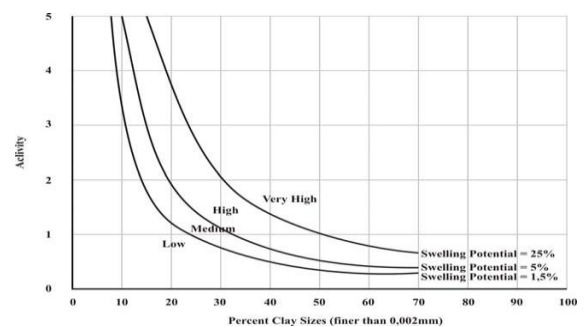
$$\text{Activity (A)} = \frac{PI}{C} \quad (1)$$

Dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung < 0,002 mm



Gambar 1 Grafik klasifikasi potensi mengembang

Metode Pencampuran Tanah

Pada umumnya metode pencampuran tanah yang dikenal dibagi menjadi dua yaitu metode pencampuran tanah dangkal (*shallow soil mixing*) dan metode pencampuran tanah dalam (*deep soil mixing*). Kedua metode tersebut merupakan kemajuan teknologi dibidang geoteknik yang digunakan untuk memperbaiki tanah dengan tujuan meningkatkan daya dukung atau kekuatan tanah dan mengurangi kompresibilitas.

Deep Soil Mixing (DSM) merupakan teknik modifikasi yang meningkatkan kualitas tanah dengan stabilisasi in-situ dari tanah lunak maupun fiksasi tanah yang sudah terkontaminasi (Porbaha,1998).

Uji Konsolidasi

Konsolidasi adalah penurunan tanah yang merupakan fungsi waktu akibat keluarnya air dari pori-pori tanah. Peristiwa konsolidasi terjadi apabila tanah akan mencari jalan keluar untuk keluar karena mendapat tekanan.

Uji konsolidasi di laboratorium biasanya dilakukan dengan alat konsolidometer. Beban vertikal yang digunakan bervariasi dan penurunan diukur dengan arloji (*dial gauge*). Beban diberikan dalam waktu 24 jam dengan keadaan beban uji tetap terendam di dalam air. Penambahan beban secara periodik dua kali beban (kilogram) sebelumnya dengan urutan : 0 ; 1,00 ; 2,00 ; 4,00 ; 8,00 ; 16,00 ; 32,00.

Menurut Madhyannapu (2014) kita dapat menggunakan metode perbaikan *deep soil mix* apabila memenuhi 2 syarat berikut :

1. Tanah lempung ekspansif di lapangan mempunyai ketinggian lebih besar sama dengan 1.5 m dari muka tanah.
2. ΔH atau besarnya penurunan total pada uji konsolidasi mempunyai nilai lebih besar sama dengan 25 mm atau 1 inch, dengan menggunakan rumus 2 sebagai berikut:

$$\Delta h = \frac{C_{s,comp} h}{1 + e_o} \sum_{i=1}^n \log \frac{p'_{f,i}}{p'_{s,comp}} \quad (2)$$

Uji Kuat Tekan Bebas

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya kekuatan tekan bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan (*remolded*).

Tabel 3 Hubungan konsistensi tanah dengan kekuatan tanah lempung pada *test unconfined compression* (UCT).

Konsistensi Tanah Lempung	Harga q_u		
	(Ton/ft ²)	(kN/m ²)	(kg/cm ²)
Sangat lunak	0-0,25	0-23,94 (≈24)	<0,27
Lunak	0,25-0,50	24-48	0,27-0,54
Menengah	0,50-1	48-96	0,54-1,08
Kaku	1-2	96-192	1,08-2,16
Sangat kaku	2-4	192-383	2,16-4,32
Keras	<4	>383	>4,32

Sensibility merupakan perbandingan antara kekuatan asli (*undisturbed*) dengan kekuatan setelah tekan (*remolded*). Semakin besar kekuatan yang hilang semakin tinggi sensitivity tanah tersebut. Sensivity (ST) dapat dihitung dengan rumus:

$$Sensitivity (ST) = \frac{q_u (undisturbed)}{q_u (remolded)} \quad (3)$$

Tabel 4 Hubungan golongan tanah dengan sensivity.

Golongan tanah	Sensivitas
Normal	< 4
Sensitif	4-8
Ekstra Sensitif	8-16
Quick	>16

Uji Swelling

Uji pengembangan pada umumnya dilakukan pada cincin besi yang berbentuk silinder (contoh tanah terkekang secara lateral). Awalnya tanah dibebani dengan tekanan terbagi rata, dan kemudian direndam air.

Menurut Madhyannapu (2014) toleransi dalam pengerjaan proyek jalan

raya misalkan (untuk struktur yang rigid ataupun fleksibel) batas rekomendasi penurunan yang diperbolehkan adalah sebesar 12 sampai 18 mm (0.5 sampai 0.7 inch). Hal ini dikarenakan nilai tersebut sudah memenuhi batas paling maksimum yang diberikan yakni sebesar 25 mm atau 1 inch.

$$a_r = \frac{a_{col}}{a_{soil} + a_{col}}$$

$$= \frac{\text{area of column}}{\text{area of square}} = \frac{\left(\frac{\pi d_{col}^2}{4}\right)}{s_{c/c} \times s_{c/c}} \quad (4)$$

$$s_{c/c} = \sqrt{\frac{\pi}{4 \times a_r}} d_{col}$$

Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Bahan yang digunakan adalah tanah lempung ekspansif dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur dan kapur dari toko bangunan di Kota Malang.

Pengujian yang akan dilakukan diantaranya :

1. Uji Konsolidasi : ASTM D 2435-70
2. Uji Unconfined Compression (*Unconfined Compression Test*) : ASTM D 2166-85
3. Uji Pengembangan (*Swelling Test*) : ASTM D 4546-86

Sampel benda uji yang digunakan untuk uji konsolidasi adalah tanah asli dan tanah asli dengan campuran kapur 10%. Sedangkan untuk uji kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) digunakan variasi kadar air (OMC±6%, OMC±3%

dan OMC) dan variasi persentase volume perbaikan yakni 50%, 60%, dan 76% (masing - masing menggunakan pipa berdiameter 25, 30, dan 76 mm). Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji *swelling* dengan jumlah lubang 2,4,6, dan 8 buah pada masing-masing persentase perbaikan. Kesemua uji diatas dilakukan dengan proses pemeraman selama 3 hari sebelum sampel diuji.

Hasil Uji dan Pembahasan

Pengujian tanah dasar

Didapatkan hasil dari beberapa uji yakni:

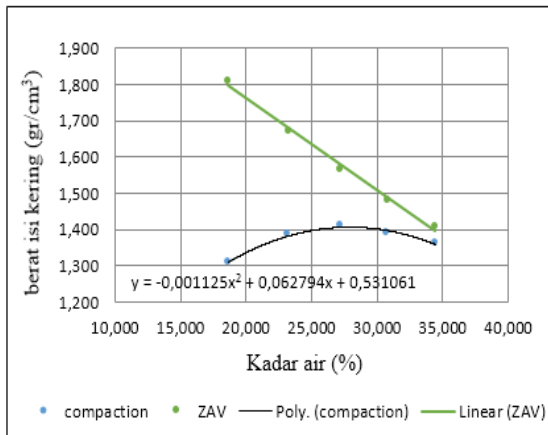
1. Berat jenis = 2,556
2. Batas cair (liquid limit) = 79,64%
3. Batas plastis (plactic limit) = 31,3%
4. Batas susut (shrinkage limit) = 5,1%
5. Indeks Plastisitas (PI) = 48,34%
6. Tanah lolos ayakan nomor 200 = 97,03%

Dengan hasil pengklasifikasian tanah menggunakan sistem unified dapat dinyatakan bahwa tanah dari Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro merupakan tanah lempung dengan plasisitas tinggi atau bersimbol CH.

Nilai aktifitas adalah 1,57 dan persentase dari lempung ukuran < 0,002 mm dari uji analisis saringan adalah 41,98%. Berdasarkan plot gambar 1 di atas berdasarkan klasifikasi mengembang, tanah termasuk potensi pengembangan yang sangat tinggi.

