

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM *DEEP SOIL MIXING* (DSM)
BERPOLA *SINGLE SQUARE* DIAMETER 4,5 CM TERHADAP DAYA DUKUNG
TANAH EKSPANSIF**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AMALIA FATICHA
NIM. 125060100111052**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom *Deep Soil Mixing* (DSM) Berpola *Single Square* Diameter 4,5 cm Terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif

Amalia Faticha, Yulvi Zaika, Arif Rachmansyah
Jurusan teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: amalia.faticha@yahoo.com

ABSTRAK

Lempung ekspansif memiliki sifat yang tidak mendukung struktur di atasnya, yaitu daya dukung yang rendah dan kembang susut yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan stabilisasi untuk memperbaiki sifat-sifat lempung ekspansif. Dari hasil sifat fisik, tanah di bojonegoro termasuk lempung ekspansif karena memiliki potensial pengembangan tinggi. Dalam penelitian kali ini digunakan metode Deep Soil Mixing (DSM). DSM dilakukan dengan membuat kolom-kolom campuran tanah asli dan 10% kapur dengan pola tertentu. Pengujian dilakukan dalam boks berukuran (30.30.30) cm dengan tinggi sampel 20 cm. Dan dilakukan uji beban (load test) pada tanah asli dan tanah stabilisasi. Pada penelitian kali ini digunakan pola single square dengan diameter kolom 4,5 cm. Variasi jarak (1D, 1,25D, dan 1,5D) dan panjang kolom (2B, 3B, dan 4B) digunakan untuk mengetahui pengaruh dalam peningkatan daya dukung tanah. Dari hasil uji beban, tanah asli memiliki daya dukung batas (q_u) sebesar 7,04 kg/cm². Dari hasil pengujian, didapatkan hasil semakin rapat jarak kolom dan semakin panjang kolom DSM, daya dukung semakin meningkat. Berdasarkan analisis BCI (Bearing Capacity Improvement) daya dukung paling tinggi sebesar 20,02 kg/cm² meningkat 184% dari tanah asli yang berada pada jarak 1D dan panjang kolom 4B. Selain itu, semakin besar prosentase volume stabilisasi nilai swelling semakin menurun. Nilai swelling paling rendah sebesar 0,8% yang sebelumnya 4,13%.

Kata kunci: tanah ekspansif, daya dukung, jarak, panjang, swelling

ABSTRACT

Expansive clays have characteristic that not support the structure on it, that is low bearing capacity and the high swelling-potential. Therefore, needed stabilization to repair the characteristic of expansive clays. From the results of physical characteristic, soil characteristic in Bojonegoro classified expansive clays because it has a high swelling potential. In this research used Deep Soil Mixing (DSM) method. DSM was done by making columns of the original soil mix and 10% limestone with a certain arrange. Tests conducted in the box sized (30.30.30) cm with a height of samples 20 cm. Load test conducted on the original soil and stabilization soil. In this research used a single square arrangement with a diameter of column 4.5 cm. Variations of spacing (1D, 1,25D, and 1,5D) and the length of column (2B, 3B and 4B) was used to determine the effect of the increase in the bearing capacity of soil. From the results of the load test, the original soil have bearing capacity of limit (q_u) of 7.04 kg / cm². From the test results, the closer the results obtained within the column and the longer the column of DSM, the bearing capacity is increasing. Based on the analysis of BCI (Bearing Capacity Improvement) the higher bearing capacity of 20.02 kg / cm² increased by 184% from the original soil located at a spacing of 1D and 4B column length. Except it, the greater percentage of volume stabilization swelling value decreases. The swelling value was lower by 0.8% the previous 4.13%.

Key words: expansive soil, bearing capacity, distance, long, swelling

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki karakteristik tanah yang beranekaragam baik dari jenis, sifat, maupun perilakunya. Dan Tidak semua jenis tanah di Indonesia memiliki sifat yang mendukung konstruksi di atasnya. Salah satu jenis tanah yang memiliki karakteristik yang kurang baik karena nilai daya dukung yang rendah dan potensi pengembangan yang tinggi adalah tanah lempung ekspansif.

Tanah lempung mengandung mineral lempung *montmorillonite* yang memiliki luas permukaan yang besar sehingga mudah menyerap air. Hal ini menyebabkan lempung ekspansif sangat sensitif terhadap perubahan kadar air. Sehingga diperlukan upaya memperbaiki sifat lempung ekspansif yang tidak stabil sehingga lebih stabil dan dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah.

Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan cara mekanis ataupun dengan bahan kimia. Kapur adalah salah satu bahan kimia yang dapat mengurangi sifat plastis dan kembang pada tanah ekspansif. Warsiti (2009) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa prosentase 10% kapur dapat meningkatkan nilai CBR tanah.

