

**PERBAIKAN DAYA DUKUNG DAN PENGEMBANGAN TANAH  
EKSPANSIF METODE DSM TIPE *SINGLE SQUARE*  
DIAMETER 3,2 CM AKIBAT PENAMBAHAN KAPUR  
DENGAN VARIASI KEDALAMAN DAN JARAK**

**NASKAH PUBLIKASI  
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi  
persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**DEVINA NADIA ARAMITA  
NIM. 135060101111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2017**

**PERBAIKAN DAYA DUKUNG DAN PENGEMBANGAN TANAH EKSPANSIF  
METODE DSM TIPE *SINGLE SQUARE*  
DIAMETER 3,2 CM AKIBAT PENAMBAHAN KAPUR  
DENGAN VARIASI KEDALAMAN DAN JARAK**

Devina Nadia Aramita, Yulvi Zaika, Harimurti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan Mayjen Haryono 167, Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia  
Email : [dnaramita@gmail.com](mailto:dnaramita@gmail.com)

**ABSTRAK**

Tanah lempung ekspansif dapat mengakibatkan kerusakan struktur bangunan karena sifatnya yang mudah mengembang dan menyusut. Tanah lempung ekspansif akan mengembang karena proses penyerapan air kedalam rongga tanah, sedangkan tanah menyusut apabila tanah tersebut kering. Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung yang rendah sehingga dapat berdampak buruk pada struktur di atasnya, oleh karena itu diperlukan stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi pengembangan. Metode DSM digunakan dalam penelitian dengan variasi kedalaman dan jarak antar kolom tipe *single square* dengan 8% kapur. Hasil dari penelitian yang dilakukan, bahwa stabilisasi menggunakan kolom DSM dengan kapur 8% mampu meningkatkan nilai daya dukung tanah dan mengurangi nilai *swelling* tanah. Semakin kecil jarak antar kolom dan semakin dalam kedalaman kolom, maka nilai daya dukung yang dihasilkan akan lebih besar. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh reaksi kapur dengan tanah lempung ekspansif yang membuat tanah tersebut menjadi kaku. Jarak antar kolom (L) 1D = 3,2 cm dan kedalaman kolom (Df) 20 cm menghasilkan nilai daya dukung paling maksimum yaitu sebesar 36,40kg/cm<sup>2</sup> atau meningkat 180% dari tanah asli. Hasil pengembangan (*swelling*) yang paling kecil pada variasi kedalaman dan jarak yaitu sebesar 0,63% dengan persentase stabilisasi 82% pada variasi jarak antar kolom (L) 1D = 3,2 cm dan kedalaman kolom (Df) 20cm.

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

**ABSTRACT**

*Expansive clay soils can make damage the structure by swell and shrink. Expansive clay soil will swell when the existence of the process of water absorption into the void of soil, whereas the soil will shrink when the soil is dry. Soils have low bearing capacity so that it can be bad on structure upon it, therefore it is necessary for stabilization to improve bearing capacity and reduce swelling. DSM method used in this research with variations column depth and space variations by single square pattern with 8% of lime. The results of the research, that stabilization using DSM columns with 8% of lime was able to increase the bearing capacity and reduce swelling. The smaller the space between the columns and the more in depth of the column, the value of bearing capacity will increase. This is due to the presence of the influence of limestone reaction with expansive clay soil which makes the soil becomes stiff. Space between columns (L) 1D = 3,2 cm and depth of the column (Df) 20 cm produces maximum bearing capacity values with the results 36,40 kg/cm<sup>2</sup> or increased 180% of the untreated expansive soil. The results of swelling the least variation is 0,63% with 82% on the stabilization of the percentage variation of the distance between the columns (L) 1D = 3,2 cm and depth of the column (Df) 20 cm.*

**Keywords:** soil stabilization, expansive clay soils, *deep soil mixing*, bearing capacity, *swelling*

## PENDAHULUAN

Untuk membangun suatu konstruksi bangunan, tanah diperlukan sebagai komponen dasar untuk menopang konstruksi bangunan di atasnya. Maka tanah harus memiliki kualitas yang baik dan daya dukung yang tinggi. Penyebab kerusakan struktur bangunan dapat dikarenakan sifat tanah yang kurang baik. Salah satu contohnya yaitu tanah dengan sifat kembang susut tinggi. Sifat tanah tersebut dinamakan dengan tanah ekspansif. Tanah akan mengembang karena adanya proses penyerapan air kedalam rongga tanah sehingga mengakibatkan tanah menjadi jenuh dan akan menyusut saat tanah kering serta mengalami retak-retak. Hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan struktur bangunan seperti keretakan jalan, penurunan dan sebagainya.