Pengujian Pemadatan Standar

Hasil pemadatan standar didapatkan dari penelitian sebelumnya yakni Rahmawati (2015) yang akan ditampilkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2 Hasil uji pemadatan tanah asli

Hasil dari pemadatan tanah asli didapatkan nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 27,9% dan nilai berat isi kering tanah maksimum (γ_d maks) sebesar 1,407 gr/cm³.

Selanjutnya akan digunakan data tersebut sebagai acuan untuk pembuatan sampel rencana penelitian untuk tanah asli. Sedangkan hasil dari pencampuran tanah asli dengan kapur sebesar 10% didapatkan nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 24,1% dan nilai berat isi kering tanah maksimum (γ_d maks) sebesar 1,41 gr/cm³.

Dikarenakan penelitian ini berhubungan dengan penelitian lain mengenai perbaikan tanah dengan metode *deep soil mix* maka, berikutnya digunakan kadar air optimum tetap yaitu 27,9% dan berat isi maksimum (γ_d maks) sebesar 1,28 gr/cm³ dengan dengan kepadatan relatif $R_c = 91\%$.

Pengujian daya mampat (Consolidation Test)

A. Hasil Konsolidasi Tanah Asli

Dalam pengujian kali ini beban tidak ditentukan urutan, beban di tambah (baik *loading* maupun *unloading*) disesuaikan dengan ketinggian sampel agar tetap pada ketinggian awal. Pada

percobaan konsolidasi tidak digunakan variasi apapun, baik itu variasi pipa perbaikan *deep soil mix* maupun kadar air.

Tabel 5 Hasil Pembacaan Konsolidasi tanah asli pada kondisi *loading & unloading*

Load (kg)	Pressure (kg/cm ²)	Time (min)
		1440
1	0,35	76
2	0,71	53,6
4	1,41	85,7
8	2,83	111
16	5,66	126,8
4	1,41	54,2
1	0,35	36,6

Hasil dari tabel 5 menunjukkan tinggi akhir pada masing-masing pembacaan baik *loading* maupun *unloading* di menit ke 1440 atau setelah 24 jam. Pada kondisi *loading* dial reading menunjukkan pembacaan sebesar 126,8 div dengan beban *loading* sebesar 16 kg. Setelah dikenai beban *unloading* sebesar 4 kg nilainya menurun menjadi 54,2 div dan yang terkecil adalah pada beban 1 kg sebesar 36,6 div.

Untuk menjaga ketinggian caranya adalah dengan menjumlah pengembangan yang terjadi pada saat *unloading* di beban 4 dan 1 kg. Hasil dari penjumlahan tersebut yakni 90,8 div, dengan kata lain harus dilakukan

kompresi dengan beban yang tidak ditentukan seperti urutan praktikum. Beban setelah unloading yang diberikan pada sampel tanah asli dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 6 Hasil Pembacaan Konsolidasi tanah asli pada kondisi setelah *unloading*

Load (kg)	Pressure (kg/cm ²)	Time (min) 1440
1	0,35	76
2	0,71	53,6
4	1,41	85,7
8	2,83	111

Selanjutnya untuk mengetahui tanah tersebut sudah berada pada ketinggian awalnya yakni hasil kumulatif sebelumnya yakni 90,8 div dikurangi dengan hasil kumulatif pada tabel 5 yakni 119,8 div adalah -29 div. Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa ketinggian semula sudah kembali pada saat pembebanan terakhir sebesar 16 kg. Sampel kembali ke tinggi awal ketika beban loading 16 kg mengalami kompresi antara menit ke 0.16 dan 0.36, yakni menit ke 0,5.

Sedangkan untuk perbedaan tinggi sampel awal dan akhir menurut rumus 2 diatas, menunjukkan nilai 224,132 mm yang menunjukkan bahwa hasil tersebut melebihi 25 mm. Sesuai dengan syarat menurut Madhyannapu (2014) maka, selanjutnya akan dilakukan perbaikan tanah ekspansif Kabupaten Bojonegoro dengan metode *deep soil mix*.

B. Hasil Konsolidasi Tanah Asli + 10% Kapur

Tabel 7 Hasil Pembacaan Konsolidasi tanah asli pada kondisi *loading & unloading*

Load (kg)	Pressure (kg/cm ²)	Time (min) 1440
1	0,35	28
2	0,71	12
4	1,41	13,3
8	2,83	17
16	5,66	26,3
4	1,41	5,5
1	0,35	8,1

Hasil dari tabel 4.2 menunjukkan tinggi akhir pada masing-masing pembacaan baik loading maupun unloading di menit ke 1440 atau setelah 24 jam. Pada kondisi *loading* dial reading menunjukkan pembacaan sebesar 26,3 div dengan beban loading sebesar 16 kg. Setelah dikenai beban unloading sebesar 4 kg nilainya menurun menjadi 5,5 div dan yang terkecil adalah pada beban 1 kg sebesar 8,1 div. Hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan pada tanah yang di campur dengan kapur daripada yang tidak diberi kapur.

Untuk menjaga ketinggian caranya adalah dengan menjumlah pengembangan yang terjadi pada saat *unloading* di beban 4 dan 1 kg. Hasil dari penjumlahan tersebut yakni 13,6

div, dengan kata lain harus dilakukan kompresi dengan beban yang tidak ditentukan seperti urutan praktikum. Beban setelah unloading yang diberikan pada sampel tanah asli dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel 8 Hasil Pembacaan Konsolidasi tanah asli pada kondisi setelah *unloading*

Load (kg)	Pressure (kg/cm ²)	Time (min)
		1440
4	1,41	5,6
9	3,18	4,5
17	6,01	3,9

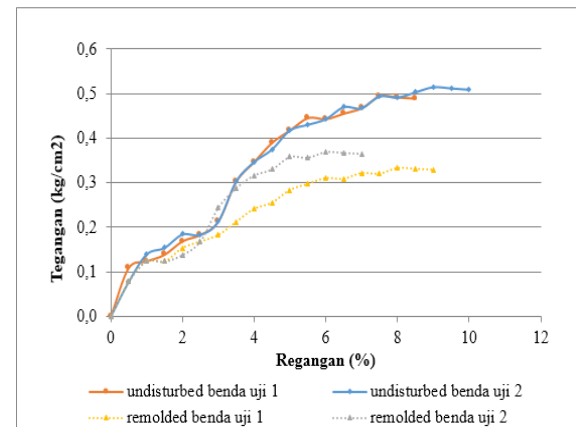
Selanjutnya untuk mengetahui tanah tersebut sudah berada pada ketinggian awalnya yakni hasil kumulatif sebelumnya yakni Hasil kumulatif sebelumnya yakni 13,6 div dikurangi dengan hasil kumulatif pada tabel 7 yakni 14 div adalah -0,4 div.

Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa ketinggian semula sudah kembali pada saat pembebanan terakhir sebesar 16 kg. Sampel kembali ke tinggi awal ketika beban loading antara 9 dan 17 kg, yakni menit ke 1440 pada beban 9 kg dan menit 0,16 untuk beban 17 kg. Sedangkan untuk perbedaan tinggi sampel awal dan akhir menunjukkan nilai 37,91 mm.

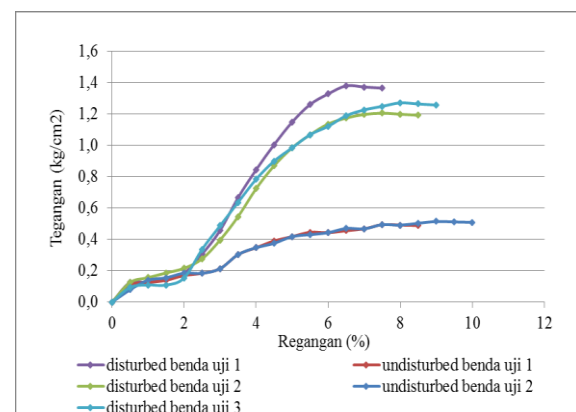
Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)

A. Pengaruh Variasi Kadar Air terhadap Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif

Hasil uji kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) pada tanah asli, remolded, dan tanah dengan kadar air optimum (OMC) didapat dari penelitian sebelumnya yakni Rahmawati (2015). Hasil tersebut akan ditampilkan pada gambar 3 dan 4 berikut ini.