Berdasarkan uji fisik, tanah di Kec. Ngasem, Kab.Bojonegoro termasuk lempung ekspansif. Dan rata-rata kedalaman tanah ekspansif (>1,5 m) sehingga digunakan metode stabilisasi tanah dalam. Dalam penelitian kali ini digunakan metode *Deep Soil Mixing* (DSM) dengan campuran 10% kapur. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom DSM berpola *single square* diameter 4,5 cm terhadap daya dukung tanah dan *swelling*.

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom tipe *single square* dengan diameter 4,5 cm

terhadap nilai daya dukung pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 10% kapur.

2. Untuk mengetahui jarak dan panjang kolom yang menghasilkan nilai daya dukung maksimum pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 10% kapur.
3. Untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan metode *Deep Soil Mixing* dengan bahan aditif 10% kapur terhadap nilai pengembangan (*swelling*) tanah.

TINJUAN PUSTAKA

Identifikasi Lempung Ekspansif

Identifikasi lempung ekspansif dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara langsung dan cara tidak langsung. Identifikasi tidak langsung dilakukan dengan uji laboratorium menggunakan nilai batas-batas Atterberg.

Tabel 1 Hubungan *swelling* dengan indeks plastis

PI (%)	SI (%)	Tingkat Pengembangan
< 12	< 15	Rendah
12 - 23	13 - 50	Sedang
23 - 32	30 - 40	Tingkat
> 32	> 40	Sangat Tinggi

Sumber : (Chen, Raman, 1967)

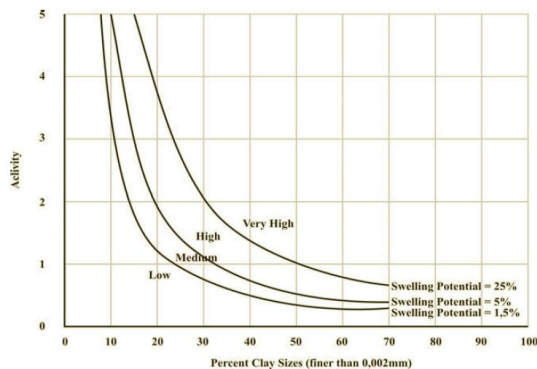
Skempton (1953), mendefinisikan aktivitas sebagai perbandingan antara indeks plastisitas dengan persen fraksi ukuran lempung (persen berat butiran < 0,002 mm), dan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$Activity(A) = \frac{PI}{c} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

PI: Indeks plastisitas

C: Persentase lempung lolos saringan 0,002mm



Gambar 1 Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed et al, 2003)

Daya Dukung Tanah

Menurut Hardiyatmo (2011), daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya.

Daya dukung ultimit (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$q_u = \frac{p_u}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

q_u =kapasitas dukung ultimit/batas (kN/m^2)

p_u = beban ultimit/beban batas (kN)

A = luas beban (m^2)

Terzaghi dengan sejumlah anggapannya menyatakan rumus daya dukung batas untuk pondasi dangkal sebagai berikut:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots\dots (3)$$

Dimana:

q_u = daya dukung ultimit (kN/m^2)

c =kohesi tanah dasar pondasi (kN/m^2)

B = lebar pondasi (m)

q = surcharge = γD (kN/m^2)

Φ = sudut geser dalam

N_c, N_q, N_γ adalah faktor daya dukung tanah yang bergantung kepada ϕ

Stabilisasi tanah lempung dengan kapur dapat meningkatkan kuat geser tanah.

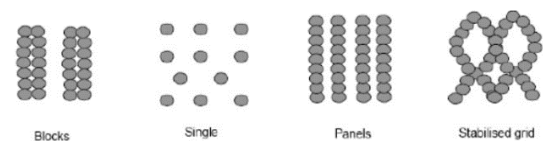
Stabilisasi Kimiawi dengan Kapur

Stabilisasi tanah dengan campuran kapur mampu meningkatkan kekuatan (*strength*) disebabkan oleh tiga reaksi yang terjadi, yaitu:

1. Reaksi flokulasi yaitu pengikatan mineral lempung akibat terjadinya pertukaran ion dari tanah Na^+ dan H^+ dengan ion Ca^{++} dari kapur.
2. Cementation (pengerasan)/reaksi pozzolan (*pozzolanic reaction*) antara kalsium dari kapur dengan $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3$ dan FeO_3 dari tanah.
3. Reaksi penyerapan air (*hydration of soil*).

