

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM *DEEP SOIL MIX*
TIPE *SINGLE SQUARE* DIAMETER 3 CM TERHADAP
DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF**

**NASKAH TERPUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**VICKY DWI ASTRIYANTO
NIM. 125060100111063**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM *DEEP SOIL MIX*
TIPE *SINGLE SQUARE* DIAMETER 3 CM TERHADAP
DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF**

Vicky Dwi Astriyanto, Yulvi Zaika, Harimurti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia
E-mail: avickydwi@gmail.com

ABSTRAK

Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro merupakan salah satu wilayah yang terdeteksi mengandung tanah ekspansif. Tanah jenis ini memiliki daya dukung rendah serta potensi kembang susut yang sangat tinggi sehingga dapat menimbulkan kerusakan infrastruktur di atasnya. Untuk itu perlu dilakukan stabilisasi tanah untuk memperbaiki sifat tanah dengan penambahan bahan stabilisasi berupa kapur. Kadar kapur yang digunakan sebesar 10% dengan metode *Deep Soil Mix* (DSM). DSM merupakan upaya perbaikan tanah dengan cara membuat kolom-kolom tanah yang dicampur dengan kapur. Pemodelan benda uji menggunakan kolom DSM berdiameter 3 cm berpola *Single Square* dilakukan di dalam *box* berukuran 30x30x30cm³. Jarak dan panjang kolom dibuat bervariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya dukung tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi jarak dan panjang kolom berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Daya dukung maksimum diperoleh pada jarak terdekat dan kolom terpanjang. Persentase tanah stabilisasi mempengaruhi pengembangan (*swelling*) tanah dimana semakin besar persentase tanah yang distabilisasi maka semakin kecil potensi pengembangan. Persentase *swelling* paling kecil yaitu sebesar 0,796%.

Kata-kata kunci: Tanah Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Kapur, *Deep Soil Mix*, Jarak, Panjang, Daya Dukung, *Swelling*.

ABSTRACT

Ngasem subdistrict, Bojonegoro is one area that detected containing expansive soil. This type of soil has low bearing capacity and the potential for swell and shrinkage is very high so that can cause damage to the infrastructure on it. It is necessary to do soil stabilization to improve soil properties by adding a stabilizing agent such as lime. This study use 10% of lime content with Deep Soil Mix method (DSM). DSM is an effort to improve the soil by making the columns of soil mixed with lime. Test model using DSM column with 3 cm in diameter Single Square pattern that performed in 30x30x30cm³ sized box. The distance and the length of the column is varied to determine the effect on bearing capacity of soil. The results showed that the variation of distance and length of the columns give an effect on increased value of soil bearing capacity. The maximum bearing capacity is obtained at a distance of closest and longest column. Percentage of soil stabilization affect swelling value of soil where greater the percentage of stabilized soil, the potential of swelling is getting smaller. The smallest swelling percentage is 0,796%.

Keywords: Expansive Soil, Soil Stabilization, Lime, Deep Soil Mix, Distance, Length, Bearing Capacity, Swelling

PENDAHULUAN

Permasalahan yang seringkali terjadi pada konstruksi infrastruktur adalah fenomena tanah ekspansif yang sangat merugikan jika ditinjau dari segi kekuatan struktur tanahnya karena potensi kembang-susut yang sangat tinggi. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kestabilan dan kemampuan daya dukung tanah, maka diperlukan adanya suatu metode stabilisasi tanah lempung ekspansif.

Adapun di dalam penelitian ini stabilisasi yang dilakukan adalah dengan penambahan bahan stabilisasi (stabilisator) berupa kapur. Beberapa kelebihan kapur sebagai bahan stabilisasi seperti mengurangi plastisitas tanah, mampu meningkatkan daya dukung tanah, dan bahan baku yang sangat mudah ditemui dimanapun.

Salah satu metode stabilisasi tanah adalah metode Deep Soil Mixing (DSM). Dengan memberikan campuran 10% kapur dan variasi jarak serta panjang kolom tipe *Single Square* dengan diameter 3 cm diharapkan akan memberikan pengaruh terhadap nilai daya dukung tanah ekspansif.