Gambar 3 Grafik perbandingan tegangan- regangan tanah asli *undisturbed-remolded*



Gambar 4 Grafik perbandingan tegangan- regangan tanah asli *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC)

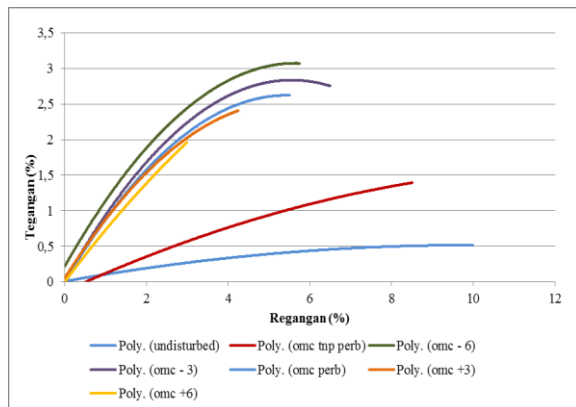
Hasil sampel tanah *remolded* dengan kadar air optimum (OMC) tersebut dirata-rata akan didapatkan hasil sebesar 1,286 kg/cm². Hasil tersebut lebih besar daripada tegangan

ultimate tanah *undisturbed* yang hanya memiliki q_u rata-rata $0,504 \text{ kg/cm}^2$.

Untuk selanjutnya akan dilakukan pencampuran tanah dengan bahan kimia kapur berkadar 10% metode *deep soil mix* yang memiliki 3 variasi luasan pipa perbaikan serta 3 variasi pemberian kadar air seperti disebutkan di atas. Hal ini dilakukan setelah mengetahui adanya peningkatan q_u rata-rata karena perlakuan pemadatan dan penambahan kadar air optimum (OMC).

Berikut merupakan hasil dari persentase perbaikan pada masing – masing pipa yakni 50%, 60%, 76% .

1. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Persentase Perbaikan 50%



Gambar 5 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah persentase perbaikan 50% (*undisturbed*, *remolded* tanpa perbaikan, *remolded* dengan perbaikan) dengan variasi kadar air

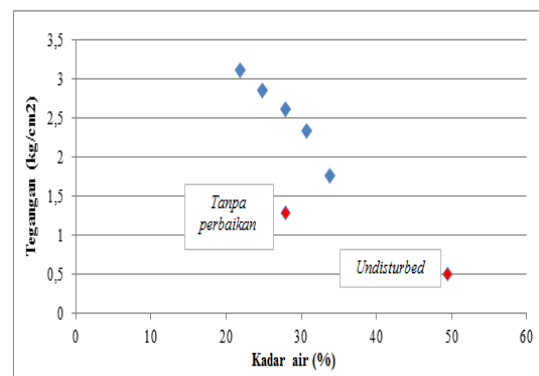
Pengaruh kadar air terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan bernilai terendah diantara semua benda uji yaitu $0,504 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan

memiliki nilai q_u $1,286 \text{ kg/cm}^2$, dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai q_u akibat dari pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 155% dari tanah asli (*undisturbed*).

Sedangkan untuk variasi dari kadar air sudah terlihat jelas bahwa semakin besar kadar air pada sekitar *deep soil mix* nilai q_u semakin menurun, nilai q_u terbesar didapat pada kadar air kering optimum (OMC-6%) yaitu $3,098 \text{ kg/cm}^2$ dengan peningkatan mencapai 515% dari tanah asli.

Tabel 9 Peningkatan nilai q_u dari tanah asli dengan persentase perbaikan 50%

No.	Kadar air	q_u tanah asli (kg/cm ²)	q_u (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
1	OMC -6%		3,098	515
2	OMC -3%		2,852	466
3	OMC dengan perbaikan		2,600	416
4	OMC +3%	0,504	2,319	360
5	OMC +6%		1,736	245
6	OMC tanpa perbaikan		1,286	155

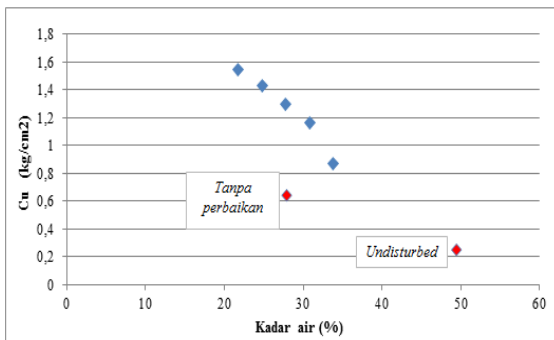


Gambar 6 Grafik pengaruh kadar air terhadap q_u dengan persentase perbaikan 50%

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi kadar air menggunakan pipa berdiameter 1 inch (25 mm) atau dengan persentase perbaikan 50% pada tabel 10.

Tabel 10 Peningkatan nilai Cu dari tanah asli dengan persentase perbaikan 50%

No.	Kadar air	Cu tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
1	OMC -6%		1,549	258
2	OMC -3%		1,426	233
3	OMC dengan perbaikan		1,300	208
4	OMC +3%	0,252	1,159	180
5	OMC +6%		0,868	122
6	OMC tanpa perbaikan		0,643	78



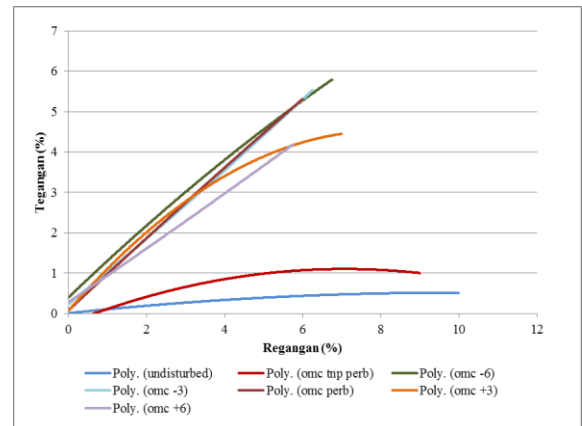
Gambar 7 Grafik pengaruh kadar air terhadap Cu dengan persentase perbaikan 50%

Pada gambar 7 tanah dengan kondisi *undisturbed* memiliki nilai Cu terendah sebesar 0,252 kg/cm², untuk tanah remolded yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai Cu sebesar 0,643 yang memiliki peningkatan 78% dari tanah asli.

Pada gambar 7 juga terlihat bagaimana pengaruh variasi kadar air pada benda uji yang sudah dilakukan perbaikan terhadap nilai Cu. Semakin

tinggi kadar air nilai Cu semakin kecil, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin besar. Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji kadar (OMC-6%) sebesar 1,549 kg/cm², nilai Cu meningkat sebesar 258% dari nilai Cu tanah asli.

2. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Persentase Perbaikan 60%



Gambar 8 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah persentase perbaikan 60% (*undisturbed*, *remolded* tanpa perbaikan, *remolded* dengan perbaikan) dengan variasi kadar air

Pengaruh kadar air terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan bernilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,504 kg/cm².

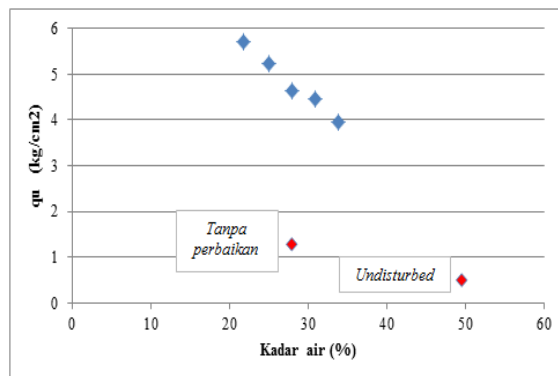
Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai q_u 1,286 kg/cm², dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai q_u akibat dari pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 155% dari tanah asli (*undisturbed*).

