

**PENGARUH VARIASI JARAK DAN PANJANG KOLOM STABILISASI
TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN KAPUR METODE *DEEP
SOIL MIXING* TIPE *PANELS* BERDIAMETER 4,5 CM TERHADAP
NILAI DAYA DUKUNG TANAH**

**NASKAH TERPUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AHMAD ISMAIL
NIM. 125060100111027**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

PENGARUH VARIASI JARAK DAN PANJANG KOLOM STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN KAPUR METODE *DEEP SOIL MIXING* TIPE *PANELS* BERDIAMETER 4,5 CM TERHADAP NILAI DAYA DUKUNG TANAH

Ahmad Ismail, Suroso, Yulvi Zaika

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167, Malang, 65145, Indonesia
Email: ismail.sipil12@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif, memiliki potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Selain itu tanah lempung ekspansif memiliki permasalahan terhadap daya dukungnya yang sangat rendah ketika sebagian besar ruang porinya terisi oleh air. Hal ini, dapat menimbulkan kerusakan bangunan yang berada di atas tanah tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini akan difokuskan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi terhadap nilai daya dukung dan persentase *swelling* tanah lempung ekspansif. Proses stabilisasi tanah lempung ekspansif tersebut menggunakan kadar kapur 10% dengan metode *deep soil mixing* (DSM). Adapun hasil stabilisasi tanah ekspansif dengan kolom DSM 10% kapur terbukti dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Jarak dan panjang kolom yang memberi peningkatan nilai daya dukung (q_u) paling maksimum yaitu jarak antar kolom terkecil (L) 4,5 cm dan kedalaman kolom terbesar (D_f) 20 cm dengan persentase stabilisasi sebesar 82,6%. Daya dukung paling maksimum tersebut sebesar 20,02 kg/cm² atau meningkat 184,38% dari tanah sebelum distabilisasi. Berdasarkan nilai daya dukung (q_u), variasi jarak antar kolom (L) = 5,6 cm dan kedalaman kolom (D_f) = 20 cm lebih efisien untuk digunakan sebagai konfigurasi kolom DSM. Jika dilihat dari pengaruh variasi terhadap nilai pengembangan tanah, konfigurasi jarak (L) = 4,5 cm dan kedalaman kolom (D_f) = 20 cm lebih menentukan karena konfigurasi tersebut yang memenuhi persentase mengembang yang diizinkan yaitu kurang dari 0,8%.

Kata kunci : lempung ekspansif, stabilisasi tanah, kapur, *deep soil mixing*, daya dukung

ABSTRACT

Expansive clay, has a high potential for development of shrinkage in case changes in water content. In addition expansive clay has a problem against bearing capacity is very low when most of the pore space occupied by water. Therefore, this research will be focused to determine the effect of variation and long distance stabilization of the column soil bearing capacity and the percentage of swelling clay expansive. Expansive clay stabilization process using lime content 10% with deep soil mixing (DSM). The results of expansive soil stabilization with DSM 10% lime columns proved to increase the value of the soil bearing capacity. Distance and long columns provide increased carrying capacity (q_u) is the maximum possible distance between the columns. The smallest (L) 4.5 cm and depth of the largest column (D_f) of 20 cm in the percentage of stabilization amounted to 82.6%. The most maximum carrying capacity of 20.02 kg / cm² or increased 184.38% of the land prior to stabilization. Based on the carrying capacity (q_u), variations in the distance between the columns (L) = 5.6 cm and depth of field (D_f) = 20 cm more efficient for use as a column konfigurasi DSM. If seen of the effect of variations percentage of swelling, length configuration (L) = 4.5 cm and the depth of field (D_f) = 20 cm more crucial because of the configuration of the meet expanding the permitted percentage of less than 0.8%.

Keywords: expansive clays, soil stabilization, lime, deep soil mixing, soil bearing capacity

PENDAHULUAN

Kerusakan terhadap suatu bangunan yang disebabkan oleh perilaku tanah merupakan hal yang kerap terjadi di Indonesia. Salah satu penyebab adalah adanya perilaku kembang dan susut tanah yang tinggi. Tanah yang memiliki perilaku kembang susut yang tinggi disebut lempung ekspansif. Tanah di daerah Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur adalah salah satu tempat yang jenis tanahnya lempung ekspansif. Tanah lempung ekspansif, memiliki potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Selain itu tanah lempung ekspansif memiliki permasalahan terhadap daya dukungnya yang sangat rendah ketika sebagian besar ruang porinya terisi oleh air. Hal ini, dapat menimbulkan kerusakan bangunan yang berada di atas tanah tersebut seperti jalan bergelombang, jalan retak, turunnya pondasi, dan sebagainya. Sehingga perlu dilakukan stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut dan mereduksi nilai pengembangan.