Stabilisasi Tanah dengan DSM (*Deep Soil Mixing*)

Prinsip dari metode DSM adalah untuk memperbaiki kekuatan tanah dengan menggunakan bahan pengikat. DSM adalah teknologi modifikasi tanah *in-situ* dimana pengikat basah atau kering disuntikkan ke dalam tanah dan dicampur secara *in-situ* dengan tanah lunak (lempung, gambut atau tanah organik) dengan cara mekanis atau dengan alat pencampuran berupa *rotary mixing tool* (Porbaha et al, 2005; EuroSoilStab, 2002).

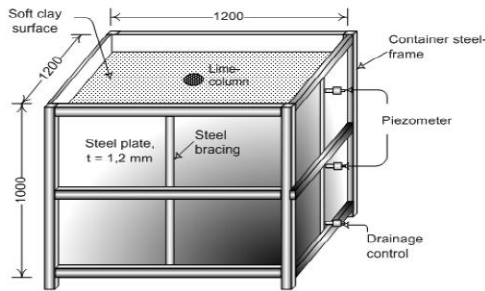


Gambar 2 Pola khas dari *Deep Soil Mixing*

Terdapat dua macam metode dalam memasukkan bahan pengikat ke dalam tanah yaitu metode basah (*wet mixing*) dan metode kering (*dry mixing*).

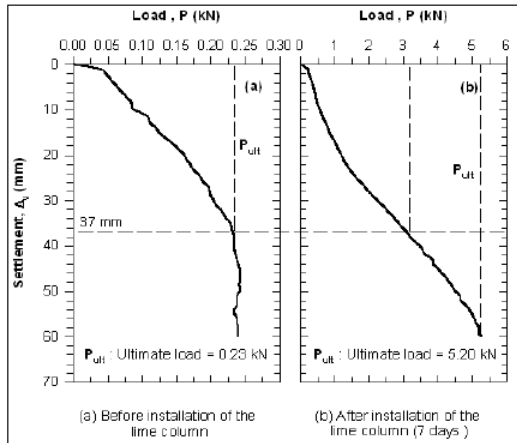
Muntohar (2009) melakukan penelitian dengan judul “Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban-Penurunan Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom Kapur di Laboratorium”. Kolom kapur dirancang sebagai kolom tunggal dengan diameter (D) 50 mm dan kedalam kolom 200 mm.

Tanah beserta kolom kapur diletakkan dalam kotak baja berukuran 1,2 m x 1,2 m dengan tinggi 1m (Gambar 3).



Gambar 3 Model 3D kotak baja untuk uji pemodelan kolom kapur

Dari hasil uji beban, pada Gambar 4 disajikan hubungan beban dan penurunan sebelum dan sesudah instalasi kolom kapur.



Gambar 4 Hubungan beban dan penurunan dengan laju beban konstan

METODE PENELITIAN

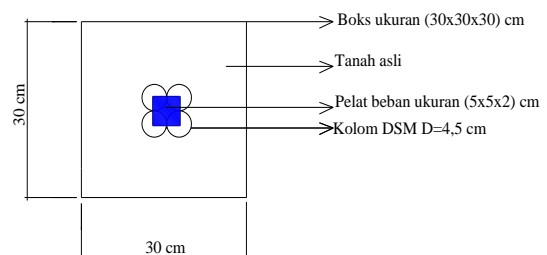
Sebelum melakukan uji beban dilakukan uji pendahuluan terhadap sampel tanah asli yang meliputi srbagai berikut:

1. uji *specific gravity*
2. uji nilai - nilai batas Atterberg
3. pemeriksaan kalsifikasi tanah menurut USCS
4. uji pemadatan standar (*standart proctor*)

Uji Beban (*load test*) Pada Kolom DSM

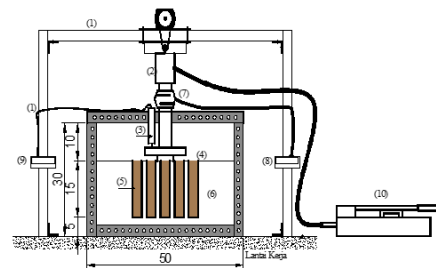
Uji beban dilakukan pada tanah asli dan tanah stabilisasi kolom DSM dengan campuran 10% kapur.