Sedangkan untuk variasi dari

kadar air sudah terlihat jelas bahwa semakin besar kadar air pada sekitar deep soil mix nilai q_u semakin menurun, nilai q_u terbesar didapat pada kadar air kering optimum (OMC-6%) yaitu 5,710 kg/cm² dengan peningkatan mencapai 1034% dari tanah asli.

Tabel 11 Peningkatan nilai q_u dari tanah asli dengan persentase perbaikan 60%

No.	Kadar air	q_u tanah asli (kg/cm ²)	q_u (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
1	OMC -6%		5,710	1034
2	OMC -3%		5,238	940
3	OMC dengan perbaikan		4,615	817
4	OMC +3%	0,504	4,449	784
5	OMC +6%		3,963	687
6	OMC tanpa perbaikan		1,286	155

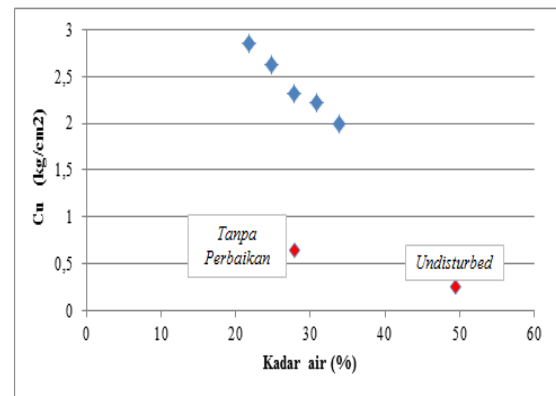


Gambar 9 Grafik pengaruh kadar air terhadap q_u dengan persentase perbaikan 50%

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi kadar air menggunakan pipa berdiameter 1.25 inch (30 mm) atau dengan persentase perbaikan 60% pada tabel 12.

Tabel 12 Peningkatan nilai Cu dari tanah asli dengan persentase perbaikan 60%

No.	Kadar air	Cu tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
1	OMC -6%		2,855	517
2	OMC -3%		2,619	470
3	OMC dengan perbaikan		2,308	408
4	OMC +3%	0,252	2,224	392
5	OMC +6%		1,981	344
6	OMC tanpa perbaikan		0,643	78



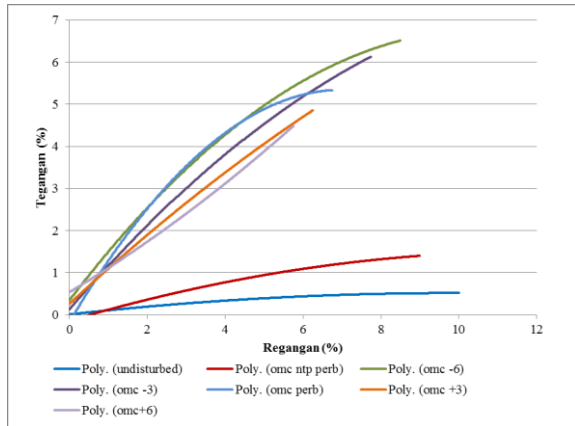
Gambar 10 Grafik pengaruh kadar air terhadap Cu dengan persentase perbaikan 60%

Pada gambar 10 tanah dengan kondisi *undisturbed* memiliki nilai Cu terendah sebesar 0,252 kg/cm², untuk tanah remolded yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai Cu sebesar 0,643 yang memiliki peningkatan 78% dari tanah asli.

Pada gambar 10 juga terlihat bagaimana pengaruh variasi kadar air pada benda uji yang sudah dilakukan perbaikan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi kadar air nilai Cu semakin kecil,

sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin besar. Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji kadar (OMC-6%) sebesar 2,855 kg/cm², nilai Cu meningkat sebesar 517% dari nilai Cu tanah asli.

3. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Persentase Perbaikan 76%



Gambar 11 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah persentase perbaikan 76% (*undisturbed*, *remolded* tanpa perbaikan, *remolded* dengan perbaikan) dengan variasi kadar air

Pengaruh kadar air terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan bernilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,504 kg/cm².

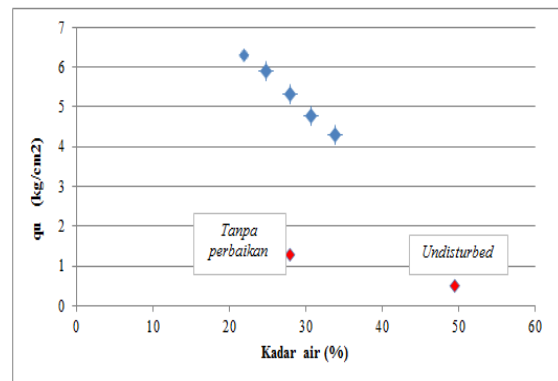
Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai q_u 1,286 kg/cm², dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai q_u akibat dari pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 155% dari tanah asli (*undisturbed*).

Sedangkan untuk variasi dari kadar air sudah terlihat jelas bahwa semakin besar kadar air pada sekitar deep soil mix nilai q_u semakin menurun, nilai q_u

terbesar didapat pada kadar air kering optimum (OMC-6%) yaitu 6,299 kg/cm² dengan peningkatan mencapai 1151% dari tanah asli.

Tabel 13 Peningkatan nilai q_u dari tanah asli dengan persentase perbaikan 76%

No.	Kadar air	q_u tanah asli (kg/cm ²)	q_u (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
1	OMC -6%		6,299	1151
2	OMC -3%		5,894	1071
3	OMC dengan perbaikan		5,236	940
4	OMC +3%	0,504	4,754	844
5	OMC +6%		4,240	742
6	OMC tanpa perbaikan		1,286	155

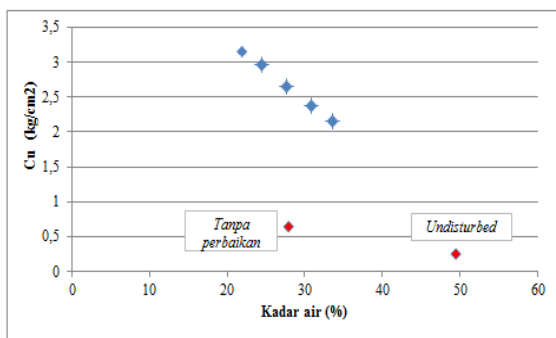


Gambar 12 Grafik pengaruh kadar air terhadap q_u dengan persentase perbaikan 76%

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi kadar air menggunakan pipa berdiameter 1.5 inch (38 mm) atau dengan persentase perbaikan 76% pada tabel 14.

Tabel 14 Peningkatan nilai Cu dari tanah asli dengan persentase perbaikan 76%

No.	Kadar air	Cu tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
1	OMC -6%		3,150	576
2	OMC -3%		2,947	535
3	OMC dengan perbaikan		2,618	470
4	OMC +3%	0,252	2,377	422
5	OMC +6%		2,120	371
6	OMC tanpa perbaikan		0,643	78



Gambar 13 Grafik pengaruh kadar air terhadap Cu dengan persentase perbaikan 76%

Pada gambar 13 tanah dengan kondisi *undisturbed* memiliki nilai Cu terendah sebesar 0,252 kg/cm², untuk tanah remolded yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai Cu sebesar 0,643 yang memiliki peningkatan 78% dari tanah asli.

Pada gambar 13 juga terlihat bagaimana pengaruh variasi kadar air pada benda uji yang sudah dilakukan perbaikan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi kadar air nilai Cu semakin kecil, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin besar. Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji kadar (OMC-6%) sebesar 3,150 kg/cm², nilai Cu meningkat sebesar 576% dari nilai Cu tanah asli.