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom kapur DSM tipe *Single Square* dengan diameter 3 cm terhadap nilai daya dukung pada tanah lempung ekspansif.
2. Untuk mengetahui jarak dan panjang kolom DSM dengan nilai daya dukung maksimum ditinjau dari analisis peningkatan daya dukung (BCI) dan *Swelling*.
3. Untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan 10% kapur terhadap nilai pengembangan (*swelling*) tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung Ekspansif

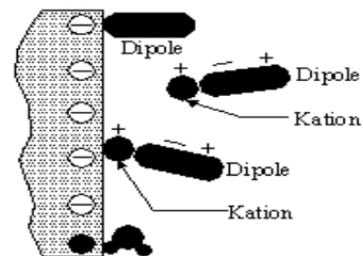
Tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari

0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif (Bowles,1989).

Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite, montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (Das, 1995).

Permukaan mineral lempung tanah biasanya mengandung muatan elektronegatif yang memungkinkan terjadinya reaksi pertukaran kation.

Luas permukaan lempung merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya molekul air yang ditarik untuk membentuk lapisan listrik rangkap (*diffuse double layer*). Fenomena ini mengidentifikasi kemampuan mineral lempung menarik molekul air atau menunjukkan kapasitas perilaku plastis tanah lempung.

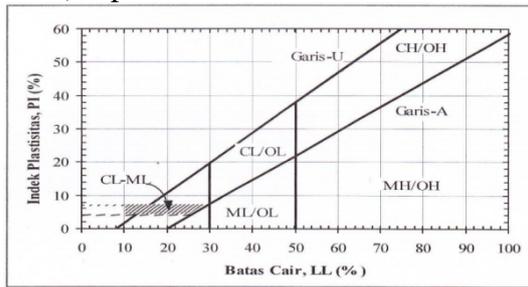


Gambar 1. Interaksi Molekul Air dengan Partikel Lempung (Das ,1995)

Klasifikasi Tanah berdasarkan *Unified System*

Menurut *Unified Soil Classification System* (USCS) salah satu contoh tanah butir halus adalah tanah ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu tanah butir halus yang sifat plastisnya rendah ($LL < 50\%$) dan sifat plastisnya tinggi ($LL > 50\%$). Dengan data LL dan PI diplotkan dalam diagram, lalu dilihat secara analisis $LL < 50\%$ atau $LL > 50\%$ selanjutnya dihitung PI batas = 0,73 (LL-20), jika $PI > PI$ batas berarti di atas garis A dan sebaliknya. Selain garis A, terdapat pula garis U yang merupakan batas dari hubungan antara indeks plastisitas dan batas cair untuk suatu tanah. Garis U

mengikuti persamaan garis lurus $PI = 0,9$ (LL-8) seperti Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah USCS (Sukirman,1999)

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat dalam Tabel 1. berikut ini :

Tabel 1. Simbol Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System* (Bowles,1989)

Jenis Tanah	Simbol	Sub Kelompok	Simbol
		Gradasi baik	W
Kerikil	G	Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	LL < 50%	L
Organik	O	LL > 50%	H
Gambut	PT		

Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk identifikasi tanah ekspansif antara lain uji batas-batas *Atterberg* dan uji potensi mengembang (*swelling*).

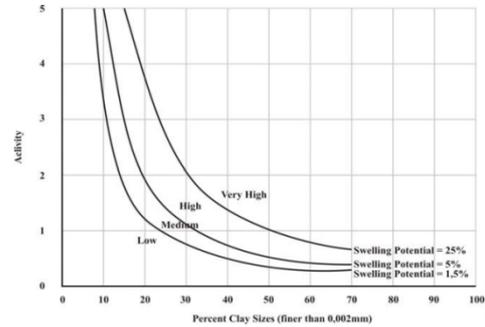
Potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas seperti terlihat dalam Tabel 2. berikut :

Tabel 2. Hubungan potensial mengembang dengan Indeks Plastisitas (Chen,1975)

Potensi Mengembang	Indeks Plastisitas
Rendah	0-15
Sedang	10-35
Tinggi	20 - 55
Sangat Tinggi	35 <