Stabilisasi tanah umumnya berkaitan dengan perbaikan sifat-sifat tanah dan juga untuk menambah kekuatan tanah. Dengan dilakukannya stabilisasi diharapkan dapat mereduksi plastisitas, mempertinggi kemudahan dikerjakan, dan mengurangi sifat mengembang. Berbagai macam bahan perantara stabilisasi telah digunakan dalam peningkatan kekuatan tanah diantaranya adalah kapur (*lime*).

Warsiti (2009) berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanis campuran tanah lempung dengan kadar kapur 0%, 5%, 8%, 10%, 12% dan lama pemeraman 3 hari, dihasilkan kadar kapur 10% merupakan kadar paling baik untuk stabilisasi. Kadar campuran tersebut, dapat meningkatkan nilai CBR keadaan *unsoaked* sampai pada persentase 10% dari 11,8% menjadi

22,1% dan nilai CBR *soaked* dari 2,45% menjadi 7,6%. Sedangkan untuk nilai *swelling* tanah lempung, dengan bertambahnya persentase kadar kapur maka nilai *swelling* semakin kecil.

Stabilisasi tanah memiliki beberapa metode pencampuran yang sudah dikenal, diantaranya yaitu pencampuran pada tanah dalam (*deep soil mixing*) yang dikenal dengan metode DSM. Stabilisasi tanah dengan *deep soil mixing* dilakukan untuk ketebalan tanah yang akan diperbaiki lebih dari 1,5 m. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Muntohar (2009) mengenai *deep soil mixing* (DSM) dengan kolom stabilisasi kapur berdiameter 5 cm dan panjang 20 cm pada tanah lempung di daerah Bantul dapat meningkatkan kekuatan tanah dari 0,23 kN menjadi 5,2 kN baik pada arah radial maupun vertikal. Hakim (2015) menyatakan stabilisasi dengan metode *deep soil mixing* tipe *panels* berdiameter 2 cm menggunakan bahan aditif 15% *fly ash* dengan variasi jarak dan panjang kolom dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Namun variasi jarak dengan metode DSM memberikan pengaruh lebih besar terhadap peningkatan daya dukung. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai daya dukung tanah maksimum 1040 kN/m² yang meningkat 173,648%, nilai ini terletak pada kolom dengan jarak terkecil (L) = 2 cm dengan panjang kolom terbesar (D_f) = 15 cm.

Berdasarkan referensi dan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan, maka perlu adanya upaya untuk mengembangkan penelitian mengenai metode *deep soil mixing* (DSM) dengan bahan stabilisasi lain berupa penambahan campuran kapur. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. Tanah di daerah tersebut termasuk jenis tanah lempung ekspansif

dalam karena rata-rata kedalaman tanahnya antara 1 – 3 m, oleh karena itu *deep soil mixing* merupakan metode stabilisasi yang tepat. Pemilihan kapur sebagai bahan *aditif* dikarenakan bahan ini memiliki kemampuan untuk mereduksi sifat plastis dan kembang tanah. Keberadaan kapur sebagai bahan *aditif* yang mudah didapat menjadi pertimbangan dalam penelitian ini.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom tipe *panels* diameter 4,5 cm, pada metode *deep soil mixing* (DSM) yang telah distabilisasi dengan campuran kapur 10% terhadap nilai daya dukung (q_u) tanah.
2. Untuk mengetahui variasi jarak dan panjang kolom yang memiliki nilai daya dukung maksimum (q_u) pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan kadar campuran kapur 10%.
3. Mengetahui perilaku dan besar nilai persentase mengembang tanah lempung ekspansif akibat stabilisasi menggunakan campuran kapur 10% dengan metode *deep soil mixing* tipe *panels* diameter 4,5 cm.
4. Mengetahui variasi jarak dan panjang kolom yang lebih efisien untuk digunakan sebagai konfigurasi stabilisasi kolom DSM tipe *panels*, berdasarkan peningkatan nilai daya dukung dan nilai pengembangan.

METODE PENELITIAN

Sampel yang akan dipergunakan dalam penelitian ini yaitu tanah lempung ekspansif dari Kabupaten Bojonegoro dan kapur dari toko bangunan di Malang.

Sebelum sampel tanah tersebut diuji pembebanan, tanah dijemur atau dioven hingga sampel tanah cukup kering. Kemudian diayak lolos

saringan no. 4 dan dilanjutkan mencampur tanah tersebut dengan kadar air sebesar 27,91%. Setelah proses tersebut selesai kemudian dilanjutkan dengan mencetak tanah ke dalam kotak berukuran (30x30x30) cm dengan kepadatan $\rho_d = 1,28 \text{ gr/cm}^3$. Kemudian dilanjutkan proses instalasi kolom DSM stabilisasi 10% kapur dengan kepadatan $\rho_d = 1,406 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air sebesar 24,10%. Pada proses instalasi kolom DSM ini, dilakukan variasi jarak antar kolom (L) = 1D, 1,25D, 1,5D dan variasi kedalaman kolom (D_f) = 2B, 3B, dan 4B. D merupakan diameter kolom 4,5 cm sedangkan B adalah lebar plat beban yaitu 5 cm. Setelah pemodelan sampel uji dilakukan, sampel uji dieramkan (*curing*) selama 3 hari.