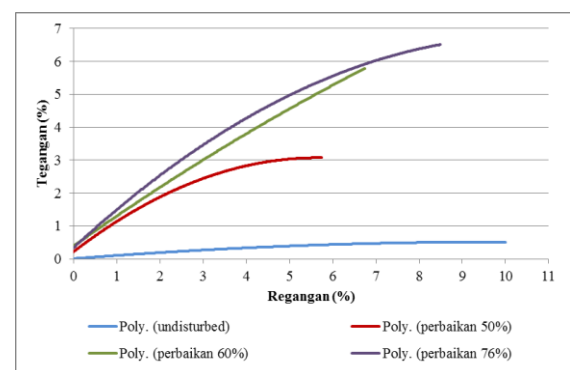
Dari ketiga poin di atas menunjukkan bahwa tanah tanpa perbaikan

memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dibandingkan tanah yang diperbaiki menggunakan kapur dengan metode *deep soil mix*. Sebaliknya tanah yang diperbaiki mempunyai nilai tegangan atau penurunan yang lebih tinggi dari pada tanah tanpa perbaikan. Tegangan maksimum terbesar adalah dengan kadar air kering optimum (OMC-6).

Hal ini dikarenakan tegangan maksimum yang terjadi juga dipengaruhi oleh kadar air optimum di sekitar *deep soil mix*, semakin rendah kadar air yang diberikan akan semakin tinggi tegangan maksimum dari tanah tersebut. Hal ini juga sesuai karena kadar air pada tanah lempung ekspansif sangatlah sensitif, apabila kadar airnya tinggi akan menyebabkan tanah lembek dan memiliki tingkat pengembangan tinggi.

B. Pengaruh Persentase Volume Perbaikan terhadap Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif

1. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Kadar Air Kering Optimum (OMC - 6%)

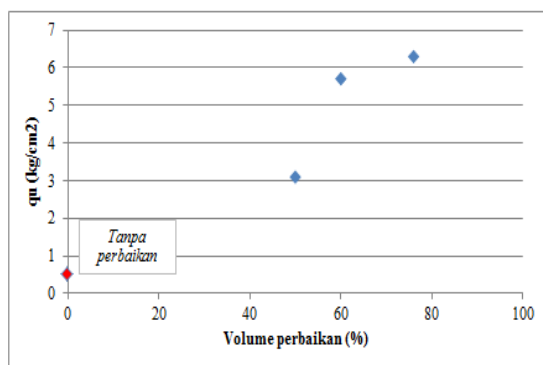


Gambar 14 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah kadar air kering optimum (OMC -6%) variasi persentase volume perbaikan

Pengaruh variasi volume perbaikan terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu $0,5035 \text{ kg/cm}^2$. Dapat dinyatakan bahwa semakin besar persentase volume perbaikan pada sekitar deep soil mix nilai q_u semakin naik, nilai q_u terbesar didapat persentase volume perbaikan 76% yaitu $6,299 \text{ kg/cm}^2$ dengan peningkatan mencapai 1151,048 % dari tanah asli.

Tabel 15 Perbandingan q_u dari variasi persentase perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC -6%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,910	3,098	515,243
		2	3,217		
		3	3,166		
60	1,25	1	5,556	5,710	1034,029
		2	5,660		
		3	5,914		
76	1,5	1	6,214	6,299	1151,048
		2	6,299		
		3	6,384		
0	2 (undisturbed)	1	0,493	0,5035	-
		2	0,514		



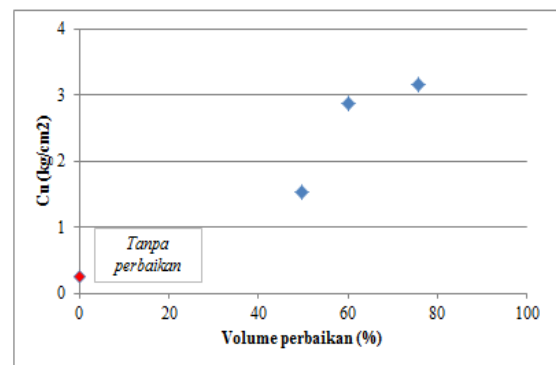
Gambar 15 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap q_u dengan kadar air kering optimum (OMC -6%)

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi persentase volume perbaikan menggunakan pipa berdiameter 1 inch (25 mm), 1.25 inch (

30 mm), dan 1.5 inch (38 mm) atau dengan persentase perbaikan 50%, 60%, 76% berkadar air kering optimum (OMC -6%) pada tabel 16.

Tabel 16 Perbandingan q_u dan Cu dari variasi persentase volume perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC -6%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,9103	3,098	1,549	515,243
		2	3,2174			
		3	3,1656			
60	1,25	1	5,7133	5,710	2,855	1034,029
		2	5,6596			
		3	5,9138			
76	1,5	1	6,2140	6,299	3,150	1151,048
		2	6,2987			
		3	6,3844			
0	2 (undisturbed)	1	0,489	0,5035	0,2518	-
		2	0,509			



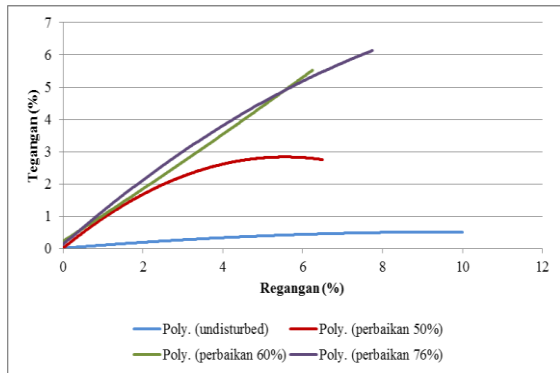
Gambar 16 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap Cu dengan kadar air kering optimum (OMC -6%)

Terlihat bagaimana pengaruh persentase volume perbaikan pada benda uji yang sudah dilakukan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi persentase volume perbaikan nilai Cu semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin menurun.

Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji dengan volume perbaikan

76% sebesar 3,15 kg/cm², nilai Cu meningkat sebesar 1151,048% dari nilai Cu tanah asli.

2. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Kadar Air Kering Optimum (OMC -3%)

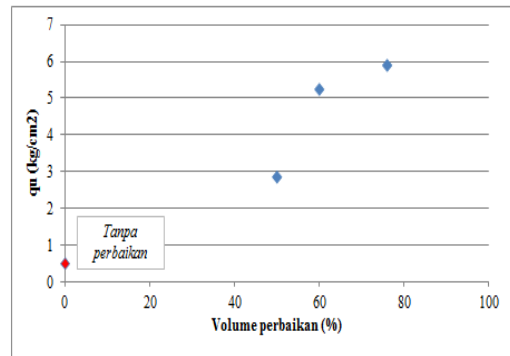


Gambar 17 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah kadar air kering optimum (OMC -3%) variasi persentase volume perbaikan

Pengaruh variasi volume perbaikan terhadap nilai qu dan nilai qu untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,5035 kg/cm². Dapat dinyatakan bahwa semakin besar persentase volume perbaikan pada sekitar deep soil mix nilai qu semakin naik, nilai qu terbesar didapat persentase volume perbaikan 76% yaitu 5,894 kg/cm² dengan peningkatan mencapai 1070,562 % dari tanah asli.

Tabel 17 Perbandingan qu dari variasi persentase perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC -3%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,883	2,852	466,343
		2	2,842		
		3	2,830		
60	1,25	1	5,087	5,238	940,296
		2	5,284		
		3	5,343		
76	1,5	1	5,835	5,894	1070,562
		2	5,873		
		3	5,973		
0	2 (undisturbed)	1	0,493	0,5035	-
		2	0,514		

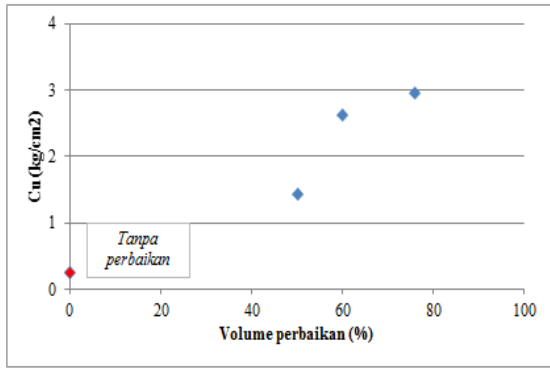


Gambar 18 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap qu dengan kadar air kering optimum (OMC -3%)

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi persentase volume perbaikan menggunakan pipa berdiameter 1 inch (25 mm), 1.25 inch (30 mm), dan 1.5 inch (38 mm) atau dengan persentase perbaikan 50%, 60%, 76% berkadar air kering optimum (OMC -3%) pada tabel 18.