Stabilisasi tanah merupakan salah satu upaya untuk memperbaiki atau merubah sifat-sifat tanah dan meningkatkan kekuatan tanah. Terdapat banyak upaya untuk memperbaiki sifat tanah, salah satu contohnya adalah stabilisasi bahan campuran (*additive*). Cara stabilisasi pada penelitian ini digunakan kapur (*lime*) sebagai bahan campuran/aditif pada tanah ekspansif. Upaya tersebut diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi kembang dan susut tanah ekspansif serta mengurangi plastisitas yang tinggi.

Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi tanah lempung ekspansif yang diambil dari Desa Jelu, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan metode *Deep Soil Mixing* tipe *single square* diameter 3,2 cm dengan penambahan kapur 8% terhadap daya dukung tanah dan pengembangan (*swelling*) dan dilakukan curing selama 3 hari. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk stabilisasi tanah ekspansif dengan metode *Deep Soil Mixing* dengan campuran bahan aditif berupa kapur.

## TUJUAN

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perubahan daya dukung dan pengembangan tanah tanpa stabilisasi dan 100% stabilisasi.
2. Untuk mengetahui perubahan daya dukung apabila tidak dilakukan stabilisasi 100% dengan menggunakan stabilisasi metode DSM tipe *single square* variasi kedalaman dan jarak kolom.
3. Untuk mengetahui perubahan pengembangan apabila tidak dilakukan stabilisasi 100% dengan stabilisasi

menggunakan metode DSM tipe *single square* dengan variasi kedalaman dan jarak kolom.

4. Untuk mengetahui kedalaman dan jarak kolom dengan tipe *single square* yang memberi daya dukung yang diizinkan di daerah Bojonegoro.
5. Untuk mengetahui kedalaman dan jarak kolom dengan tipe *single square* yang memberi pengembangan yang diizinkan di daerah Bojonegoro.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki ciri-ciri kembang dan susut yang besar. Tanah lempung ekspansif atau *swelling soil* ini sangat sensitif terhadap perubahan kadar air. Tanah akan mengembang ketika volume tanah bertambah dan nilai kohesi menurun akibat masuknya air ke dalam rongga tanah. Sedangkan tanah lempung ekspansif menyusut ketika kadar air dalam rongga tanah berkurang sehingga volume tanah berkurang.

### Identifikasi Lempung Ekspansif

Identifikasi lempung ekspansif secara tidak langsung dapat digunakan untuk mengetahui apakah sampel tanah tersebut berpotensi ekspansif atau tidak. Pengujiannya dapat dilakukan dengan uji ATL dan persentase kandungan lempung.

Tabel 1. Hubungan Potensial Mengembang dengan PI

Potensi Mengembang	Indeks Plastisitas (IP)
<i>Low</i>	0 - 15
<i>Medium</i>	10 - 35
<i>High</i>	20 - 35
<i>Very High</i>	>35

Tabel 2. Kriteria Tanah berdasarkan PI dan SI

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

Tabel 3. Klasifikasi Mengembang pada Atterberg Limit

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

## Stabilisasi Tanah Menggunakan Kapur

Stabilisasi tanah merupakan upaya memperbaiki tanah dengan meningkatkan kemampuan daya dukung tanah. Pemilihan kapur padam sebagai bahan aditif untuk stabilisasi karena kapur dapat membentuk suatu ikatan yang kuat dari reaksi dengan tanah lempung. Hasil dari reaksi kapur dan mineral lempung dapat meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi kerentanan ptensi mengembang.

Manfaat stabilisasi tanah menurut National Lime Assocoation, 1982 menggunakan kapur dengan merubah sifat fisik tanah lempung menjadi lebih baik, yaitu :

1. Nilai indeks plastisitas (PI) turun tajam, sehingga batas cair (LL) berkurang dan dan batas plastis (PL) akan meningkat.
2. Kapur membuat tanah basah menjadi cepat kering sehingga mempercepat pelaksanaan pematatan.
3. Sifat tanah lempung yang mudah mengembang dan menyusut akan berkurang secara drastis.
4. Nilai CBR dan regangan akan meningkat.