Data yang telah dicatat dari hasil pembacaan uji pembebanan, kemudian diolah dan dianalisa berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Identifikasi tanah lempung ekspansif di Kabupaten Bojonegoro didasarkan dari hasil analisa uji sifat fisik tanah tersebut. Dari uji sifat fisik tanah (*physical properties*) diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Sifat Fisik Tanah

Jenis Percobaan	Satuan	Nilai
Specific Gravity (Gs)		2.556
Berat Volume	gr/cm^3	1.656
Batas Cair (LL)	%	79.11
Batas Plastis (PL)	%	31.3
Batas Susut (SL)	%	13.79
Indeks Plastisitas (PI)	%	47.81
Fraksi Lempung (C)	%	44

Dari hasil uji analisa saringan dan hydrometer menunjukkan bahwa sampel uji memiliki persentase lolos saringan no.200 sebesar 97,03% dan menurut klasifikasi USCS termasuk tanah berbutir halus. Apabila digambarkan dalam bagan plastisitas,

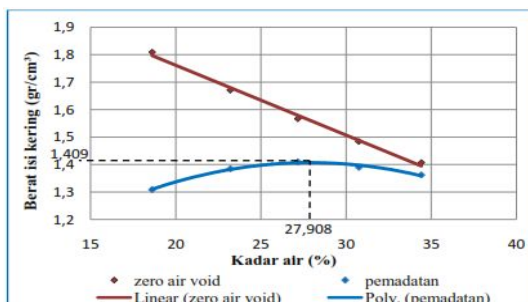
tanah tersebut masuk dalam klasifikasi CH (lempung anorganik dengan plastisitas sangat tinggi).

Tabel 2. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Metode Klasifikasi	
1. Chen, 1967	
PI = 47.81%	SI = 46,9%
Potensi mengembang sangat tinggi	
2. Activity Method (A)	
Skempton 1953	A = PI/(C - 10)
PI = 47.81%	C = 44%
A = 1.406, tanah tersebut termasuk aktif	

Penentuan Kadar Air Optimum

Kadar air optimum atau biasa disebut OMC, diperlukan untuk pembuatan benda uji terhadap setiap pemodelan tanah di dalam *box*.



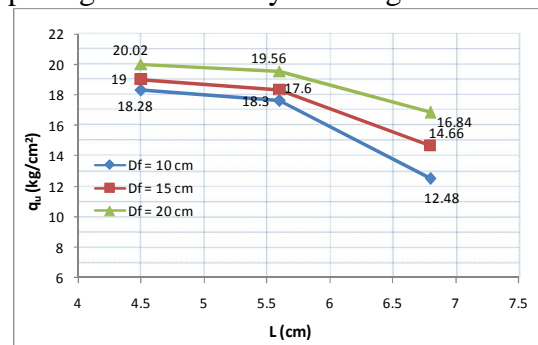
Gambar 1. Grafik Hasil Pemdatan Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 1. Didapatkan kadar air optimum sebesar 27,908% dan berat isi kering maksimum 1,409 gr/cm³. Namun dalam pelaksanaannya kepadatan tersebut sulit untuk diterapkan dalam box. Adapun dalam penelitian ini, pemodelan tanah asli dipadatkan dengan $d = 1,28 \text{ gr/cm}^3$ kadar air 27,908%. Sedangkan penentuan nilai kadar air dan berat isi kering tanah stabilisasi kapur 10%, didasarkan dari hasil pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) yang memiliki nilai CBR paling tinggi. Berdasarkan hasil pengujian dengan variasi kepadatan dan kadar air, didapatkan nilai CBR paling besar pada

kadar air 24,10% dan berat isi kering maksimum 1,406 gr/cm³. Sehingga nilai tersebut digunakan sebagai standarisasi kepadatan dalam mencentak kolom DSM stabilisasi tersebut.

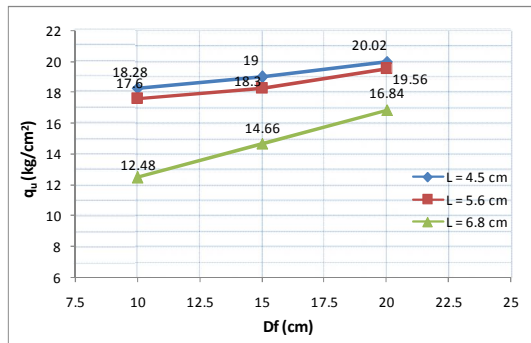
Analisa Daya Dukung Batas

Pada penelitian ini, metode analisis daya dukung yang digunakan adalah metode eksperimen yang diperoleh langsung dari data hasil uji pembebanan. Analisis daya dukung dilakukan pada masing-masing variasi jarak antar kolom dan panjang kolom. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui variasi manakah yang paling berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah.