Tabel 18 Perbandingan qu dan Cu dari variasi persentase volume perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC -3%)

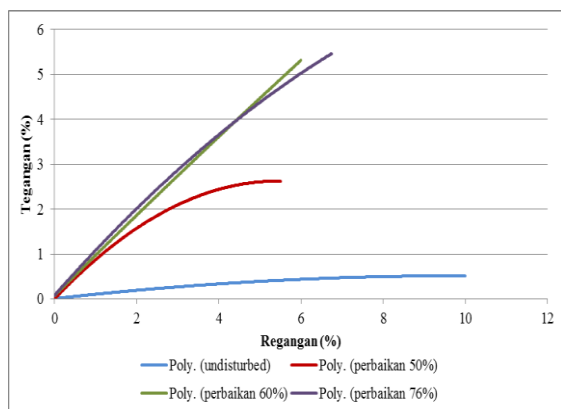
Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,9103	2,852	1,426	466,343
		2	3,2174			
		3	3,1656			
60	1,25	1	5,7133	5,238	2,619	940,296
		2	5,6596			
		3	5,9138			
76	1,5	1	6,2140	5,894	2,947	1070,562
		2	6,2987			
		3	6,3844			
0	2 (undisturbed)	1	0,489	0,5035	0,2518	-
		2	0,509			



Gambar 19 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap Cu dengan kadar air kering optimum (OMC -3%)

Terlihat bagaimana pengaruh persentase volume perbaikan pada benda uji yang sudah dilakukan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi persentase volume perbaikan nilai Cu semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin menurun. Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji dengan volume perbaikan 76% sebesar 2,947 kg/cm², nilai Cu meningkat sebesar 1070,562% dari nilai Cu tanah asli.

3. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Kadar Air Kering Optimum (OMC%)



Gambar 20 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah kadar air kering optimum (OMC%) variasi persentase volume perbaikan

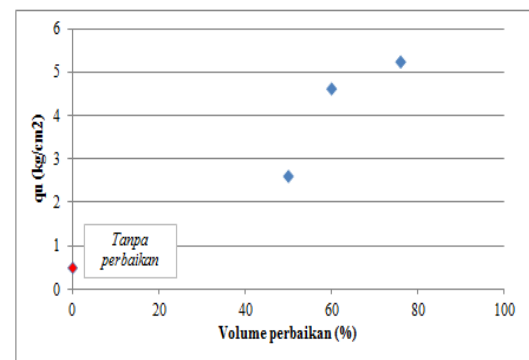
Pengaruh variasi volume perbaikan

terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,5035 kg/cm². Dapat dinyatakan bahwa semakin besar persentase volume perbaikan pada sekitar deep soil mix nilai q_u semakin naik, nilai q_u terbesar didapat persentase volume perbaikan 76% yaitu 5,236 kg/cm²

dengan peningkatan mencapai 939,942 % dari tanah asli.

Tabel 19 Perbandingan q_u dari variasi persentase perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,622	2,600	416,394
		2	2,562		
		3	2,616		
60	1,25	1	4,857	4,615	816,594
		2	4,430		
		3	4,558		
76	1,5	1	5,300	5,236	939,942
		2	5,177		
		3	5,231		
0	2 (undisturbed)	1	0,493	0,5035	-
		2	0,514		



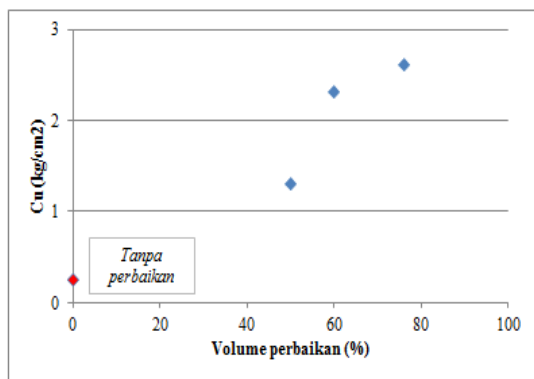
Gambar 21 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap q_u dengan kadar air kering optimum (OMC%)

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi persentase volume perbaikan menggunakan pipa berdiameter 1 inch (25 mm), 1.25 inch (30 mm), dan 1.5 inch (38 mm)

atau dengan persentase perbaikan 50%, 60%, 76% berkadar air kering optimum (OMC%) pada tabel 20.

Tabel 20 Perbandingan q_u dan C_u dari variasi persentase volume perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC%)

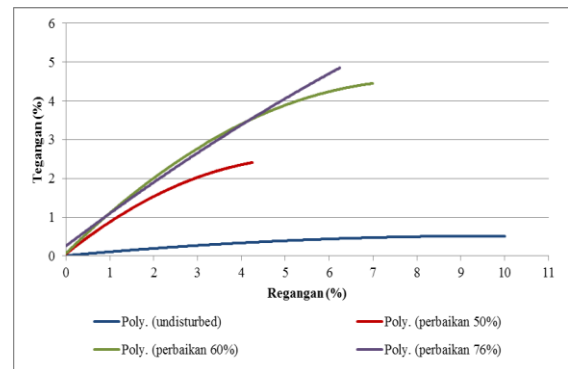
Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,9103	2,600	1,300	416,394
		2	3,2174			
		3	3,1656			
60	1,25	1	5,7133	4,615	2,308	816,594
		2	5,6596			
		3	5,9138			
76	1,5	1	6,2140	5,236	2,618	939,942
		2	6,2987			
		3	6,3844			
0 (undisturbed)	2	1	0,489	0,5035	0,2518	-
		2	0,509			



Gambar 22 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap C_u dengan kadar air kering optimum (OMC%)

Terlihat bagaimana pengaruh persentase volume perbaikan pada benda uji yang sudah dilakukan terhadap nilai C_u . Semakin tinggi persentase volume perbaikan nilai C_u semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai C_u semakin menurun. Nilai C_u terbesar didapat pada benda uji dengan volume perbaikan 76% sebesar 2,618 kg/cm², nilai C_u meningkat sebesar 939,942% dari nilai C_u tanah asli.

4. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Kadar Air Kering Optimum (OMC +3%)

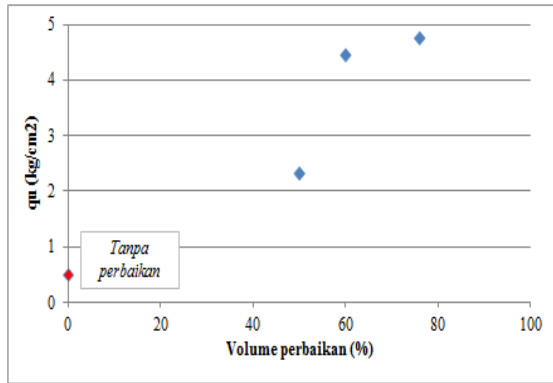


Gambar 23 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah kadar air kering optimum (OMC +3%) variasi persentase volume perbaikan

Pengaruh variasi volume perbaikan terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,5035 kg/cm². Dapat dinyatakan bahwa semakin besar persentase volume perbaikan pada sekitar deep soil mix nilai q_u semakin naik, nilai q_u terbesar didapat persentase volume perbaikan 76% yaitu 4,754 kg/cm² dengan peningkatan mencapai 844,288 % dari tanah asli.