Sebelum dilakukan uji beban, dilakukan persiapan benda uji. Sampel tanah dikeringkan dan dihancurkan, kemudian dicampur dengan kadar air OMC sehingga kepadatannya sesuai dengan kepadatan rencana. Sampel tanah tiap lapisan yang telah dicampur dengan air dipadatkan di dalam boks. Kemudian dilakukan pembuatan kolom DSM sesuai pola dengan variasi jarak (1D, 1,25D, dan 1,5D) dan panjang kolom(2B, 3B, dan 4B) dimana D adalah diameter kolom 4,5 cm dan B lebar plat beban 5 cm. Berikut ini skema pemodelan kolom DSM di dalam boks:



Gambar 5 Pemodelan kolom DSM

Uji beban dilakukan setelah waktu curing selama 3 hari. Uji beban dilakukan dengan dongkrak hidrolik. Dongkrak hidrolik dihubungkan ke piston, pemompaan dongkrak akan memberikan tekanan ke piston dan nantinya akan disalurkan ke load cell agar terbaca beban yang diberikan. Beban dibaca tiap pembacaan 50 digit pada alat LVDT, pengujian dihentikan ketika pembacaan *load cell* menunjukkan 3 kali nilai yang sama pada penurunan yang berlanjut. Hasil dari uji beban adalah grafik hubungan beban dan penurunan



Keterangan :		
1. Portal baja	5. Kolom stabilisasi DSM	9. Alat pembaca LVDT
2. Piston hidrolik	6. Tanah dasar/ asli	10. Pompa hidrolik
3. Dial LVDT	7. Load cell	
4. Pelat baja (5x5x2) cm	8. Alat pembaca load cell	

Gambar 6 Skema uji pembebanan

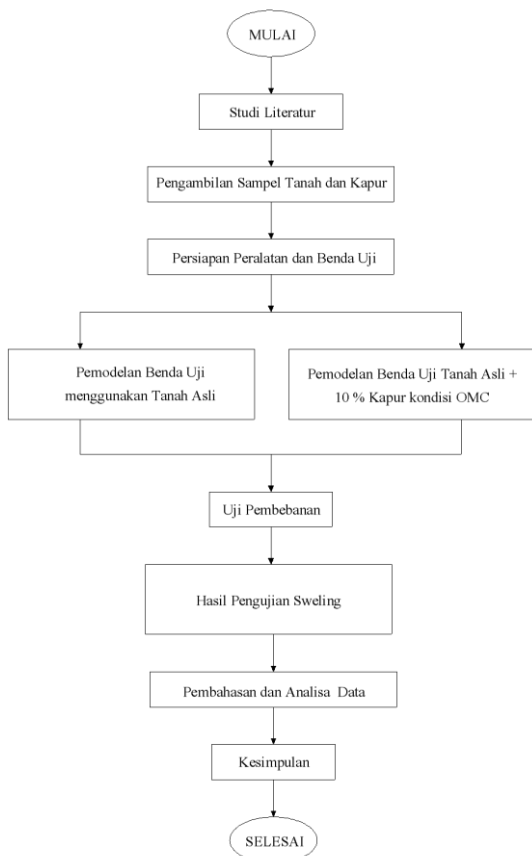
Metode analisis yang digunakan adalah analisis BCI (*Bearing Capacity Improvement*) yaitu perbandingan daya dukung stabilisasi dengan tanah asli. Dari perhitungan BCI dapat diketahui pengaruh jarak dan panjang kolom terhadap daya dukung.

$$BCI = \frac{q_u \text{ tanah stabilisasi}}{q_u \text{ tanah asli}}$$

Tabel 2 Bearing Capacity Improvement

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L) cm	Panjang Kolom (Df) cm	P_u kg	q_u kg/cm ²	Pe turunan mm	B CI
Tanah Asli	-	1B				
		2B				
		3B				
Tanah Asli + Kolom DSM 10% kapur	1,25D	1B				
		2B				
		3B				
	1,5D	1B				
		2B				
		3B				

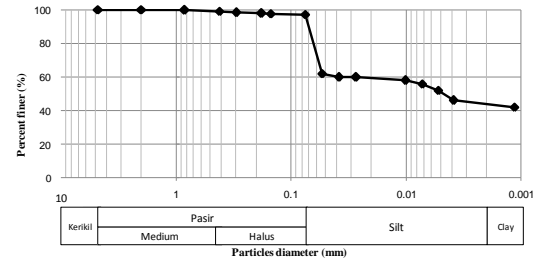
Diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 7 Skema uji pembebanan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pendahuluan
Uji *mechanical grain size*



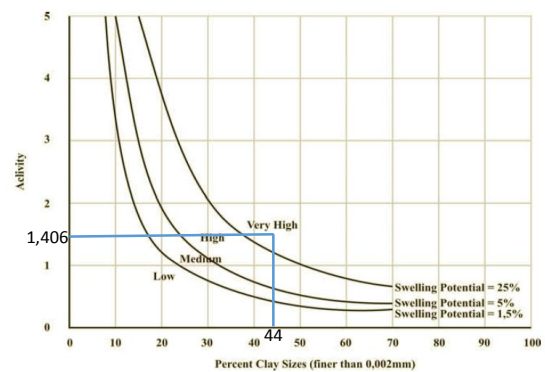
Gambar 8 Gabungan analisis saringan dan hidrometer

Prosentase lolos saringan No. 200 sebesar 97,03 % sehingga menurut sistem klasifikasi USCS tanah tergolong jenis tanah berbutir halus.