Gambar 2. Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak antar Kolom

Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa nilai q_u tanah asli adalah 7,04 kg/cm². Setelah tanah distabilisasi dengan kolom DSM, nilai q_u terus mengalami peningkatan seiring dengan rapatnya jarak antar kolom (L). Dari grafik yang disajikan pada gambar tersebut, rata-rata peningkatan daya dukung secara signifikan terjadi pada perubahan jarak (L) 6,8 cm ke 5,6 cm. Peningkatan daya dukung juga terjadi pada perubahan variasi jarak 5,6 cm ke 4,5 cm, namun peningkatannya lebih kecil dari variasi sebelumnya.

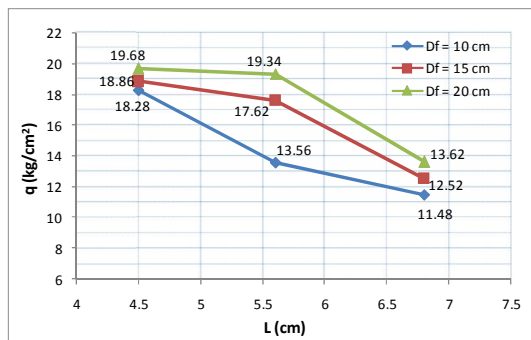


Gambar 3. Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Kedalaman Kolom

Berdasarkan Gambar 3. setelah tanah distabilisasi dengan kolom DSM, nilai q_u terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kedalaman kolom (D_f). Peningkatan nilai daya dukung pada variasi kedalaman tidak berpengaruh secara signifikan. Hal tersebut dibuktikan dari kecilnya perubahan nilai daya dukung terhadap perubahan kedalaman kolom DSM.

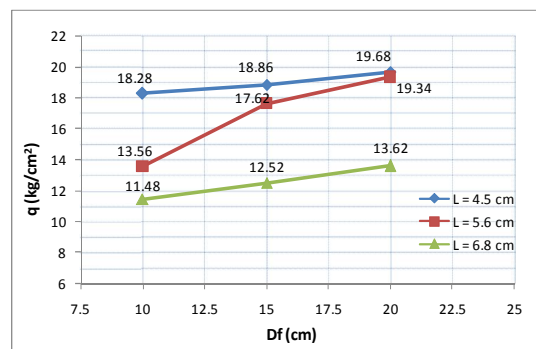
Analisa Daya Dukung Tanah pada Penurunan Sama

Berdasarkan dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada benda uji model akan diperoleh nilai pembacaan daya dukung dan penurunan (*settlement*). Berikut ini, akan dianalisa besarnya nilai daya dukung tanah (q) pada penurunan yang sama yaitu pada penurunan 7,25 mm pada semua variasi jarak dan kedalaman kolom DSM.



Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan Tanah pada Penurunan yang Sama terhadap Variasi Jarak antar Kolom

Dari Gambar 4. dapat dilihat bahwa besarnya peningkatan nilai daya dukung tanah (q) berbanding lurus dengan semakin rapatnya jarak antar kolom. Pada penurunan yang sama, pada kedalaman kolom yang sama (D_f) 10 cm nilai daya dukung mengalami peningkatan yang signifikan seiring rapatnya jarak antar kolom. Sama halnya dengan D_f 10 cm, D_f 15 cm dan D_f 20 cm juga mengalami peningkatan. Namun untuk kedalaman kolom (D_f) 15 cm dan 20 cm, peningkatan nilai q pada variasi jarak 5,6 cm ke 4,5 tidak terlalu signifikan dibandingkan variasi jarak 6,8 cm ke jarak 5,6 cm. Hal ini menunjukkan bahwa faktor jarak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya dukung tanah.



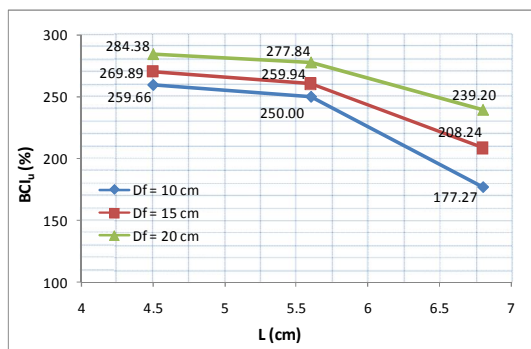
Gambar 5. Grafik Hubungan Tegangan Tanah pada Penurunan yang Sama terhadap Variasi Kedalaman Kolom