Tabel 21 Perbandingan q_u dari variasi persentase perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC +3%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,622	2,319	360,490
		2	2,143		
		3	2,191		
60	1,25	1	4,462	4,449	783,546
		2	4,336		
		3	4,547		
76	1,5	1	4,580	4,754	844,288
		2	4,684		
		3	5,000		
0 (undisturbed)	2	1	0,493	0,5035	-
		2	0,514		

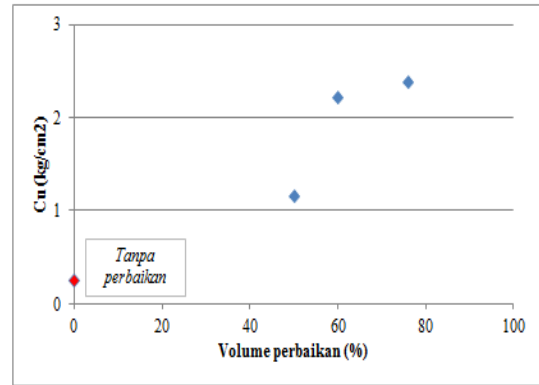


Gambar 24 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap q_u dengan kadar air kering optimum (OMC +3%)

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi persentase volume perbaikan menggunakan pipa berdiameter 1 inch (25 mm), 1.25 inch (30 mm), dan 1.5 inch (38 mm) atau dengan persentase perbaikan 50%, 60%, 76% berkadar air kering optimum (OMC +3%) pada tabel 22.

Tabel 22 Perbandingan q_u dan Cu dari variasi persentase volume perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC +3%)

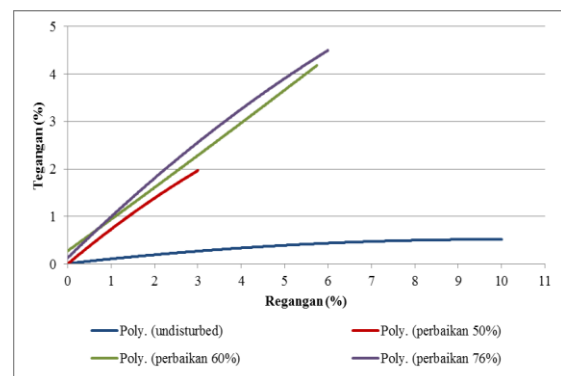
Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm ²)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,9103	2,319	1,159	360,490
		2	3,2174			
		3	3,1656			
60	1,25	1	5,7133	4,449	2,224	783,546
		2	5,6596			
		3	5,9138			
76	1,5	1	6,2140	4,754	2,377	844,288
		2	6,2987			
		3	6,3844			
0 (undisturbed)	2	1	0,489	0,5035	0,2518	-
		2	0,509			



Gambar 25 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap Cu dengan kadar air kering optimum (OMC +3%)

Terlihat bagaimana pengaruh persentase volume perbaikan pada benda uji yang sudah dilakukan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi persentase volume perbaikan nilai Cu semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin menurun. Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji dengan volume perbaikan 76% sebesar 2,377 kg/cm², nilai Cu meningkat sebesar 844,288% dari nilai Cu tanah asli.

5. Hasil Uji Unconfined Compression pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Kadar Air Kering Optimum (OMC +6%)

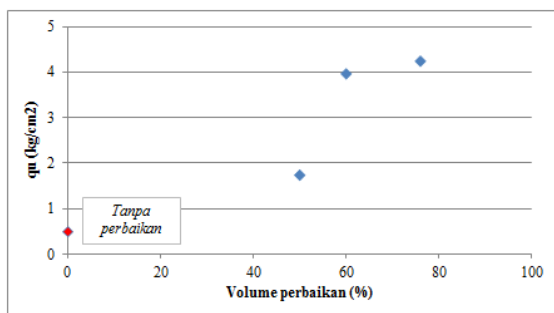


Gambar 26 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah kadar air kering optimum (OMC +6%) variasi persentase volume perbaikan

Pengaruh variasi volume perbaikan terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu $0,5035 \text{ kg/cm}^2$. Dapat dinyatakan bahwa semakin besar persentase volume perbaikan pada sekitar deep soil mix nilai q_u semakin naik, nilai q_u terbesar didapat persentase volume perbaikan 76% yaitu $4,24 \text{ kg/cm}^2$ dengan peningkatan mencapai 742,15 % dari tanah asli.

Tabel 23 Perbandingan q_u dari variasi persentase perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC +6%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm^2)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm^2)	Peningkatan (%)
50	1	1	1,479	1,736	244,760
		2	1,790		
		3	1,938		
60	1,25	1	3,744	3,963	687,009
		2	3,969		
		3	4,174		
76	1,5	1	4,087	4,240	742,150
		2	4,250		
		3	4,383		
0 (undisturbed)	2	1	0,493	0,5035	-
		2	0,514		



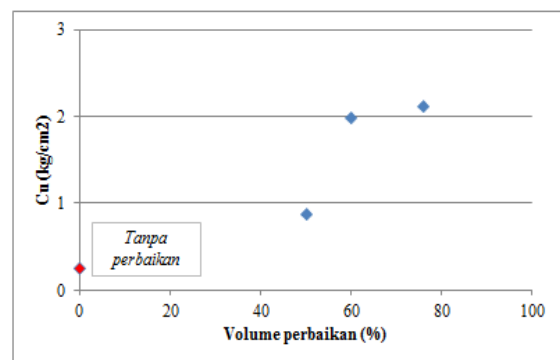
Gambar 27 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap q_u dengan kadar air kering optimum (OMC +6%)

Berikut akan ditampilkan hasil kohesi (Cu) dari uji unconfined compression dengan variasi persentase volume perbaikan menggunakan pipa berdiameter 1 inch (25 mm), 1.25 inch (30 mm), dan 1.5 inch (38 mm) atau dengan persentase perbaikan 50%, 60%,

76% berkadar air kering optimum (OMC +6%) pada tabel 24.

Tabel 24 Perbandingan q_u dan Cu dari variasi persentase volume perbaikan dengan kadar air kering optimum (OMC +6%)

Volume perbaikan (%)	Diameter pipa (inch)	Sampel	Tegangan maksimum (kg/cm^2)	Tegangan maksimum rata-rata (kg/cm^2)	Cu (kg/cm^2)	Peningkatan (%)
50	1	1	2,9103	1,736	0,868	244,760
		2	3,2174			
		3	3,1656			
60	1,25	1	5,7133	3,963	1,981	687,009
		2	5,6596			
		3	5,9138			
76	1,5	1	6,2140	4,240	2,120	742,150
		2	6,2987			
		3	6,3844			
0 (undisturbed)	2	1	0,489	0,5035	0,2518	-
		2	0,509			



Gambar 28 Grafik pengaruh persentase volume perbaikan terhadap Cu dengan kadar air kering optimum (OMC +6%)

Terlihat bagaimana pengaruh persentase volume perbaikan pada benda uji yang sudah dilakukan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi persentase volume perbaikan nilai Cu semakin meningkat, sebaliknya semakin rendah kadar air nilai Cu semakin menurun.

Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji dengan volume perbaikan 76% sebesar $2,12 \text{ kg/cm}^2$, nilai Cu meningkat sebesar 742,15% dari nilai Cu tanah asli.

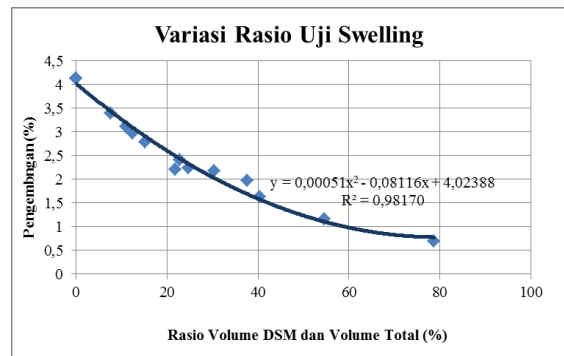
Dari kelima poin di atas menunjukkan bahwa tanah tanpa perbaikan memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dibandingkan tanah yang diperbaiki menggunakan kapur dengan metode *deep soil mix*. Sebaliknya tanah yang diperbaiki mempunyai nilai regangan atau penurunan yang lebih tinggi dari pada tanah tanpa perbaikan. Tegangan maksimum terbesar pada masing-masing variasi kadar air adalah dengan persentase volume perbaikan 76% (pipa *deep soil mix* berdiameter 38 mm)

Hal ini dikarenakan tegangan maksimum yang terjadi juga dipengaruhi oleh persentase volume perbaikan tanah di sekitar *deep soil mix*, semakin besar persentase volume perbaikan akan semakin besar tegangan maksimum dari tanah tersebut.

