

**PERUBAHAN DAYA DUKUNG DAN PENGEMBANGAN TANAH
EKSPANSIF AKIBAT STABILISASI KAPUR METODE *DEEP SOIL
MIXING* (DSM) BERPOLA PANELS DENGAN VARIASI JARAK DAN
PANJANG KOLOM DIAMETER 4 CM**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AFRIA BURIZKY MINATA
NIM. 135060101111020**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

Perubahan Daya Dukung Dan Pengembangan Tanah Ekspansif Akibat Stabilisasi Kapur Metode Deep Soil Mixing (DSM) Berpola Panels Dengan Variasi Jarak Dan Panjang Kolom Diameter 4 cm

Afria Nurizky Minata, Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT. and Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D

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

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung yang rendah dan potensi kembang susut yang tinggi. Hal tersebut mengakibatkan struktur bangunan di atas tanah mengalami kerusakan seperti jalan bergelombang, plat lantai retak, penurunan pada pondasi. Sehingga perlu dilakukan stabilisasi untuk mengurangi pengembangan tanah. Stabilisasi tanah lempung ekspansif dapat dilakukan dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM). Metode ini menggunakan variasi jarak dan kolom tertentu, serta berkonfigurasi panels dengan bahan aditif yaitu kapur kadar 8%. Variasi jarak antar kolom (L) = 4, 5, 6 cm serta kedalaman kolom (D_f) = 10, 15, 20 cm. Stabilisasi kapur kadar 8% dengan kolom DSM dapat menurunkan nilai pengembangan dan meningkatkan nilai daya dukung tanah ekspansif. Semakin tinggi kedalaman kolom dan semakin kecil jarak kolom maka semakin besar nilai daya dukung tanah serta semakin kecil nilai pengembangannya. Jarak kolom (L) = 4 cm dengan kedalaman (D_f) = 20 cm memiliki daya dukung terbesar yaitu $36,8 \text{ kg/cm}^2$ dan persentase pengembangan terkecil yaitu 0,53%. Konfigurasi tersebut memenuhi kriteria untuk jalan raya dengan tebal perkerasan 25 cm dan tebal pondasi 35 cm, karena daya dukung tersebut mampu menahan beban per satuan luas sebesar $2,5215 \text{ kg/cm}^2$. Selain itu, konfigurasi tersebut memenuhi persentase mengembang yang diizinkan yaitu 0,8% untuk *flexible pavement* dan 1,2% untuk *rigid pavement*.

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

ABSTRACT

Expansive clay soil have small value of bearing capacity in high water content and high swelling potential. It was damaged structure above the ground such as rutting, cracked floor of the building, and foundation settlement. Soil stabilization was needed to fix these problem so bearing capacity could be increased. One of expanive soil stabilization of is Deep Soil Mixing method (DSM). This method use space variation and depth coloumn with 8% of lime. The space of the columns (L) were 4, 5, 6 cm and the depth of the column (D_f) were 10, 15, 20 cm. Lime stabilization levels at 8% with DSM method can reduce the swelling value and increase the bearing capacity value of expansive clay soil. Space variation and depth of column made bearing capacity increasing and reduce swelling value of expansive clay soil. The higher depth of the column and smaller space of column generate greater bearing capacity value and smaller swelling value. The space of column (L) = 4 cm and the depth (D_f) = 20 cm have the largest bearing capacity value was $36,8 \text{ kg/cm}^2$ and the smallest percentage of swelling was 0,53%. Based on the criteria for highways with thick of pavement was 25 cm and 35 cm thick of sub base, because the allowable bearing capacity to panels was $2,5215 \text{ kg/cm}^2$. Beside that, the configuration meets the percentage allowed i.e 0,8% for flexible pavement and 1,2% for rigid pavement.

Keyword: *expansive soil, deep soil mixing, lime, soil stabilization, swelling, bearing*

PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah dasar yang kurang cocok untuk suatu pelaksanaan struktur. Hal tersebut akibat tanah lempung ekspansif merupakan tanah dasar dengan daya dukung yang rendah dan memiliki sifat plastisitas yang tinggi serta sensitifitas terhadap kadar air yang tinggi, sehingga tanah mudah mengembang dan susut. Tanah lempung ekspansif juga terdapat di pulau Jawa kurang lebih sebesar 20%, contohnya di Desa Jelu Kecamatan Ngasem, Bojonegoro. Tanah di Desa Jelu akan menyusut di musim kemarau dan akan mengembang di musim hujan karena air pori pada tanah meningkat. Oleh sebab itu, diperlukan suatu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan harapan agar tanah memiliki kualitas yang lebih baik dan stabil sehingga konstruksi di atasnya dapat berdiri dengan kokoh.