### Metode *Deep Soil Mixing* (DSM)

DSM merupakan suatu teknologi stabilisasi tanah untuk meningkatkan kualitas tanah di lapangan pada suatu kedalaman yang ditentukan. Stabilisasi DSM merupakan stabilisasi dengan menambahkan bahan aditif. Pelaksanaan DSM dapat dilakukan dengan menginstalasi kolom dengan menggunakan konfigurasi yang ditentukan seperti konfigurasi *single square* dan dengan melakukan stabilisasi menyeluruh. Pencampuran bahan aditif kapur dapat dilakukan dengan cara mekanis yaitu pencampuran kering (*dry mixing*), pencampurn basah (*slurry mixing*) dan grouting.

### Daya Dukung

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) merupakan kekuatan tanah menahan beban yang bekerja diatasnya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) merupakan tekanan maksimum yang diterima tanah akibat beban yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan. Daya dukung batas dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$q_u = P_u/A$$

dimana :  $q_u$  = daya dukung ultimate (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_u$  = beban ultimate (kg)

$A$  = luas bidang yang menerima beban (cm<sup>2</sup>)

## Swelling

Pengembangan (*swell*) adalah peristiwa pengembangan dimana volume tanah lempung ekspansif bertambah akibat masuknya air ke rongga tanah. Nilai *swelling* dapat dihitung dengan persamaan rumus :

$$SP = \frac{H_i - H_f}{H_i} \times 100\%$$

dimana :  $H_i$  : tinggi sampel tanah

$H_f$  : tinggi akhir sampel tanah

## METODE PENELITIAN

### DSM (*Deep Soil Mixing*)

Penelitian ini dilakukan dalam box berbahan fiberglass ukuran (30x30x30) cm. Sampel tanah asli dicetak dalam box dengan volume (30x30x20) cm dan kadar air optimum 21,8% dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) 1,17 gr/cm<sup>3</sup>. sedangkan untuk pemodelan kolom DSM stabilisasi 8% kapur menggunakan kadar air 21,8% dengan berat isi kering 1,43 gr/cm<sup>3</sup>. Pada lapisan bawah digunakan pasir dengan berat 3,15 kg setinggi 3 cm, sedangkan untuk lapisan atas tanah lempung digunakan pasir dengan berat 1,05 kg setinggi 1 cm. Lapisan pasir pada lapisan atas dan lapisan bawah tanah lempung ekspansif digunakan sebagai drainase tanah lempung agar lebih mendekati pada kondisi di lapangan.

Sampel tanah dibuat dengan variasi kedalaman dan jarak antar kolom. Pada variasi kedalaman kolom, digunakan 0,5 Df = 10 cm, 0,75 Df = 15 cm, 1Df = 20 cm. Sedangkan untuk variasi jarak antar kolom, yaitu 1D = 3,2 cm, 1,25D = 4 cm dan 1,5D = 4,8 cm. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian yaitu tipe *Single Square* dengan diameter 3,2 cm. Setelah pembuatan benda uji, selanjutnya dilakukan perawatan (*curing*) selama 3 hari. Lalu benda uji dilanjutkan dengan pengujian beban.

### Swelling

Penelitian ini dilakukan pada mold berdiameter 15 cm dengan tinggi 11 cm. Sampel tanah asli dicetak dan dipadatkan dalam mold dan dibagi menjadi tiga lapisan. Setelah itu dilakukan pembuatan kolom konfigurasi menggunakan pipa berdiameter 3,2 cm; 4 cm; 4,8 cm yang ditancapkan pada sampel tanah. Setelah ditancapkan, tanah dalam pipa diambil dan digantikan dengan campuran tanah kapur 8% dan dipadatkan. Selanjutnya, sampel dilakukan perawatan (*curing*) selama 3 hari lalu dilakukan uji *swelling*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

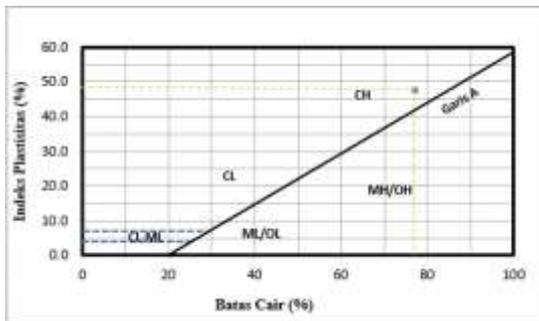
### Identifikasi Tanah Asli

Hasil pengujian karakteristik tanah Desa Jelu, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. Karakteristik Tanah Asli