Pengujian Pengembangan (Swelling Test)

Variasi yang digunakan dalam percobaan pengembangan (*swelling test*) hanyalah jumlah *deep soil mix* dan diameter perbaikan *deep soil mix*. Diameter yang digunakan tetap yakni 1 inch (25 mm), 1.25 inch (30 mm), dan 1.5 inch (38 mm), dengan masing – masing persentase perbaikan sebesar 50%, 60%, dan 76%. Sedangkan untuk jumlah *deep soil mix* pada setiap diameter digunakan 2, 4, 6, dan 8 lubang. Pada akhirnya akan diketahui hasil perbandingan volume perbaikan *deep soil mix* dengan volume total dan dinyatakan dalam satuan persen (%).

Berikut akan ditampilkan rasio volume perbaikan *deep soil mix* dengan volume tanah keseluruhan pada gambar 29, dan hasil masing-masing nilai pengembangan pada tabel 25-27.



Gambar 29 Perbandingan hasil swelling terhadap rasio volume *deep soil mix* dan volume total

Tabel 25 Perubahan Nilai Pengembangan Tanah dengan Persentase Perbaikan 50%

Sampel	Volume Sampel	Volume DSM	Volume (DSM/Sampel)	Pengembangan	Perubahan nilai Pengembangan
			(%)	(%)	(%)
Tanah Asli	2131,138	0	0	4,133	-
dsm 2	1862,65	141,372	7,59	3,387	-18
dsm 4		282,743	15,18	2,79	-32
dsm 6		424,115	22,77	2,41	-42
dsm 8		565,487	30,36	2,18	-47

Tabel 26 Perubahan Nilai Pengembangan Tanah dengan Persentase Perbaikan 60%

Sampel	Volume Sampel	Volume DSM	Volume (DSM/Sampel)	Pengembangan	Perubahan nilai Pengembangan
			(%)	(%)	(%)
Tanah Asli	2131,138	0	0	4,133	-
dsm 2	1862,65	203,5757	10,93	3,11	-25
dsm 4		407,1499	21,86	2,2	-47
dsm 6		700,5277	37,61	1,97	-52
dsm 8		1017,877	54,65	1,16	-72

Tabel 27 Perubahan Nilai Pengembangan Tanah dengan Persentase Perbaikan 76%

Sampel	Volume Sampel	Volume DSM	Volume	Pengembangan	Perubahan
			(DSM/Sampel)		nilai
			(%)	(%)	(%)
Tanah Asli	2131,138	0	0	4,133	-
dsm 2	1862,65	230,44	12,37	2,97	-28,14
dsm 4		460,87	24,74	2,24	-45,80
dsm 6		753,53	40,45	1,63	-60,56
dsm 8		1464,88	78,64	0,69	-83,31

Dari tabel di atas diketahui bahwa hasil pengujian swelling menghasilkan nilai pengembangan yang meningkat berbanding lurus dengan semakin banyak jumlah kolom *deep soil mix* yang digunakan. Di samping hal itu semakin besar variasi dari pipa perbaikan *deep soil mix* yang digunakan, semakin kecil pula perubahan nilai pengembangan tanah ekspansif.

Pada setiap pipa perbaikan perubahan nilai pengembangan bervariasi. Untuk kolom *deep soil mix* dengan persentase perbaikan 50% perubahan nilai pengembangan terbesar menurun 47% dari tanah asli. Sedangkan untuk persentase perbaikan 60% perubahan nilai pengembangan terbesar menurun 72% dari tanah asli. Dan penurunan terbesar sebanyak 83,31% terjadi pada persentase perbaikan 76%. Perubahan nilai pengembangan yang terbesar dari ketiga perbaikan tersebut terjadi pada jumlah lubang *deep soil mix* sebanyak 8 buah.

Hal tersebut dapat terjadi karena pencampuran tanah ekspansif dengan kapur berkadar 10% metode *deep soil mix* membuat tanah semakin kompak. Faktor – faktor yang mempercepat tanah untuk mengembang lebih cepat seperti : jumlah mineral dalam tanah, kadar air, susunan tanah, dan sementasi akan dilambatkan pengembangannya oleh kapur dengan kadar air optimum (OMC). Susunan tanah akan lebih rapat karena diisi dengan

campuran kapur dan kadar air nya dijadikan optimum agar susunan dalam tanah seimbang. Proses sementasi tanah juga akan berkurang karena jarak antar partikel tanah semakin rapat yang mengakibatkan keseimbangan gaya di dalam struktur tanah.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsolidasi dengan stabilisasi campuran kapur sebesar 10% menurunkan indeks kompresi (C_c) dari 1,034 menjadi 0,157 dan indeks swelling (C_s) dari 0,2068 menjadi 0,03131.
2. Kadar air pada tanah lempung ekspansif dengan campuran 10% kapur berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin kecil kadar air grafik tegangan-regangan tanah akan semakin kaku dan kohesi semakin besar dibandingkan dengan tanah kondisi asli dan *remolded* (tanpa perbaikan).
3. Rasio volume stabilisasi pada tanah lempung ekspansif dengan campuran 10% kapur berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar rasio volume stabilisasi grafik tegangan-regangan tanah akan semakin kaku dan kohesi semakin besar dibandingkan dengan tanah kondisi asli dan *remolded* (tanpa perbaikan).
4. Rasio volume stabilisasi berpengaruh terhadap pengembangan (*swelling*), semakin besar rasio stabilisasi maka pengembangan (*swelling*) semakin kecil. Sebaliknya semakin kecil rasio volume stabilisasi, maka

pengembangan (*swelling*) semakin besar.

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan terkait bahan campuran zat aditif lain dengan kapur yang lebih bervariasi untuk menambah kekuatan tanah menumpu beban.
2. Perlu diadakan variasi kadar air untuk uji kemampuan menggunakan bahan campuran kapur
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung ekspansif.
4. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.
5. Perlu adanya peralatan praktikum yang lebih memadai, agar hasil dari penelitian lebih baik dan akurat.

Daftar Pustaka

- Bowles, Joseph E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak untuk Konstruksi Timbunan Jalan (dengan Semen dan Cerucuk) Pd T-11-2005-E*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. 2007. *Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan Buku 7, Lapis Pondasi Tanah Kapur*. Jakarta.
- Grim, R.E. 1953. *Clay Mineralogy*. McGraw Hill Book Company Inc. New York, Toronto, London.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Madhyannapu, R. S. 2014. *Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE.
- Lorenzo, G. A., and Bergado, D. T. 2004. "Fundamental parameters of cement admixed clay—New approach." *JGGE*, 130 10 , 1042–1050.
- Porbaha, A. 1998. "State-of-the-art in deep mixing technology. Part I: Basic concepts and overview of technology." *Ground Improv.*, 2 2 ,81–92.
- Proctor, R. R. 1993. *Fundamental Principles of Soil Compaction*. Engineering News-Record.
- Rahmawati, Ika Meisy P. 2015. *Pengaruh Kadar Air terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif*

Bojonegoro dengan Stabilisasi Menggunakan 15% Fly Ash dengan Metode Deep Soil Mix . Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Santosa, Budi, et al. 1998. *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma

Seed, H. B., et al. 1962. Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays.

Skempton, A. W. 1953. *The Colloidal Activity of Clays*, Proceeding 3rd International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering London, Vol.1,57-61.

Warsiti. 2009. Meningkatkan CBR dan memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi tanah dan kapur *Jurnal Volume 14 Nomor 1*. Teknik Sipil Fakultas Teknik Politeknik Negeri Semarang.