Adapun solusi yang didapatkan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk memperbaiki karakteristik tanah sehingga kekuatan tanah meningkat yaitu dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dilakukan dengan pencampuran bahan aditif pada tanah dasar dengan cara *in situ*. Pencampuran bahan kapur diharapkan dapat meningkatkan daya dukung tanah, mengurangi kadar air yang terkandung dalam tanah lempung, serta mengurangi nilai indeks plastisitas tanah.

Penelitian mengenai penambahan kapur pada tanah lempung ekspansif terhadap *swelling* dan kekuatan tanah di Bojonegoro pernah dilakukan oleh (Ranggaesa, R. A. 2016). Penelitian tersebut menggunakan campuran kapur dengan kadar 6%, 8%, 9%, dan 10%. Hasil penelitian pencampuran dengan variasi kadar kapur tersebut menghasilkan penurunan pada *swelling*. Sedangkan dengan penambahan kapur dapat meningkatkan nilai OMC dan CBR. Nilai CBR terbesar yaitu pada penambahan 8% kapur dalam kondisi terendam (*soaked*) maupun tanpa perendaman (*unsoaked*). Nilai CBR tanah asli tanpa perendaman yaitu 14,76% dan meningkat menjadi 22,52%. Sedangkan nilai CBR dengan perendaman yaitu 4,66% dan meningkat menjadi 12,04%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar kapur yang terlalu besar akan menurunkan nilai CBR.

Putro (2016) telah melakukan penelitian mengenai metode *Deep Soil Mixing* (DSM) tipe *panels* diameter kolom 3 cm menggunakan campuran kapur 10% dengan variasi jarak dan panjang kolom. Hasil analisis pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin dekat

jarak dan semakin panjang kedalaman kolom maka daya dukung tanah akan semakin meningkat. Daya dukung tanah meningkat dari 7,04 kg/cm² menjadi 20,14 kg/cm² pada jarak terkecil (L) 3 cm dan panjang kolom terpanjang (Df) 20 cm.

Ditinjau dari penelitian mengenai stabilisasi tanah yang telah dilakukan terdahulu, melatar belakangi untuk melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM) dengan tambahan bahan aditif yaitu kapur. Penambahan kapur sebagai campuran bahan aditif, dikarenakan kapur dapat mereduksi pengembangan tanah dan sifat plastis tanah lempung. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan kedalaman kolom dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM) tipe *panels* diameter 4 cm campuran kapur kadar 8% di kecamatan Ngasem, Bojonegoro terhadap daya dukung tanah.

TUJUAN

Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui perubahan daya dukung dan pengembangan (*swelling*) tanah ekspansif dengan menggunakan stabilisasi 100% perbaikan.
2. Untuk mengetahui perubahan daya dukung bila dilakukan perbaikan dengan menggunakan metode DSM berpola *panels* dengan variasi jarak dan kedalaman kolom.
3. Untuk mengetahui perubahan pengembangan (*swelling*) bila dilakukan perbaikan dengan menggunakan metode DSM berpola *panels* dengan variasi jarak dan kedalaman kolom.
4. Untuk mengetahui jarak dan kedalaman kolom dengan pola *panels* yang memberi daya dukung yang diijinkan di daerah Bojonegoro.
5. Untuk mengetahui jarak dan kedalaman kolom dengan pola *panels* yang memberi pengembangan (*swelling*) yang diijinkan di daerah Bojonegoro

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah berbutir halus dengan kandungan mineral yang dapat menyebabkan kembang dan susut akibat perubahan kadar air. Komponen mineral lempung terdiri dari *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite*.

Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Identifikasi tidak langsung biasanya dilakukan uji laboratorium dengan menggunakan nilai Batas Atterberg dan persentase kandungan

lempung untuk menggambarkan potensi pengembangan suatu tanah secara kualitatif.

Tabel 1. Korelasi Indeks Plastisitas, Indeks Susut dengan Tingkat Pengembangan (*Chen, Raman, 1967*).

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

Tabel 2. Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan (*Skempton, 1953*).

	Tingkat Keaktifan (A)	Potensi Pengemban
	<0,75	Tidak Aktif
A = PI/(C-10)	0,75 – 1,25	Normal
	>1,25	Aktif

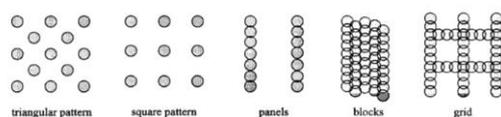
Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Kapur dipilih sebagai bahan aditif untuk stabilisasi tanah lempung dikarenakan, dapat menyebabkan pertukaran ion lemah sodium oleh ion kalsium pada permukaan tanah lempung. Lalu terjadi flokulasi yaitu butiran halus tanah lempung mengeras menjadi gumpalan butir kasar yang gembur. Hal tersebut menyebabkan nilai indeks plastisitas semakin kecil.