Seed et al (1962) mengembangkan grafik hubungan nilai aktifitas dan persentase butir tanah lempung yang lolos saringan 0,002mm yang diperoleh dari hasil pengamatan sejumlah tanah lempung *remolded* dengan mineral yang berbeda-

beda sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang (Seed et al, 1962)

Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Metode stabilisasi yang paling sering dilakukan adalah metode stabilisasi mekanis dan kimiawi. Stabilisasi dengan kapur dan *pozzolan* cocok untuk tanah kohesif (Soedarmo dan Purnomo, 1997).

Apabila kapur dengan mineral lempung atau mineral halus lainnya bereaksi, maka akan membentuk suatu gel yang kuat dan keras, yaitu kalsium silikat yang mengikat butir-butir atau partikel tanah (Ingles dan Metcalf, 1972).

Kapur yang biasa digunakan dalam stabilisasi adalah kapur hidup (*quicklime*, CaO) dan kapur padam (*calcium hydroxide*, Ca(OH)₂) yang merupakan produk pembakaran batu kapur.

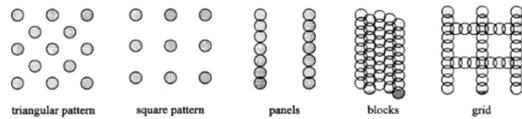
Di dalam penelitian ini digunakan jenis kapur padam karena kapur jenis ini tidak memerlukan banyak air untuk mereaksikannya dan tidak mengeluarkan uap air saat proses slaking.

Warsiti (2009) dalam penelitiannya membuktikan bahwa penggunaan kapur sebagai bahan stabilisasi terbukti dapat meningkatkan nilai CBR dan mengurangi nilai pengembangan (*swelling*) tanah ekspansif.

Metode *Deep Soil Mix*

Kosche (2004) mengatakan bahwa metode *Deep Soil Mix* berguna untuk mengurangi penurunan dan/atau meningkatkan stabilitas tanah. Untuk mengurangi penurunan dibawah timbunan digunakan konfigurasi single column

dengan pola persegi. Sedangkan konfigurasi *panels*, *grids*, atau *blocks* biasanya digunakan untuk bangunan atas dengan dimensi yang besar seperti lereng, galian, dam, dinding penahan tanah, dan di bawah timbunan.

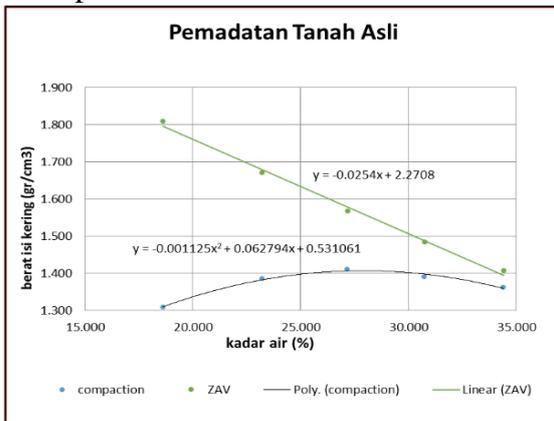


Gambar 4. Konfigurasi Kolom DSM (Kosche, 2004)

Dalam penelitian ini digunakan pencampuran basah (*wet mixing*, yaitu kapur dimasukkan ke dalam tanah dalam bentuk cair (*slurry*) dimana sebelumnya dicampur terlebih dahulu dengan air.

Kepadatan Tanah Asli

Data uji pemadatan tanah asli mengacu pada penelitian terdahulu dikarenakan sampel tanah asli yang digunakan didapat dari lokasi yang sama. Menurut penelitian (Kurniawan, 2015), besarnya kadar air optimum (OMC) yang diperoleh sebesar 27,9% dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,407 gr/cm³ sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 5.