Berdasarkan Gambar 5. dapat dilihat bahwa besarnya peningkatan nilai daya dukung tanah (q) berbanding lurus dengan semakin dalamnya kolom. Pada penurunan yang sama, pada jarak antar kolom yang sama (L) 6,8 cm nilai daya dukung mengalami peningkatan seiring semakin dalamnya kolom stabilisasi. Sama halnya dengan $L = 6,8$ cm, $L = 5,6$ cm dan $L = 4,5$ cm juga mengalami peningkatan nilai q seiring bertambah dalamnya kolom. Pada variasi jarak antar kolom $L = 6,8$ cm dan 4,5 cm, nilai daya dukung tanah mengalami peningkatan yang kurang signifikan seiring bertambahnya kedalaman kolom. Namun untuk variasi jarak antar kolom

5,6 cm, nilai q mengalami peningkatan yang lebih besar.

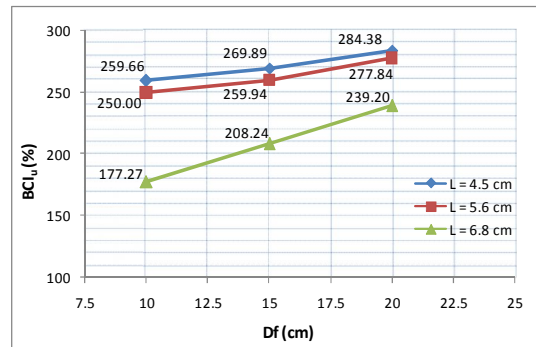
Analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI_u)

Analisis BCI_u adalah suatu analisis perbandingan antara daya dukung batas saat tanah distabilisasi kolom DSM 10% kapur dengan tanah tanpa distabilisasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan nilai daya dukung yang terjadi akibat adanya stabilisasi dengan kolom DSM.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom terhadap Nilai BCI_u

Berdasarkan pada Gambar 6. peningkatan BCI_u secara signifikan terjadi pada perubahan jarak (L) 6,8 cm ke 5,6 cm. Peningkatan BCI_u juga terjadi pada perubahan variasi jarak 5,6 cm ke 4,5 cm, namun peningkatannya lebih kecil dari variasi sebelumnya. Peningkatan nilai BCI_u paling besar terjadi pada kedalaman kolom (D_f) 20 cm untuk variasi jarak antar kolom 4,5 cm yaitu meningkat sebesar 184,38%. Sedangkan pada variasi jarak antar kolom 6,8 cm, BCI_u meningkat 139,20% terhadap BCI_u tanah asli. Dari hasil tersebut, variasi jarak 5,6 cm ($L = 1,25D$) lebih efisien terhadap peningkatan nilai daya dukung. Karena peningkatan BCI_u variasi jarak (L) 5,6 cm terhadap 4,5 cm, rata-rata peningkatannya kurang dari 10%.

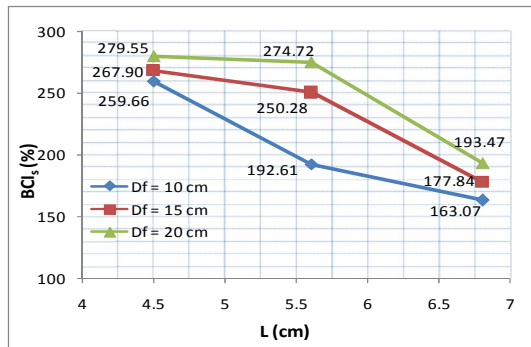


Gambar 7. Grafik Pengaruh Variasi Kedalaman Kolom terhadap Nilai BCI_u

Dari grafik yang disajikan pada Gambar 7. peningkatan BCI_u yang paling besar terdapat pada kedalaman kolom 20 cm sebesar 184,38%. Pada $L = 4,5$ cm variasi kedalaman kolom 15 cm peningkatan sebesar 169,89%, sedangkan untuk kedalaman kolom 10 cm sebesar 159,66%. Dari data tersebut, menunjukkan rata-rata peningkatan nilai BCI_u pada variasi kedalaman $D_f = 20$ cm lebih besar dibandingkan $D_f = 10$ cm ke $D_f = 15$ cm. Oleh karena itu, kedalaman kolom DSM yang paling besar (D_f) 20 cm lebih optimal untuk digunakan dalam stabilisasi tanah ekspansif.