Tabel 3 Uji batas Atterberg

Bahan	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah Asli	79,11	31,3	3,04	47,81

Kriteria tanah Ekspansif



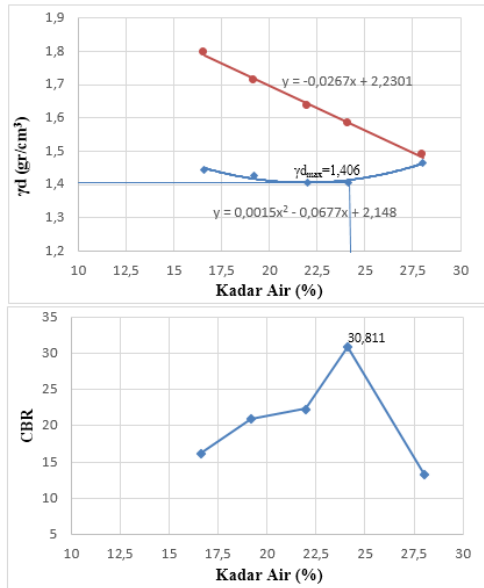
Gambar 9 Grafik klasifikasi berdasarkan potensi mengembang

Dari gambar diatas, menunjukkan bahwa tanah di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro tergolong tanah dengan potensi pengembangan sangat tinggi.

Pemeriksaan Pemadatan Standar

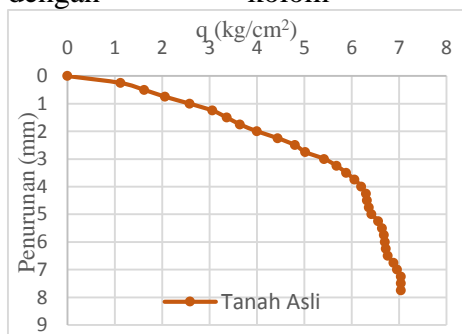
Pemeriksaan pemadatan standar dilakukan pada tanah dengan campuran 10% kapur. Namun grafik yang dihasilkan aneh (Gambar 10), meskipun diulangi sampai 3 kali namun tetap sama. Hal ini apat terjadi karena sifat lempung yang tidak stabil sehingga sulit didapatkan kepadatan maksimumnya.

Sehingga penentuan OMC dan ($\gamma_{d_{max}}$) didasarkan pada nilai CBR yang paling tinggi. CBR paling tinggi menunjukkan kondisi paling padat dan daya dukung paling tinggi pada pemodelan kolom DSM



Gambar 10 Grafik pemadatan dan CBR tanah stabilisasi

Dari grafik diatas didapatkan (OMC) sebesar 24,10 % dan ($\gamma_{d_{max}}$) sebesar 1,406 gr/cm³. Sedangkan untuk tanah asli nilai OMC dan $\gamma_{d_{max}}$ didapatkan dari penelitian yang pernah dilakukan Hakim(2015) yaitu sebesar 27,908 % dan 1,409 gr/cm³. Hasil tersebut digunakan untuk standarisasi pembuatan sampel di dalam boks. Hasil uji beban pada tanah dengan kolom DSM



Gambar 11 Grafik pemadatan dan CBR tanah stabilisasi

Tabel 4 Peningkatan Nilai q_u dengan Variasi Jarak terhadap Panjang Kolom

Jenis Sampel	Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	q_u	Penurunan Peningkatan Nilai q_u	
	cm	cm	kg/cm ²	mm	(%)
Tanah Asli			7,04	7,25	-
	4B	1,5 D	16,16	16	129,55
		1 D	20,02	10,5	184,38
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	3B	1,5 D	15,5	16,5	120,17
		1,25 D	18,82	7,75	167,33
	2B	1 D	19	8,5	169,89
	2B	1,5 D	13,84	16,5	96,59
		1,25 D	15,2	7,75	115,91
	1 D	18,06	7,25	156,53	

Tabel 5 Peningkatan Nilai q_u dengan Variasi panjang terhadap Jarak Kolom

Dari kedua tabel diatas, Nilai q_u terbesar berada pada jarak 1D panjang kolom terpanjang 4B yaitu sebesar $q_u = 20,02 \text{ kg/cm}^2$ meningkat 184,38 % dari tanah asli, sedangkan nilai Sedangkan nilai q_u terkecil berada pada jarak 1,5D dan panjang kolom 2B yaitu sebesar $13,84 \text{ kg/cm}^2$ meningkat 96,59 % dari tanah asli.