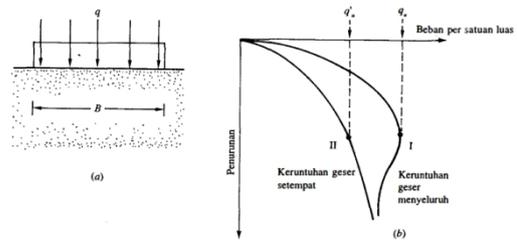


Gambar 5. Grafik hasil pemadatan tanah asli (Kurniawan, 2015)

Daya Dukung Tanah untuk Pondasi Dangkal

Secara umum, yang dinamakan pondasi dangkal adalah pondasi yang mempunyai perbandingan antara kedalaman dengan lebar sekitar kurang dari empat (Das, 1995).

Apabila beban terbagi rata q per satuan luas diletakkan di atas model pondasi, maka pondasi tadi akan turun. Apabila beban terbagi rata (q) tersebut ditambah, tentu saja penurunan pondasi yang bersangkutan akan bertambah pula. Model keruntuhan yang terjadi disajikan dalam Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Daya dukung batas tanah untuk kondisi dangkal; (a) Model pondasi; (b) Grafik hubungan antara beban dengan penurunan. (Das, 1995)

Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) = q_u didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat memikul beban tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan:

$$q_u = P_u/A$$

dimana : q_u = daya dukung batas
 P_u = beban batas
 A = luas pondasi

Analisis Terzaghi

Terzaghi melakukan analisis daya dukung tanah dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan dengan anggapan bahwa tanah sebagai material yang bersifat plastis.

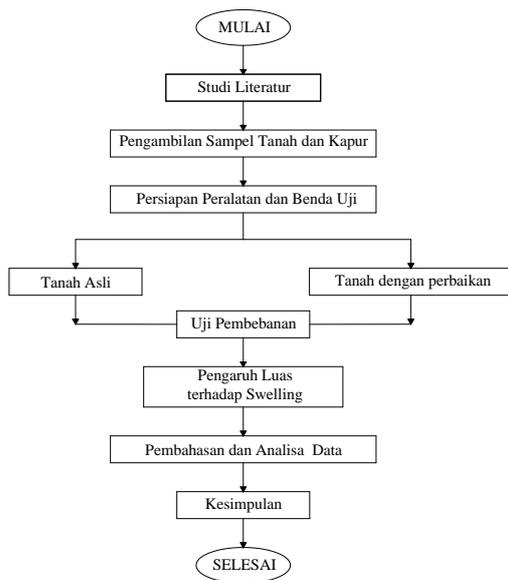
Persamaan daya dukung batas menurut Terzaghi dapat ditulis sebagai berikut:

$$q_u = c.N_c + q.N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B.N$$

dimana : c = kohesi tanah dasar pondasi
 B = lebar pondasi
 q = surcharge = $\gamma \cdot d$
 D = kedalaman pondasi
 $N_c = tg \cdot (Kc + 1)$
 $N_q = tg \cdot Kq$
 $N = \frac{1}{2} \cdot tg \cdot (K \cdot tg - 1)$

Menurut Bowles (1986), daya dukung tanah untuk pondasi dangkal bergantung dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi Tanah Asli

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 3. Karakteristik Tanah Asli

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
Kadar Air (w)	%	44,56
Berat Jenis (Gs)	-	2,556
Berat Volume	gr/cm ³	1,656
Batas-batas Atterberg		
• Batas Cair (LL)	%	79,11
• Batas Plastis (PL)	%	31,3
• Indeks Plastisitas (PI)	%	47,81
• Batas Susut (SL)	%	13,79
Gradasi Butiran		
• Tanah berbutir kasar	%	2,97
• Tanah berbutir halus	%	97,03
• Fraksi Lempung	%	44

Uji analisa saringan (*Grain Size*) dan hidrometer menunjukkan bahwa tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung anorganik dengan plastisitas sangat tinggi (CH).