No.	Jenis Percobaan	Satuan	Hasil
1.	Kadar Air	%	44,96
2.	Berat Jenis	-	2,524
3.	Berat Volume	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
4.	Batas-Batas <i>Atterberg</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batas Cair (LL)</li> <li>• Batas Plastis (PL)</li> <li>• Indeks Plastisitas (PI)</li> <li>• Batas Susut (SL)</li> </ul>	%	77,057 29,84 47,217 8,30
5.	Fraksi Lempung	%	43

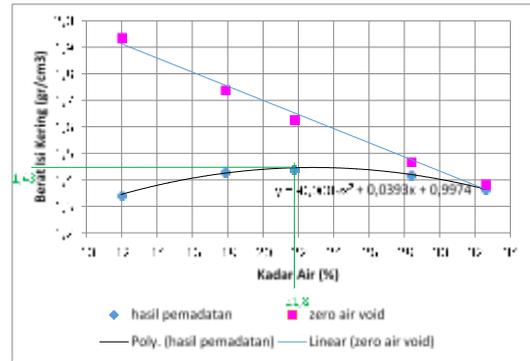
Dengan melakukan identifikasi gradasi tanah dengan pengujian analisa saringan dan pengujian hidrometer, diperoleh hasil gradasi tanah lebih dari 50% lolos saringan diameter 0,075 mm (No. 200) yaitu 96,24 %. Selanjutnya hasil LL dan PI diplotkan pada bagan plastisitas dan dihasilkan bahwa sampel tanah tersebut merupakan tanah lempung anorganik dengan plastisitas sangat tinggi (CH).



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

### Penentuan Kadar Air Optimum

Dalam pemodelan yang dilakukan dalam box, memerlukan kadar air optimum yang disebut OMC.



Gambar 2. Hubungan Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah

Berdasarkan gambar diatas, didapatkan pada hasil pengujian standart yang dilakukan adalah kadar air optimum sebesar 21,83% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,43 gr/cm<sup>3</sup>.

### Hasil Pengujian Pembebanan

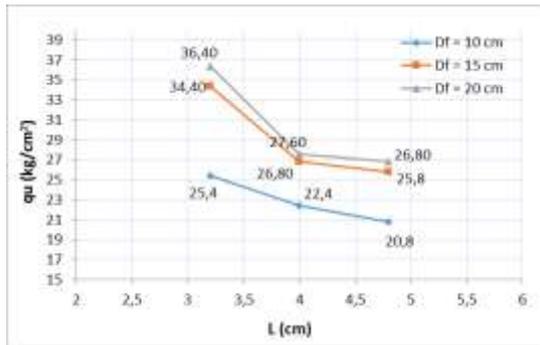
Pada penelitian ini dilakukan pengujian pembebanan dengan dua metode. Kedua metode ini bertujuan untuk mendapatkan nilai daya dukung. Metode yang pertama yaitu dengan keruntuhan langsung yang didapatkan dari grafik ( $q_u$ ) dan metode lainnya adalah metode *tangen intersection method* ( $qu_s$ ).

### Daya Dukung Tanah dengan Variasi Jarak antar Kolom (L)

Hasil pengujian daya dukung tanah dengan variasi jarak antar kolom adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak (L)

Jenis Sampel	Kedalaman Kolom (Df) Cm	Jarak Kolom (L) cm	Pu kg	qu kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli	20	-	325	13
Tanah Asli + kadar kapur 8%	20	3,2	630	25,4
		4	560	22,4
		4,8	520	20,8
Tanah Asli + Kolom DSM kadar kapur 8%	15	3,2	860	34,40
		4	670	26,80
		4,8	645	25,8
	20	3,2	910	36,40
		4	690	27,60
		4,8	670	26,80



Gambar 3. Hubungan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak (L)