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	q_u	Penurunan Peningkatan Nilai q_u	
	cm	cm	kg/cm ²	mm	(%)
Tanah Asli			7,04	7,25	-
	1D	2B	18,06	7,25	156,53
		3B	19	8,5	169,89
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	1,25 D	4B	20,02	10,5	184,38
		2B	15,2	8,25	115,91
	1,5 D	3B	18,82	7,75	167,33
4B		19,2	9,25	172,73	
2B		13,84	16,5	96,59	
	3B	15,5	16,5	120,17	
		4B	16,16	16	129,55

Analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI)

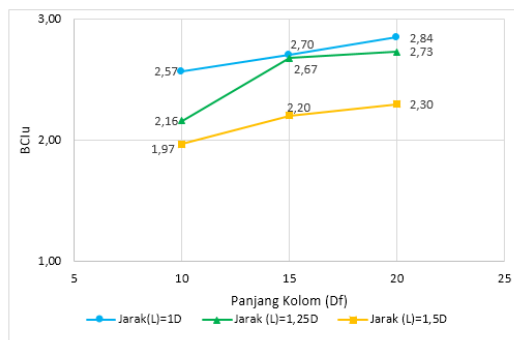
Analisis BCI bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom DSM dalam meningkatkan nilai daya dukung tanah. Sehingga nantinya akan diketahui pada variasi jarak dan panjang kolom berapa yang menghasilkan daya dukung maksimum.

Analisi BCI ditinjau pada dua kondisi yaitu kondisi batas/*ultimate* (BCIu) dan kondisi pada penurunan/*settlement* yang sama (BCIs).

Analisis BCiu

Tabel 6 Nilai BCiu Pada Variasi Panjang Kolom (Df)

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	P_u	q_u	Penurunan	BCiu
	cm	cm	kg	kg/cm ²	mm	
Tanah Asli			176	7,04	7,25	1
	1D	10	457	18,06	7,25	2,57
		15	475	19	8,5	2,7
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	1,25 D	20	500,5	20,02	10,5	2,84
		10	380	15,2	8,25	2,16
	1,5 D	15	470,5	18,82	7,75	2,67
20		480	19,2	9,25	2,73	
	1,5 D	10	346	13,84	16,5	1,97
		15	390	15,5	16,5	2,2
	20	404	16,16	16	2,3	



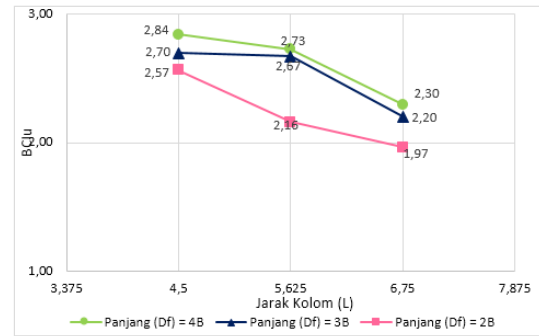
Gambar 12 Perbandingan pengaruh variasi panjang terhadap nilai BCiu

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan semakin panjang kolom DSM nilai BCiu akan semakin meningkat. Nilai BCiu tertinggi adalah 2,84 yang berada jarak kolom 1D dan panjang kolom 20 cm. Sedangkan nilai BCiu terendah adalah 1,97 yang berada jarak kolom 1,5D dan panjang kolom 10 cm.

Tabel 7 Nilai BCiu Pada Variasi Jarak Kolom (L)

Jenis Sampel	Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	P_u	q_u	Penurunan	BCiu
	cm	cm	kg	kg/cm ²	mm	
Tanah Asli			176	7,04	7,25	1
	4B	1,5 D	404	16,16	16	2,3
		1,25 D	480	19,2	9,25	2,73
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	3B	1D	500,5	20,02	10,5	2,84
		1,5 D	390	15,5	16,5	2,2
	2B	1,25 D	470,5	18,82	7,75	2,67
1D		475	19	8,5	2,7	
	2B	1,5 D	346	13,84	16,5	1,97
		1,25 D	380	15,2	7,75	2,16
	1D	457	18,06	7,25	2,57	

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa semakin dekat jarak antar kolom maka semakin besar pulai nilai BCiu nya