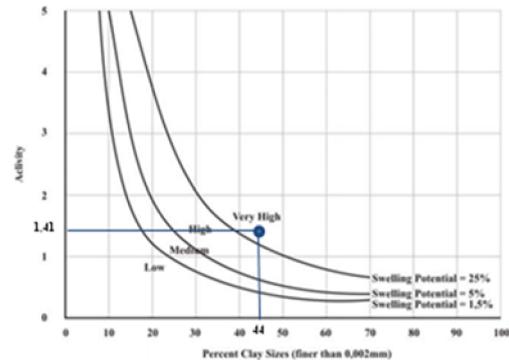
Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Dari hasil pengujian batas-batas *atterberg* dan analisa gradasi butiran tanah, berikut adalah beberapa metode untuk

menentukan potensi mengembang pada tanah lempung ekspansif :

Tabel 4. Derajat ekspansifitas menurut PI

PI Tanah Asli (%)	PI (%)	Potensi Mengembang
47,81	0 - 15	Rendah
	10 - 35	Sedang
	20- 55	Tinggi
	> 35	Sangat tinggi



Gambar 9. Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang

Tabel 4. menunjukkan nilai indeks plastisitas 47,81%. Sedangkan pada Gambar 9. nilai aktivitas dapat dihitung sehingga didapatkan nilai aktivitas sebesar 1,41 dan persentase tanah ukuran 0,002 mm adalah 44%.

Dari 2 metode tersebut dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki potensi mengembang yang sangat tinggi.

Penentuan Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah + 10% Kapur

Pengujian yang dilakukan untuk memperoleh nilai kadar air dan berat isi kering tanah dengan stabilisasi 10% kapur adalah dengan menggunakan *California Bearing Ratio* (CBR). Sampel dengan nilai CBR terbesar akan diambil nilai kadar air (w) dan juga berat isi kering (d) untuk kemudian digunakan sebagai standar kepadatan membuat kolom-kolom DSM dalam *box* penelitian.

Besar nilai CBR, kadar air (w), dan juga berat isi kering (d) disajikan dalam Tabel 5. berikut:

Tabel 5. Perbandingan Nilai CBR Tanah Stabilisasi

No. Sampel	Kadar air (w) (%)	Berat Isi Kering (ρ_d) (gr/cm ³)	CBR Value (0.1") (%)
1	16.60	1.445	16.12
2	19.20	1.426	20.97
3	21.99	1.406	22.33
4	24.10	1.406	30.87
5	28.03	1.466	13.20

Nilai CBR paling besar berada pada kadar air 24,10%. Besarnya berat isi kering (ρ_d) 1,406 gr/cm³. Untuk selanjutnya nilai tersebut digunakan sebagai standarisasi kepadatan dalam mencetak kolom stabilisasi DSM dalam penelitian ini.

Hasil Uji Pembebanan

Pengujian pembebanan dilakukan terhadap benda uji berupa tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi menggunakan metode *Deep Soil Mix* (DSM) dengan campuran 10% kapur. Daya dukung tanah dalam penelitian ini dibagi menjadi 2, yaitu daya dukung batas (q_u) dan daya dukung pada penurunan yang sama (q_{us}) yang terjadi pada penurunan 5,25 mm.

Variasi Jarak antar Kolom

Pembebanan benda uji dengan variasi jarak antar kolom menunjukkan besarnya nilai daya dukung pada penurunan yang sama (q_{us}). Hasilnya dapat dilihat pada tabel 6. berikut:

Tabel 6. q_{us} akibat variasi jarak antar kolom

Jenis Tanah	Df	L	q_{us}
	cm	cm	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	6,56
		3	16,68
	10	3,75	15,52
		4,5	9,56
Tanah Asli + Kolom DSM 10% Kapur		3	19,24
	15	3,75	17,94
		4,5	12,74
		3	19,92
	20	3,75	19,16
		4,5	15,32

Sedangkan untuk nilai daya dukung batas (q_u) dapat dilihat pada tabel 7. berikut:

Tabel 7. q_u akibat variasi jarak antar kolom

Jenis Tanah	L	Df	q_u
	cm	cm	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	7,04
		3	17,2
	10	3,75	15,7
		4,5	12,26
Tanah Asli + Kolom DSM 10% Kapur		3	19,24
	15	3,75	18,24
		4,5	15,3
		3	19,96
	20	3,75	19,54
		4,5	18,28

Variasi Panjang Kolom

Nilai daya dukung pada penurunan yang sama (q_{us}) yang dapat dilihat pada tabel 8. berikut:

Tabel 8. q_{us} akibat variasi panjang kolom

Jenis Tanah	Df	L	q_{us}
	cm	cm	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	6,56
		10	16,68
	3	15	19,24
		20	19,92
Tanah Asli + Kolom DSM 10% Kapur		10	15,52
	3,75	15	17,94
		20	19,16
		10	9,56
	4,5	15	12,74
		20	15,32

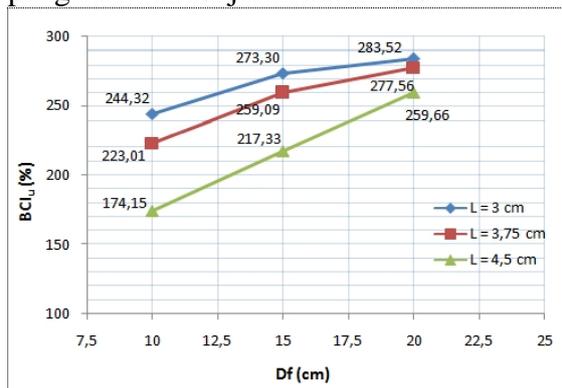
Sedangkan untuk nilai daya dukung batas (q_u) dapat dilihat pada tabel 9. berikut:
Tabel 9. q_u akibat variasi panjang kolom

Jenis Tanah	L	Df	q_u
	cm	cm	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	7,04
		3	17,2
	10	3,75	19,24
		4,5	19,96
Tanah Asli + Kolom DSM 10% Kapur		3	15,7
	15	3,75	18,24
		4,5	19,54
		3	12,26
	20	3,75	15,3
		4,5	18,28

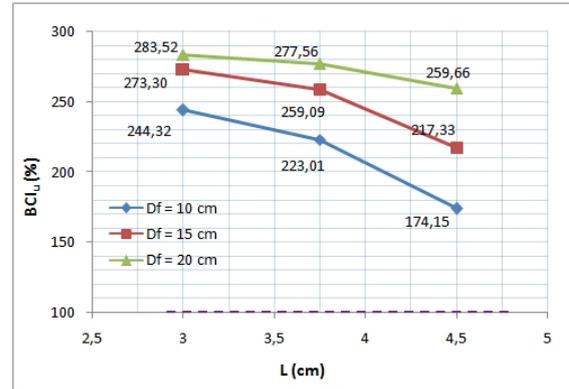
Analisis Peningkatan Daya Dukung Tanah Berdasarkan BCI_u

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan nilai daya dukung batas (q_u) yang terjadi akibat adanya stabilisasi dengan kolom DSM yang diberi variasi jarak antar kolom dan panjang kolom.

BCI_u beserta hubungan hasil uji pembebanan dari semua sampel secara keseluruhan disajikan pada Gambar 10. untuk peninjauan pengaruh variasi panjang kolom dan Gambar 11. untuk peninjauan pengaruh variasi jarak antar kolom.



Gambar 10. Grafik Peningkatan q_u terhadap Pengaruh Panjang (Df) Berdasarkan BCI_u



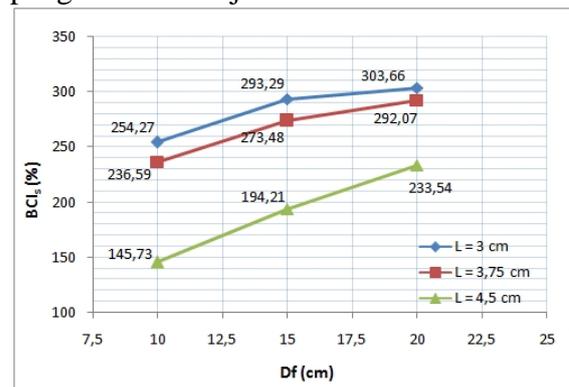
Gambar 11. Grafik Peningkatan q_u terhadap Pengaruh Jarak (L) Berdasarkan BCI_u

Nilai BCI_u yang terbesar terjadi saat variasi jarak antar kolom 3 cm dan panjang kolom 20 cm yaitu sebesar 283,52%.