Penambahan kapur pada tanah lempung ekspansif dapat merubah sifat fisik lempung menjadi lebih baik. Manfaat kapur pada stabilisasi tanah yaitu, menurunkan nilai PI, mempercepat pemadatan lempung, mengurangi sifat kembang susut tanah, dan meningkatkan nilai CBR.

Deep Soil Mixing

Deep Soil Mixing (DSM) adalah teknologi perbaikan tanah dengan pencampuran bahan aditif seperti kapur yang dilakukan secara langsung di lapangan (*in situ*) untuk meningkatkan kualitas tanah dan stabilitas tanah. Pelaksanaan *Deep Soil Mixing* (DSM) dapat dilakukan dengan cara *columnn installation*. Metode tersebut menggunakan konfigurasi seperti *single columnn*, *panels*, *blocks columnn*, *grid types* dan *triangular*.



Gambar. 1 Konfigurasi Kolom DSM

Sumber : *Kosche (2004:12)*

Swelling

Swelling yaitu bertambahnya volume tanah lempung ekspansif akibat masuknya air tanah lempung.

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

Dimana,

H_i : tinggi sampel tanah

H_f : tinggi akhir sampel tanah

Daya Dukung Tanah

Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) merupakan beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat memikul beban. Daya dukung batas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$qu = \frac{Pu}{A}$$

dimana, qu : daya dukung batas (kg/cm^2)

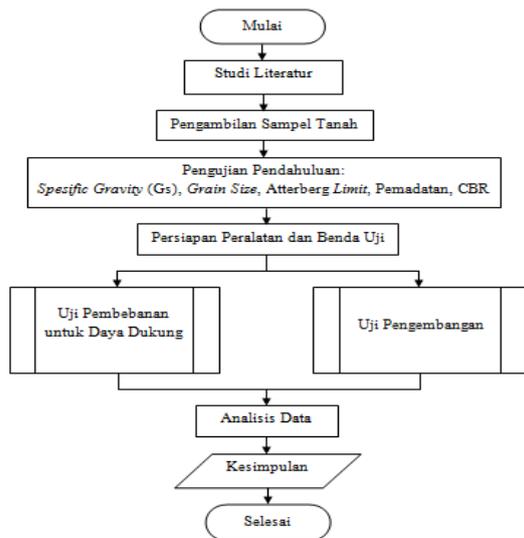
Pu : beban batas yang diterima (kg)

A : luas pondasi

Pemodelan *Deep Soil Mixing* (DSM) Laboratorium

Pada penelitian yang dilakukan oleh Putro (2016) yang meneliti tentang pengaruh jarak dan panjang kolom *deep soil mixing* (DSM) tipe *panels* dengan campuran 10% kapur terhadap daya dukung tanah ekspansif. Pembuatan benda uji dibagi menjadi dua kondisi tanah asli tanpa stabilisasi DSM dan kondisi tanah dengan stabilisasi DSM. Tanah dasar atau asli dimasukkan ke dalam *box* berukuran (30x30x30) cm hingga ketinggian tanah (D_f) 20 cm. Kemudian instalasi kolom dilakukan sesuai konfigurasi serta variasi jarak dan kedalaman yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tersebut terhadap nilai daya dukung tanah.

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar. 2 Diagram Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Hasil uji laboratorium didapatkan data pengujian karakteristik tanah sebagai berikut:

Tabel 3. Karakteristik Tanah

Jenis Percobaan	Satuan	Hasil
Specific Gravity (Gs)		2,524
Kadar Air		44,96
Berat Volume	gr/cm ³	1,69
Batas Cair (LL)	%	77,35
Batas Plastis (PL)	%	29,84
Batas Susut (SL)	%	8,30
Indeks Plastisitas (PI)	%	47,52
Fraksi Lempung (C)	%	43

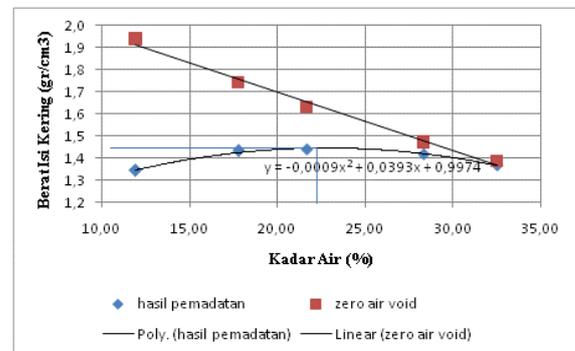
Pada hasil uji analisis ayakan dan hydrometer didapatkan bahwa persentase yang lolos saringan No. 200 (diameter 0,075 mm) yaitu 96,24% sehingga sampel tanah dapat dikelompokkan sebagai tanah berbutir halus. Sampel tanah memiliki Batas cair (LL) 77,35% dan Indeks Plastis (PI) 47,52%, lalu diplotkan pada bagan plastisitas, sehingga sampel tanah termasuk dalam golongan tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas sangat tinggi).