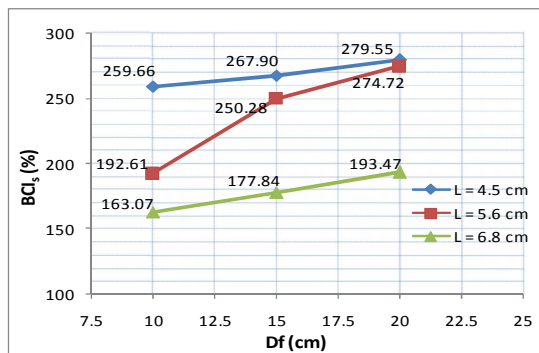
Analisis *Bearing Capacity Improvement Settlement* (BCI_s)

Analisis *Bearing Capacity Improvement Settlement* (BCI_s) adalah suatu analisis perbandingan antara daya dukung saat tanah distabilisasi kolom DSM 10% kapur pada penurunan yang sama (7,25 mm) dengan tanah tanpa distabilisasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan nilai BCI_s atau peningkatan daya dukung pada penurunan yang ditinjau.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom terhadap Nilai BCI_s

Peningkatan nilai BCI_s paling besar terjadi pada kedalaman kolom (D_f) 20 cm untuk variasi jarak antar kolom 4,5 cm yaitu meningkat sebesar 179,55%. Sedangkan pada variasi jarak antar kolom 6,8 cm, BCI_s meningkat 93,47% terhadap BCI_s tanah asli.



Gambar 9. Grafik Pengaruh Variasi Kedalaman Kolom terhadap Nilai BCI_s

Berdasarkan Gambar 9. peningkatan BCI_s yang paling besar terdapat pada kedalaman kolom 20 cm sebesar 179,55%. Pada $L = 4,5$ cm variasi kedalaman kolom 15 cm peningkatan sebesar 167,90%, sedangkan untuk kedalaman kolom 10 cm sebesar 159,66%.

Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom dan Kedalaman Kolom

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak antar kolom dan panjang kolom stabilisasi tanah ekspansif dengan metode *deep soil mixing* (DSM) terhadap nilai daya

dukung tanah. Secara umum, stabilisasi tanah ekspansif dengan kolom DSM 10% kapur terbukti dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan nilai kepadatan tanah akibat reaksi dari bahan stabilisasi tersebut. Selain itu, dengan memberikan variasi jarak antar kolom dan panjang kolom, peningkatan nilai daya dukung tanah memberikan hasil yang berbeda-beda. Hal ini terjadi karena dari variasi yang diberikan akan menghasilkan besarnya persentase tanah yang distabilisasi.

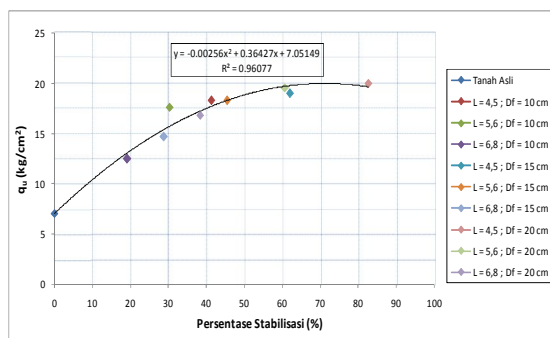
Berdasarkan hasil analisa data yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa variasi jarak antar kolom 5,6 cm ($L = 1,25D$) lebih efisien untuk digunakan sebagai jarak stabilisasi kolom DSM tipe *panels*. Variasi tersebut dipilih karena, peningkatan BCI_u pada jarak $L = 5,6$ cm terhadap $L = 4,5$ cm tidak terlalu besar. Sedangkan untuk variasi kedalaman kolom DSM, kedalaman kolom 20 cm ($D_f = 4B$) lebih optimal untuk digunakan sebagai stabilisasi tanah ekspansif.

Analisa Nilai Daya Dukung Tanah terhadap Persentase Stabilisasi

Penentuan persentase tanah yang terstabilisasi atau rasio stabilisasi dalam penelitian ini ada dua metode. Metode pertama dianalisa berdasarkan luasan yang berada di bawah plat beban. Persentase tanah yang distabilisasi dengan kolom DSM dihitung pada area tanah yang menerima uji beban atau seluas *bearing plate*, yaitu 25 cm^2 dengan kedalaman 20 cm. Metode kedua dianalisa berdasarkan persamaan hubungan jarak dan konfigurasi kolom DSM. Metode ini, digunakan untuk menganalisa pengaruh perbaikan terhadap potensi mengembang (*swell potential*) atau yang tidak berkaitan dengan analisa daya dukung tanah.

Tabel 3. Nilai Daya Dukung terhadap Persentase Stabilisasi Tanah

Jenis Benda Uji	Variabel	Persentase Stabilisasi	q_u
		%	kg/cm ²
Tanah Asli	-	0	7.04
Tanah Stabilisasi	L = 4,5 ; Df = 10 cm	41.3	18.28
	L = 5,6 ; Df = 10 cm	30.32	17.6
	L = 6,8 ; Df = 10 cm	19.2	12.48
	L = 4,5 ; Df = 15 cm	61.95	19
	L = 5,6 ; Df = 15 cm	45.48	18.3
	L = 6,8 ; Df = 15 cm	28.8	14.66
	L = 4,5 ; Df = 20 cm	82.6	20.02
	L = 5,6 ; Df = 20 cm	60.64	19.56
	L = 6,8 ; Df = 20 cm	38.4	16.84