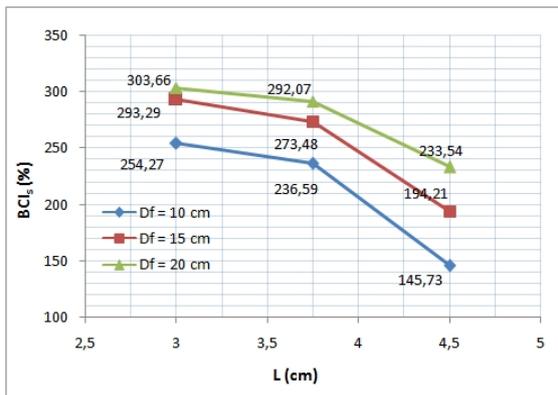
Analisis Peningkatan Daya Dukung Tanah Berdasarkan BCI_s

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan nilai daya dukung saat penurunan yang sama (q_{us}).

BCI_s beserta hubungan hasil uji pembebanan dari semua sampel secara keseluruhan disajikan pada Gambar 12. untuk peninjauan pengaruh variasi panjang kolom dan Gambar 13. untuk peninjauan pengaruh variasi jarak antar kolom.



Gambar 12. Grafik Peningkatan q_{us} terhadap Pengaruh Panjang (Df) Berdasarkan BCI_s



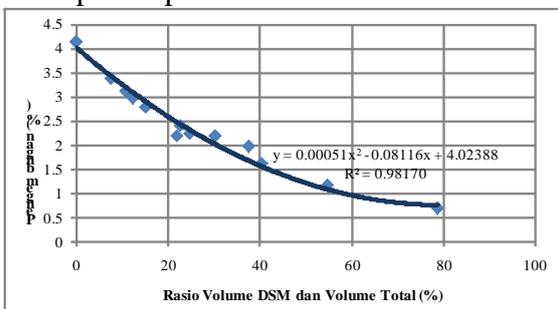
Gambar 13. Grafik Peningkatan q_{us} terhadap Pengaruh Jarak (L) Berdasarkan BCI_s

Nilai BCI_s yang terbesar terjadi saat variasi jarak antar kolom 3 cm dan panjang kolom 20 cm yaitu sebesar 303,66%.

Dengan demikian berdasarkan analisa BCI_u dan BCI_s dapat disimpulkan bahwa panjang kolom yang mampu memberikan nilai daya dukung paling maksimum adalah sebesar 20 cm dan jarak antar kolom sebesar 3 cm untuk DSM 10% kapur dengan konfigurasi *Single Square* diameter 3 cm.

Pemeriksaan Potensi Mengembang (*Swelling*)

Uji pengembangan (*swelling*) ini dilakukan dengan menggunakan kadar air optimum (OMC) dengan menambahkan variasi jumlah kolom DSM dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh persentase tanah yang distabilisasi dengan kapur terhadap nilai *swelling*. Hasil uji *swelling* ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Persentase Stabilisasi terhadap Nilai *Swelling* (Firdaus, 2016)

Dari hasil perhitungan volume tanah yang distabilisasi, kolom DSM dengan panjang 20 cm dan jarak 3 cm memberikan nilai *swelling* yang paling kecil yaitu

sebesar 0,796% dan menurun sebesar 80,75% dari tanah sebelum distabilisasi.