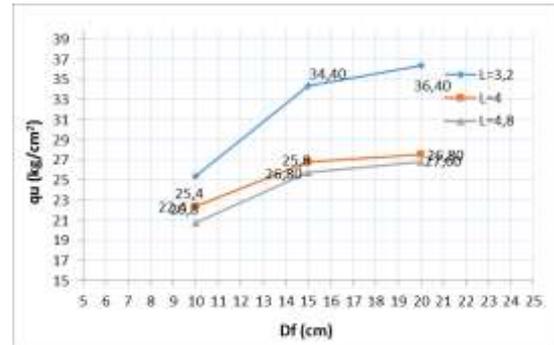
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa setelah tanah dilakukan stabilisasi dengan kolom DSM 8% kapur, nilai  $q_u$  terus mengalami peningkatan seiring dengan rapatnya jarak antar kolom (L) pada kedalaman kolom (Df) yang sama. Daya dukung tanah mengalami peningkatan seiring dengan semakin rapatnya jarak antar kolom (L). Nilai daya dukung paling tinggi pada kedalaman yang sama terdapat pada variasi jarak antar kolom (L) 3,2 cm (1D). Pada kedalaman kolom (Df) 20 cm, nilai daya dukung pada jarak (L) 3,2 cm dan 4 cm mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa variasi jarak yang semakin rapat dapat memberikan peningkatan nilai daya dukung yang cukup besar pada kedalaman (Df) 20 cm. Hal tersebut terjadi karena, luasan tanah terstabilisasi yang menerima plat beban menjadi lebih besar. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh kepadatan tanah di sekitar kolom yang meningkat, sehingga nilai daya dukungnya menjadi lebih besar.

### Daya Dukung Tanah dengan Variasi Kedalaman Kolom (Df)

Hasil pengujian daya dukung tanah dengan variasi kedalaman kolom adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Nilai Daya Dukung dengan Variasi Kedalaman (Df)

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L) cm	Kedalaman Kolom (Df) Cm	Pu kg	qu kg/cm²
Tanah Asli	-	20	325	13
Tanah Asli + kadar kapur 8%	-	20	1060	42,4
Tanah Asli + Kolom DSM kadar kapur 8%	3,2	10	630	25,4
		15	860	34,4
		20	910	36,4
	4	10	560	22,4
		15	670	26,8
		20	690	27,6
4,8	10	520	20,8	
	20	645	25,8	



Gambar 4. Hubungan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Kedalaman (Df)

Dengan membandingkan nilai  $q_u$ , nilai  $q_u$  yang paling besar terjadi pada kolom yang paling dalam, yaitu pada kedalaman 20 cm. Pada jarak antar kolom (L) yang sama, besarnya nilai daya dukung meningkat seiring dengan kedalaman kolom (Df) yang semakin dalam. Pada jarak (L) 3,2 cm, nilai daya dukung meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya kedalaman kolom. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kedalaman kolom memberikan peningkatan nilai daya dukung yang cukup besar pada jarak (L) 3,2 cm.

### Daya Dukung Tanah menggunakan Tangen Intersection Method

Berikut ini merupakan nilai daya dukung dengan menggunakan *Tangen Intersection* (TIM).

Tabel 7. Nilai Daya Dukung menggunakan TIM

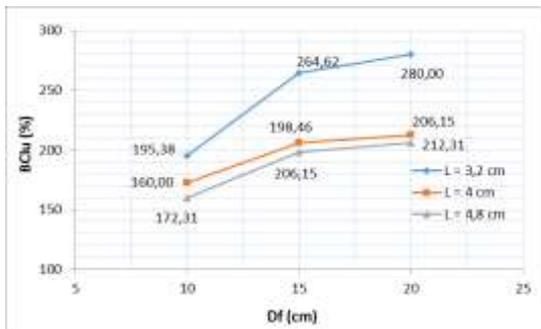
Jenis Benda Uji	Variabel		$q_u$ (kg)	$q_{us}$ (kg/cm²)
	Jarak Kolom (cm)	Panjang Kolom (cm)		
Tanah Asli	-	-	13	5,4
Tanah Asli + Stabilisasi 100%	-	-	42,4	22,8
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	1D = 3,2	10	25,4	10,4
		15	34,4	17,1
		20	36,4	22
	1,25D = 4	10	22,4	9,2
		15	26,8	12,5
		20	27,6	19,8
1,5D = 4,8	10	20,8	8,2	
	20	26,8	19,4	

### Analisis BC<sub>Iu</sub> pada Nilai Daya Dukung

Analisis BC<sub>Iu</sub> atau *Bearing Capacity Improvement* adalah perbandingan daya dukung tanah yang telah distabilisasi dengan daya dukung tanah asli.