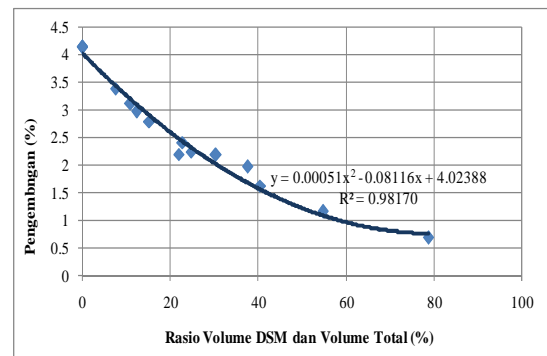


Gambar 10. Perbandingan Nilai q_u terhadap Persentase Stabilisasi Tanah

Dari Gambar 10. didapat suatu persamaan pengaruh persentase stabilisasi terhadap nilai daya dukung tanah yaitu $y = -0.00256x^2 + 0.36427x + 7.05149$. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa nilai daya dukung mengalami peningkatan dengan dilakukannya perbaikan atau stabilisasi. Berdasarkan persamaan yang tertera pada grafik tersebut, didapatkan nilai persentase stabilisasi yang optimum sebesar 71,15% dengan nilai daya dukung (q_u) 20,01 kg/cm². Sehingga dapat diketahui bahwa persentase stabilisasi tanah yang lebih dari 71,15% akan mengalami peningkatan nilai daya dukung (q_u) yang kecil atau tidak signifikan. Hal tersebut dapat dilihat pada persentase stabilisasi 82,6% menghasilkan nilai q_u sebesar 20,02 kg/cm².

Pemeriksaan Pengembangan (Swelling)

Pemeriksaan pengembangan tanah dianalisa berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan terlebih dahulu oleh Firdaus (2016). Dalam penelitiannya pemodelan benda uji disesuaikan dengan kondisi di dalam box seperti jenis tanah, kepadatan, dan rasio perbaikan juga disesuaikan. Sehingga berdasarkan persamaan dari Gambar 11. nilai *swelling* pada benda uji yang dimodelkan di dalam box dapat pula diketahui.



Gambar 11. Nilai Pengembangan Tanah terhadap Persentase Stabilisasi

Tabel 4. Nilai Pengembangan Tanah terhadap Persentase Stabilisasi

Jenis Benda Uji (Variabel)	Persentase Stabilisasi	<i>Swelling</i>	Penurunan <i>Swelling</i>
	%	%	%
Tanah Asli	0	4.133	0
L = 4,5 ; Df = 10 cm	39.27	1.623	60.73
L = 5,6 ; Df = 10 cm	31.56	1.971	52.32
L = 6,8 ; Df = 10 cm	25.99	2.259	45.34
L = 4,5 ; Df = 15 cm	58.90	1.013	75.50
L = 5,6 ; Df = 15 cm	47.33	1.325	67.94
L = 6,8 ; Df = 15 cm	38.98	1.635	60.44
L = 4,5 ; Df = 20 cm	78.54	0.796	80.75
L = 5,6 ; Df = 20 cm	63.11	0.933	77.42
L = 6,8 ; Df = 20 cm	51.97	1.183	71.37

Dari Tabel 4. tanah yang distabilisasi kolom DSM dengan panjang 20 cm dan jarak antar kolom 4,5 cm memiliki nilai *swelling* yang paling kecil yaitu 0,796% dan menurun sebesar 80,75% dari tanah sebelum distabilisasi. Dari hasil tersebut, stabilisasi kolom DSM menghasilkan penurunan nilai *swelling* yang cukup

tinggi. Menurut Madhyannapu dan Puppala (2014), toleransi besar pengembangan tanah yang diizinkan untuk *flexible pavement* adalah sebesar 0,8%. Adapun dari analisa uji pengembangan terhadap pemodelan di laboratorium yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi model DSM yang yang memenuhi batas maksimum persentase mengembang adalah konfigurasi jarak (L) = 4,5 cm dan kedalaman kolom (D_f) = 20 cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi jarak dan panjang berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Apabila jarak antar kolom diperkecil dan semakin dalam panjang kolom nilai daya dukung semakin meningkat. Variasi jarak antar kolom memberikan pengaruh yang lebih signifikan.
2. Jarak dan panjang kolom yang memberi peningkatan nilai daya dukung (q_u) paling maksimum yaitu jarak antar kolom terkecil 4,5 cm dan kedalaman kolom terbesar 20 cm. Daya dukung paling maksimum tersebut sebesar 20,02 kg/cm² atau meningkat 184,38% dari tanah sebelum distabilisasi.
3. Persentase mengembang tanah dapat turun secara signifikan seiring dengan bertambahnya persentase stabilisasi. Tanah yang distabilisasi kolom DSM dengan panjang 20 cm dan jarak antar kolom 4,5 cm memiliki nilai *swelling* yang paling kecil yaitu 0,796% dan menurun sebesar 80,75% dari tanah sebelum distabilisasi.
4. Berdasarkan nilai daya dukung (q_u), variasi jarak antar kolom (L) = 5,6 cm dan kedalaman kolom (D_f) = 20