Madhyannapu dan Puppala (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa toleransi besar potensi mengembang tanah yang diizinkan adalah sebesar 12 mm (0,5 inch) untuk struktur *flexible pavement* dan 18 mm (0,7 inch) untuk struktur *rigid pavement*. Jika dikorelasikan dengan nilai *swelling* pada penelitian ini, maka persentase *swelling* yang diizinkan untuk *flexible pavement* adalah sebesar 0,8% dengan anggapan kedalaman tanah lempung ekspansif di lokasi penelitian ini sebesar 1,5 m. Dengan menganggap 0,8% sebagai batas maksimum yang diizinkan untuk *flexible pavement* mengembang, maka konfigurasi model DSM yang memenuhi batas maksimum persentase mengembang adalah konfigurasi jarak (L) = 3 cm dan kedalaman kolom (D_f) = 20 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil pada penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi jarak dan panjang kolom tipe *Single Square* diameter 3 cm berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah (q_u) terhadap tanah tanpa stabilisasi.
2. Jarak dan panjang kolom DSM yang memberikan nilai daya dukung maksimum berdasarkan analisis terhadap peningkatan daya dukung (BCI) terjadi pada jarak (L)=1D (3 cm) dan panjang kolom (D_f)=4B (20 cm). Sedangkan berdasarkan analisis terhadap *swelling*, jarak dan panjang kolom DSM yang memenuhi batas izin adalah pada jarak (L)=1D (3 cm) dan panjang kolom (D_f)=4B (20 cm) dengan nilai *swelling* terkecil sebesar 0,796%.
3. Stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan metode *Deep Soil Mix* dengan bahan aditif 10% kapur dapat menurunkan nilai pengembangan (*swelling*) tanah.

SARAN

Dari analisis dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian tentang stabilisasi tanah metode *Deep Soil Mix* lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Perlu dilakukan variasi waktu *curing* benda uji untuk mendapatkan waktu yang diperlukan tanah untuk mendapatkan nilai daya dukung optimum.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan kadar air saat kondisi basah untuk tanah tanpa stabilisasi agar diperoleh data yang lebih mendekati kondisi di lapangan.
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan bahan aditif yang lebih bervariasi dengan perilaku pemodelan benda uji yang sama agar dapat dibandingkan nilai daya dukung tanah yang didapatkan.
4. Perlu dilakukan penambahan variasi jarak dan panjang kolom untuk mengetahui sejauh mana pengaruhnya terhadap daya dukung tanah.
5. Dalam uji pembebanan, lapis permukaan benda uji sebaiknya ditimbun tanah dengan kepadatan tertentu untuk lebih mendekati kondisi di lapangan.
6. Dalam analisis data, perhitungan secara teoritis terhadap hasil pengujian perlu dilakukan sebagai pembanding dan kontrol data hasil penelitian
7. Perlu digunakan alat yang mampu mengebor sekaligus mencampur tanah dengan bahan stabilisator *in situ* agar diperoleh hasil yang mendekati kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 6424:2008. Cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

- Bouassida, M & Porbaha, A. 2004. Ultimate Bearing Capacity of Soft Clays reinforced by a Group of Columns-Application to a Deep Mixing Technique. *Soil and Foundations*.44.(3):91-101
- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan Johan K Hainim Jakarta : Erlangga
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amterdam: Esevier Scientific.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Firdaus, Adelina M. 2016. Pengaruh Kadar Air dan Persentase Stabilisasi dengan 10% Kapur terhadap Kekuatan Tanah Ekspansif. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ingels, O.G. and Metcalf, J. B. 1972. *Soil Stabilization Principle and Practice*. Melbourne: Butterworths
- Kosche, M. 2004. *A Laboratory Model Study on The Transition Zone and The Boundary layer Around Lime-Cement Columns in Kaolin Clay*. Linkoping : Swedish Deep Stabilization Research Center
- Kurniawan, I. D. 2015. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang *Deep Soil Mix* (DSM) 15% *Fly Ash* Diameter 3 cm Berpola *Panels* Terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif di Bojonegoro. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

- Madhyannapu, Raja.S and Puppala, Anand J.2014.Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*140.(04014051):1-15
- Muntohar, Agus Setyo. 2009. Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban Penurunan dengan Perkuatan Kolom Kapur di Laboratorium. *Dinamika Teknik Sipil*. Akreditasi BAN DIKTI No. 110/DIKTI/Kep/2009. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Seed, H.B., Woodward R.J, & Lundgren R.1962. Prediction of Swelling Potensial for Compacted Clays. *Journal ASCE. Soil Mechanics and Foundations Div.*,Vol.88
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Jogjakarta: Kanisius
- Sukirman, S. 1999.*Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Warsiti. 2009. Meningkatkan CBR dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah dan Kapur. *Jurnal Wahana Teknik Sipil*. 14 (1):38-45