Tabel 8. Nilai BCIu pada Variasi Kedalaman (Df)

L	Df	qu	qu tanah sebelum distabilisasi	BCI <sub>u</sub>
cm	cm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	(%)
3,2	10	25,40	13	195,38
	15	34,40	13	264,62
	20	36,40	13	280,00
4	10	22,40	13	172,31
	15	26,80	13	206,15
	20	27,60	13	212,31
4,8	10	20,80	13	160,00
	15	25,80	13	198,46
	20	26,80	13	206,15

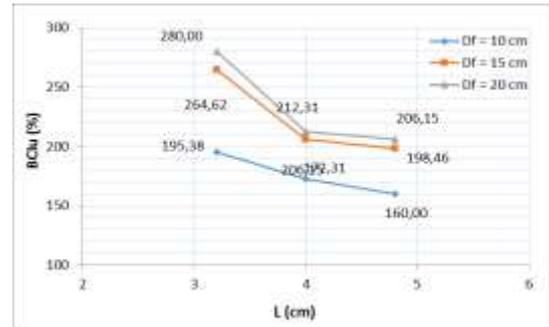


Gambar 5. Hubungan Variasi Kedalaman Kolom (Df) dengan BCIu

Berdasarkan Gambar 5, variasi kedalaman kolom pada perbaikan tanah ekspansif dengan stabilisasi DSM dapat mengakibatkan meningkatnya nilai daya dukung tanah. Hal ini dapat dilihat dari grafik bahwa semakin dalam kolom DSM maka akan meningkat juga nilai BCIu. Dari grafik yang ditampilkan, didapatkan hasil BCIu yang paling besar terdapat pada kedalaman kolom (Df) 20 cm. Dari data tersebut, maka diperoleh peningkatan nilai BCIu pada variasi kedalaman (Df) 20 cm lebih besar dibandingkan kedalaman (Df) 10 cm dan kedalaman (Df) 15 cm. Maka dari itu, kedalaman kolom (Df) DSM yang paling dalam yaitu 20 cm lebih optimal untuk digunakan dalam stabilisasi tanah ekspansif.

Tabel 9. Nilai BCIu pada Variasi Jarak (L)

Df	L	qu	qu tanah sebelum distabilisasi	BCI <sub>u</sub>
cm	cm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	(%)
10	3,2	25,40	13	195,38
	4	22,40	13	172,31
	4,8	20,80	13	160,00
15	3,2	34,40	13	264,62
	4	26,80	13	206,15
	4,8	25,80	13	198,46
20	3,2	36,40	13	280,00
	4	27,60	13	212,31
	4,8	26,80	13	206,15



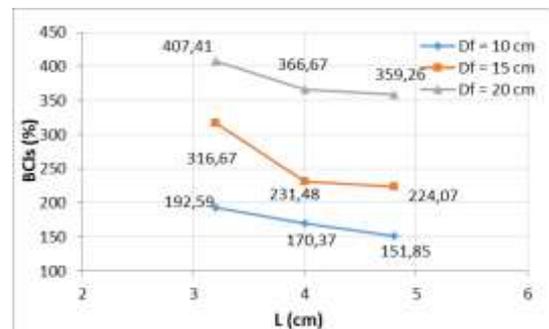
Gambar 6. Hubungan Variasi Jarak (L) dengan BCIu

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui bahwa semakin rapat jarak antar kolom maka akan meningkatkan nilai BCIu. Peningkatan nilai BCIu yang paling besar terjadi pada kedalaman kolom (Df) 20 cm untuk variasi jarak antar kolom (L) 3,2 cm yaitu meningkat sebesar 180%. Sedangkan pada variasi jarak antar kolom (L) 4,8 cm, nilai BCIu meningkat 106,15%.

Dari hasil tersebut, pengaruh variasi jarak antar kolom terhadap kedalaman kolom yang paling efisien yaitu pada jarak (L) 3,2 cm.

### Analisis (BCIs) pada Daya Dukung TIM (qu<sub>s</sub>) dengan Variasi Jarak (L)

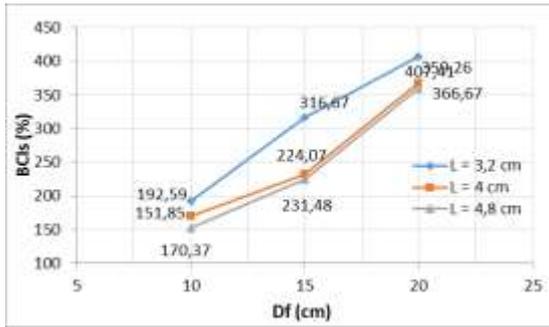
Berikut merupakan hasil analisis BCIs pada variasi jarak kolom.