cm lebih efisien untuk digunakan sebagai konfigurasi kolom DSM. Jika dilihat dari pengaruh variasi terhadap nilai pengembangan tanah, konfigurasi jarak (L) = 4,5 cm dan kedalaman kolom (D_f) = 20 cm lebih menentukan karena konfigurasi tersebut yang memenuhi persentase mengembang yang diizinkan yaitu kurang dari 0,8%.

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, untuk mencapai hasil yang lebih optimal serta mendalam terhadap nilai daya dukung dan perilaku mengembang tanah. Perlu dilakukan variasi percobaan lain sehingga dapat melengkapi hasil dari penelitian yang sudah dilakukan. Saran-saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Perlu dilakukan variasi kadar air dan kepadatan tanah dasar pada jarak dan kedalaman kolom DSM yang sama, sehingga pengaruh perulangan siklus basah-kering terhadap nilai daya dukung kolom stabilisasi dapat diketahui.
2. Perlu dilakukan variasi lama waktu pemeraman (*curing*) benda uji pada jarak dan kedalaman kolom DSM yang sama, sehingga dapat diketahui waktu yang optimum bagi tanah untuk dapat bereaksi dengan kapur.
3. Perilaku mengembang tanah ekspansif sangat tergantung pada kondisi density dan kadar air awal, sehingga perlu dikembangkan perilakunya untuk kondisi kadar air awal dan density yang lain.
4. Dalam pencampuran bahan stabilisasi, perlu digunakan alat pengaduk khusus sehingga pencampuran dapat distandarisasi guna menghindari ketidakseragaman dalam perlakuan dan untuk mendapatkan hasil campuran yang lebih homogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshorie, A. A. 2015. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif di Bojonegoro dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Single Square Diameter 3 cm Terhadap Daya Dukung Tanah. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Barnes, G. E. 2000. *Soil Mechanics, Principles and Practice (Second Edition)*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Bouassida, M. dan Porbaha, A. (2004). Ultimate Bearing Capacity of Soft Clays Reinforced by a Group of Columns – Application to a Deep Mixing Technique. *Article in Soil and Foundations*. Tokyo: Japanese Geotechnical Society.
- Bowles, J. E. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils (Second Edition)*. New York: Mcgraw-Hill College.
- Chen, F. H. 1975. *Foundations on Expansive Soil*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Croce, P. dan Russo, G. 2003. Soil Water Characteristic Curves of Lime Stabilized Soils. Dalam Vermeer., Schweiger., Karstunen., & Cudny (Penyunting). *International Workshop on Geotechnics of Soft Soils – Theory and Practice*. Essen: VGE Verlag.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah, Jilid I*. Terjemahan Noor E. & Indrasurya, B. M. Jakarta: Erlangga.
- 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.
- Federal Highway Administration. 2000. *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications*. United State: Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Firdaus, A. M. 2016. Pengaruh Kadar Air dan Persentase Volume Perbaikan Tanah Ekspansif Menggunakan 10% Kapur dengan Metode DSM (Deep Soil Mixing). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hakim, A. L. 2015. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif di Bojonegoro dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Panels Diameter 2 cm Terhadap Daya Dukung Tanah. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hardiyati, S. 2003. Studi Potensi Mengembang dan Kekuatan Tanah Lempung Ekspansif Dengan dan Tanpa Kapur Akibat Siklus Berulang Basah-Kering. *Tesis*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Hardiyatmo, H. C. 2006. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Ingles, O. G. dan Metcalf, J. B. 1972. *Soil Stabilization Principles and Practice*. Melbourne: Butterworths Pty. Limited.
- 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.
- Madhyannapu, R. S. dan Puppala, A. J. 2014. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 140. American Society of Civil Engineers.

- Muntohar, A. S. 2010. Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban Penurunan Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom di Laboratorium. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. 10 (3):202-207. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Seed, H. B., Wood Ward, R. J. dan Lundgren, R. 1962. Prediction of Swelling Potensial for Compacted Clay. *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*. 88 (SM4):107-131. American Society of Civil Engineers.
- Skempton, A. W. 1953. The Colloidal "Activity" of Clays. *Proc. of The 3rd Internasional Conference of Soil Mechanics and Foundations Engineering*. 1 : 57-61. Zurich: Selected Papers on Soil Mechanics.
- Warsiti. 2009. Meningkatkan CBR dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah dan Kapur. *Jurnal Wahana Teknik Sipil*. 14 (1):38-45. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.