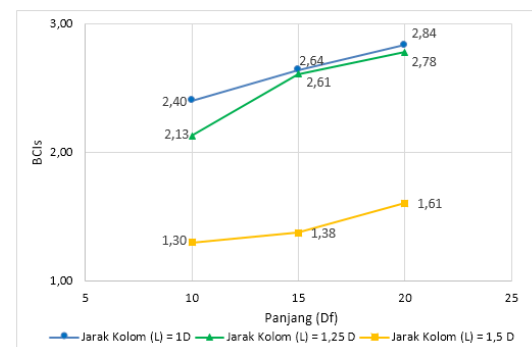


Gambar 13 Perbandingan pengaruh variasi panjang terhadap nilai BCiu

Analisis BCIs

Tabel 8 Nilai BCIs Pada Variasi Panjang Kolom (Df)

Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	q_u	Penurunan	BCIs
cm	cm	kg/cm ²	mm	
		6,56	5,25	1
1D	10	15,76	5,25	2,4
	15	17,32	5,25	2,64
	20	18,6	5,25	2,84
1,25 D	10	13,98	5,25	2,13
	15	17,12	5,25	2,61
	20	18,24	5,25	2,78
1,5 D	10	8,54	5,25	1,3
	15	9,02	5,25	1,38
	20	10,54	5,25	1,61

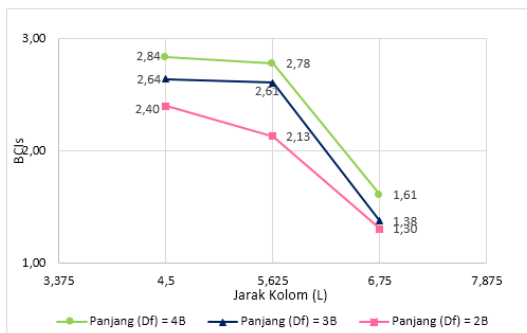


Gambar 14 Perbandingan pengaruh variasi panjang terhadap nilai BCIs

Sama seperti pada kondisi batas (BCiu), pada variasi panjang terlihat pada jarak kolom yang sama, semakin panjang kolom DSM maka nilai daya dukung semakin besar. Nilai BCIs terbesar berada pada jarak kolom 1D dan panjang kolom 20 cm yaitu sebesar 2,84.

Tabel 9 Nilai BCIs Pada Variasi Panjang Kolom (Df)

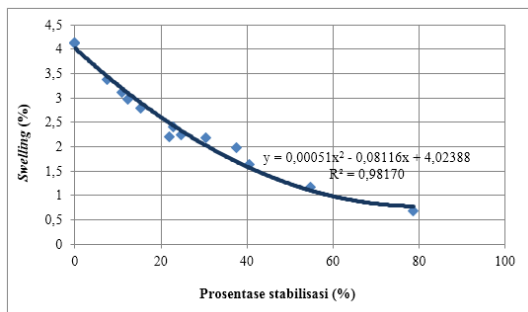
Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	qu	Penurunan	BCIs
cm	cm	kg/cm ²	mm	
		6,56	5,25	1
20	1,5 D	10,54	5,25	1,61
	1 D	18,24	5,25	2,78
15	1,5 D	9,02	5,25	1,38
	1 D	17,32	5,25	2,64
10	1,5 D	8,54	5,25	1,3
	1 D	15,76	5,25	2,4



Gambar 15 Perbandingan pengaruh variasi jarak terhadap nilai BCIs

Dari tabel dan gambar diatas terlihat bahwa pada penurunan yang sama semakin semakin dekat jarak antar kolom maka nilai BCIs nya akan semakin meningkat

Pengaruh prosentase stabilisasi terhadap nilai *swelling*



Gambar 16 Hubungan nilai *swelling* dengan prosentase stabilisasi

Dari gambar diatas terlihat nilai *swelling* menurun seiring semakin besarnya prosentase stabilisasi.

Persamaan pada grafik diatas digunakan untuk mengetahui pengaruh prosentase stabilisasi kolom DSM di dalam boks dengan nilai *swelling*.

Tabel 10 Nilai Potensi Pengembangan Berdasarkan Prosentase Stabilisasi

Jenis Benda Uji	Variabel	Prosentase Pengembangan (Swelling)		Penurunan Swelling dari tanah asli
		%	%	
Tanah Asli	-	0	4,13	
	L = 4,5 ; Df = 10 cm	39,27	1,62	63,42
	L = 5,6 ; Df = 10 cm	25,36	2,29	47,65
Tanah Asli + Kolom	L = 6,8 ; Df = 10 cm	17,2	2,78	36,04
	L = 4,5 ; Df = 15 cm	58,9	1,01	77,09
Stabilisasi	L = 5,6 ; Df = 15 cm	38,04	1,67	62,23
	L = 6,8 ; Df = 15 cm	25,8	2,27	48,22
DSM dengan 10% Kapur	L = 4,5 ; Df = 20 cm	78,54	0,8	80,67
	L = 5,6 ; Df = 20 cm	50,72	1,22	72,61
	L = 6,8 ; Df = 20 cm	34,4	1,84	58,47