Gambar 7. Hubungan Variasi Jarak (L) dengan BCIs

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai BCIs tertinggi berada pada variasi jarak 1D = 3,2 cm.

Berikut merupakan hasil analisis BCIs pada variasi kedalaman kolom (Df).



Gambar 8. Hubungan Variasi Kedalaman (Df) dengan BCI

Dari gambar diatas dapat dilihat kenaikan nilai BCI pada perbaikan. Pada jarak 4,8 cm ke 4 cm pada kedalaman kolom 20 cm mengalami kenaikan nilai BCI, namun pada jarak 4 cm ke 3,2 cm pada kedalaman kolom 20 cm mengalami kenaikan lebih besar dibanding jarak 4,8 cm ke 4 cm pada kedalaman kolom 20 cm. Nilai BCI tertinggi berada pada variasi kedalaman 1Df = 20 cm.

### Daya Dukung Izin

Nilai daya dukung izin pada konfigurasi harus melebihi nilai tegangan yang terjadi. Dengan besarnya nilai daya dukung izin pada konfigurasi, maka daya dukung tersebut aman untuk diaplikasikan di lapangan.

Tabel 10. Nilai Daya Dukung Izin

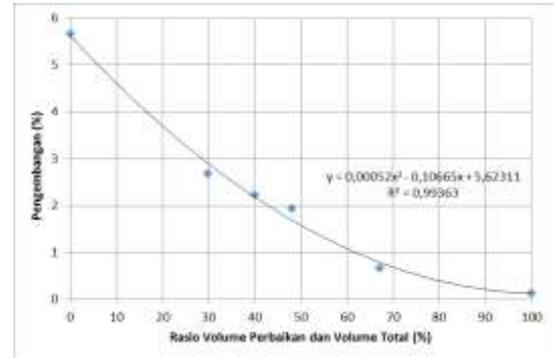
Jenis Sampel	Kedalaman Kolom (Df) Cm	Jarak Kolom (L) cm	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	q (qu/FS) kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli + Kolom DSM kadar kapur 8%	10	3,2	25,40	18,14
		4	22,40	16,00
		4,8	20,80	14,86
	15	3,2	34,40	24,57
		4	26,80	19,14
		4,8	25,80	18,43
20	3,2	36,40	26,00	
	4	27,60	19,71	
	4,8	26,80	19,14	

Tabel 11. Nilai Daya Dukung Izin dengan TIM

Jenis Benda Uji	Variabel		qu (kg/cm <sup>2</sup> )	qu.1 (kg/cm <sup>2</sup> )
	Jarak Kolom (cm)	Panjang Kolom (cm)		
Tanah Asli	-	-	5,4	3,86
Tanah Asli + Stabilisasi 100%	1D = 3,2	10	10,4	7,43
		15	17,1	12,21
		20	22	15,71
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	1,25D = 4	10	9,2	6,57
		15	12,5	8,93
		20	19,8	14,14
1,5D = 4,8	10	8,2	5,86	
	15	12,1	8,64	
	20	19,4	13,86	

### Swelling

Pengembangan atau *swelling* adalah perbandingan perubahan tinggi sampel selama perendaman dengan tinggi sampel awal yang dinyatakan dalam persen (%).



Gambar 9. Nilai Pengembangan Tanah terhadap Persentase Stabilisasi

Tabel 11. Nilai Pengembangan Tanah terhadap Persentase Stabilisasi

Benda Uji	Variabel	Persentase Perbaikan (Vi/V)	Pengembangan (Swelling)
		(%)	(%)
Tanah Asli		0	5,66
	L = 3,2 cm ; Df = 10 cm	41	2,12
	L = 4 cm ; Df = 10 cm	23	3,45
	L = 4,8 cm ; Df = 10 cm	16	4,05
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	L = 3,2 cm ; Df = 15 cm	62	1,01
	L = 4 cm ; Df = 15 cm	35	2,53
	L = 4,8 cm ; Df = 15 cm	24	3,36
	L = 3,2 cm ; Df = 20 cm	82	0,37
	L = 4 cm ; Df = 20 cm	46	1,82
	L = 4,8 cm ; Df = 20 cm	32	2,74
Stabilisasi 100%		100	0,14

Dari tabel diatas, tanah yang distabilisasi 100% memberikan nilai *swelling* yang paling kecil yaitu sebesar 0,14%. Dengan demikian, persentase perbaikan memberikan pengaruh paling besar terhadap penurunan nilai *swelling*.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan tentang perbaikan sifat tanah ekspansif di Desa Jelu, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro akibat penambahan kapur metode DSM tipe single square diameter 3,2 cm dengan variasi kedalaman dan jarak terhadap daya dukung dan nilai pengembangan tanah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan daya dukung dan pengembangan tanah tanpa dilakukan stabilisasi dan dilakukan stabilisasi 100% atau stabilisasi penuh sangat

signifikan. Tanah tanpa dilakukan stabilisasi memiliki daya dukung sebesar 13 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan tanah stabilisasi 100% memiliki daya dukung 42,4 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan *swelling* stabilisasi 100% memiliki nilai 0,14% sehingga dapat mereduksi 97,53% dari nilai *swelling* tanah asli.

2. Perubahan daya dukung terhadap tanah yang dilakukan stabilisasi menggunakan metode DSM tipe *single square* diameter 3,2 cm dengan tanah asli meningkat. Semakin rapat atau dekat jarak antar kolom DSM dan semakin dalam kedalaman kolom DSM, maka nilai daya dukung juga semakin meningkat.

3. Nilai pengembangan (*swelling*) berubah sesuai dengan rasio perbaikan tanah ekspansif. Semakin besar rasio yang dilakukan perbaikan menggunakan metode DSM tipe *single square* diameter 3,2 cm dengan variasi jarak dan kedalaman kolom, maka semakin kecil nilai pengembangannya.

4. Variasi jarak antar kolom dan kedalaman kolom DSM tipe *single square* diameter 3,2 cm memiliki daya dukung izin lebih besar dari tegangan yang terjadi.

5. Variasi jarak antar kolom dan kedalaman kolom dengan tipe *single square* yang memberikan nilai *swelling* izin adalah jarak (L) = 1D (3,2 cm) dan kedalaman kolom (Df) = 4B (20 cm) dengan nilai *swelling* terkecil sebesar 0,37%.

## Saran

Adapun saran-saran untuk mengoptimalkan hasil dan analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agar data yang dihasilkan dapat mendekati kondisi di lapangan, perlu dilakukan pemadatan lapisan pasir diatas dan dibawah tanah dasar.

2. Perlu dilakukan perkuatan terhadap box yang digunakan agar tidak mudah pecah.

3. Perlu digunakan alat pengaduk khusus untuk proses pencampuran agar didapatkan hasil yang lebih homogen dan dapat distandarisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

Altmeyer, W.T., 1955, "Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays", Civil Eng. 81, New York.

Astriyanto, Vicky D. 2016. Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom Deep Soil Mix Tipe Single Square Diameter 3 cm terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.

AUSTROAD. 1998. *Guide to Stabilization in*

*Roadworks*. Austroad Publication No. AP-60/98: Sydney.

AustStab. 2008. *Lime Stabilisation Practice. AustStab Technical Note No.1F*. Australian Stabilisation Industry Association. Chatswood,NSW

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. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Erlangga. Jakarta

Chen, F. H. 1975. *Foundations on Expansive Soil*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. 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.

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.1999. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, H.C.2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: PT Gadjah Mada University Press

Ingels, O.G. and Metcalf, J. B. 1972. *Soil Stabilization Principle and Practice*.

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.

Laras, Ario W. 2016. Pengaruh Penambahan Kapur dengan Lamanya Waktu Perawatan (Curing) terhadap Kekuatan dan Pengembangan (Swelling) Tanah Lempung Ekspansif. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.

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.
- Panguriseng, D. 2001. *Stabilisasi Tanah*. Makassar: Universitas 45 Makassar.
- Ranggaesa, Riota A. 2016. Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Kekuatan dan Pengembangan (Swelling) pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- 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. Melbourne: Butterworths
- Skempton, A.W., (1953), The Colloid Activity of Clays, *Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Conference of Soil Mechanics and Foundations Engineering London Vol. I* : pp 57-61.
- Terzaghi, K. 1943. "Theoretical Soil Mechanics". John Wiley dan Sons, New York
- Zaika, Y dan Rachmansyah, A. 2016. *Improvement of High Expansive Soils by Deep Soil Mixing Method in The Small Scale Laboratory Experiment*. Sixth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Bangkok, Thailand, Nov. 14-16, 2016. ISBN: 978-4-9905958-6-9 C3051