Dalam jurnal yang berjudul “*Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils*” disebutkan bahwa toleransi kenaikan tanah (Δh) yang diijinkan untuk *flexible and pavement structure* sebesar 12 mm dan 18 mm. Tanah asli mengalami kenaikan tanah (Δh) sebesar 61,95 mm. Untuk memenuhi toleransi kenaikan tanah (Δh) maksimum sebesar 12 mm dan 18 mm untuk nilai *swelling* maksimum yang diijinkan sebesar 0,8% dan 1,2%.

Jadi yang memenuhi toleransi untuk *flexible pavement structure* adalah pada jarak kolom 4,5 cm dan panjang kolom 20 cm dan untuk *rigid pavement structure* adalah pada jarak kolom 4,5 cm dan panjang kolom 20 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada hasil dan pembahasan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin rapat jarak antar kolom DSM dan semakin panjang kolom DSM maka nilai daya dukung tanah semakin meningkat. Sebaliknya semakin renggang jarak antar kolom DSM

dan semakin pendek kolom DSM maka daya dukung semakin menurun.

2. Berdasarkan pada analisis BC_{Iu}, jarak dan panjang kolom yang menghasilkan nilai daya dukung maksimum adalah dengan jarak 1,25D dan panjang kolom 4B
3. Semakin besar prosentase stabilisasi nilai *swelling* akan semakin menurun. Berdasarkan *flexible and rigid pavement structure* nilai *swelling* maksimum yang diijinkan sebesar 0,8% dan 1,2% sehingga yang memenuhi toleransi tersebut yaitu pada jarak (1D dan panjang kolom 4B) dan (jarak 1D dan panjang kolom 3B) .

SARAN

Setelah melakukan penelitian dan dari hasil dan pembahasan ditemukan sejumlah kekurangan-kekurangan baik saat pelaksanaan penelitian maupun pada hasil yang didapatkan, sehingga diperlukan adanya perbaikan demi pengembangan penelitian selanjutnya. Oleh karena itu, saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian dengan metode DSM lebih lanjut sebagai berikut

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh lama waktu perawatan/*curing* pada sampel tanah, sehingga diketahui lama waktu *curing* yang menghasilkan daya dukung optimum
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang variasi prosentase kadar kapur, sehingga dapat diketahui prosentase kadar kapur optimum untuk menghasilkan daya dukung optimum
3. Dipelukan boks yang lebih kaku dan kuat sehingga mampu untuk menahan beban yang diberikan sehingga tidak mengakami retak

atau pecah akibat tidak kuat menahan beban yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyono, A. & Sumiyanto. 2012. Efektivitas Injeksi Larutan Kapur untuk Menurunkan Plastisitas Tanah Lempung sebagai Upaya Mengatasi Kerusakan Jalan Raya. *Dinamika Rekayasa*. 8 (1): ISSN 1858-3075
- Bowles, Joseph. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan Johan K Hainim
Jakarta: Erlangga.
- Chen, F. H. 1975. *Foundaion on Expansive Soil*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah, Jilid I*. Terjemahan Noor E. & Indrasurya, B. M. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- EuroSoilStab. 2002. *Design Guide Soft Soil Stabilization*. Project No. BE 96-3177, Ministry of Transport Public Works and Management
- 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.
- Hardiyatmo, H. 1992. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harnaeni, R. S. 2012. Efektifitas Semen pada Atabilisasi Lemnpung dengan Kapur Akibat Percepatan Waktu Antara Pencampuran dan Pematatan.

Simposium Nasional RAPI XI FT
UMS. ISSN: 412-9612

Ingles, O. D., & Metcalf, J. B. (1974).
Soils Stabilization. Sidney: Betterwood.

Madhyannapu, Raja A. & Puppala,
Anand J. 2014. Design and
Construction Guidelines for Deep
Soil Mixing to Stabilize Expansive
Soils. . *Journal ASCE*. 04014051

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.

Risman. 2011. Analisis Daya Dukung
Tanah Lempung yang Distabilisasi
dengan Kapur dan Pasir. *Wahana
Teknik Sipil*. 16 (2): 58-67.

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

Warsiti. 2009. Meningkatkan CBR dan
Memperkecil Swelling Tanah Sub
Grade dengan Metode Stabilisasi
Tanah dan Kapur. *Jurnal Wahana
Teknik Sipil*. 14 (1): 38-45.