Tabel 4. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Nilai Uji Sampel	Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif		Kesimpulan
	PI (%)	Tingkat Pengembangan	
47,21	<12	Rendah	Tingkat pengembangan pada sampel tanah sangat tinggi.
	12 – 23	Sedang	
	23 – 32	Tinggi	
	>32	Sangat Tinggi	
Tingkat Keaktifan (A)		Potensi Pengembangan	(Skempton, 1953)
A = PI/(C-10) A = 1,43	<0,75	Tidak Aktif	Potensi pengembangan pada sampel tanah termasuk aktif.
	0,75 – 1,25	Normal	
	>1,25	Aktif	

Penentuan Kadar Air Optimum

Kadar air optimum (OMC) didapatkan dari uji pemadatan proktor dengan menggunakan *Standard – Proctor* ASTM D – 689 metode B. Hasil pemadatan menunjukkan bahwa kadar air optimum yang dibutuhkan yaitu 21,83% dengan berat isi kering maksimum yaitu 1,43 gr/cm³.



Gambar 2. Kadar Air Optimum

Berat isi kering maksimum akan sulit dicapai saat dilakukan pembuatan benda uji di dalam *box* sehingga dibutuhkan kepadatan tanah asli yang distandarisasi. Kepadatan tanah untuk benda uji tanah asli pada penelitian ini menggunakan 21,8% kadar air dan 1,71 gr/cm³ berat isi. Kontrol kepadatan untuk benda uji tanah asli yaitu dengan tanah 6 kg tiap layer.

Sedangkan pada benda uji kolom DSM stabilisasi kapur 8% menggunakan berat isi kering 1,43 gr/cm³ dengan kadar air 21,8%. Kepadatan tiap kolom perlu dikontrol, setiap lapisan pada ketinggian 5 cm dengan berat tanah yang telah distabilisasi kapur sebanyak 109,19 gr.

Nilai Daya Dukung Tanah terhadap Persentase Stabilisasi

Persentase stabilisasi pada penelitian ini ditentukan berdasarkan rasio volume tanah perbaikan, yaitu antara volume kolom stabilisasi dengan volume tanah perbaikan seluruhnya.

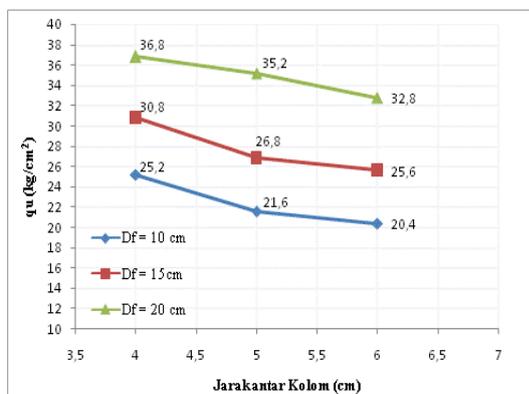
Tabel 5. Nilai Daya Dukung terhadap Persentase Stabilisasi

Jenis Benda Uji	Variabel		Persentase Stabilisasi	Pu	qu
	Jarak Kolom	Kedalaman Kolom			
	cm	cm	%	kg	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	0	325	13
	6	10	29,47	510	20,4
	5	10	30,87	540	21,6
Tanah Asli + Stabilisasi Kapur 8%	4	10	38	630	25,2
	6	15	44,21	640	25,6
	5	15	46,31	670	26,8
	4	15	56,80	770	30,8
	6	20	58,95	820	32,8
	5	20	61,74	880	35,2
Tanah Asli + Stabilisasi Kapur 100%	4	20	75,73	920	36,8
	-	-	100	1060	42,40

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar persentase tanah yang distabilisasi maka nilai daya dukung juga akan semakin meningkat.

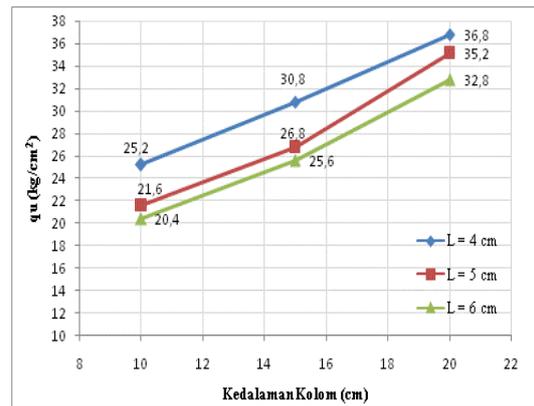
Nilai Daya Dukung Tanah

Tanah dengan stabilisasi kolom DSM memiliki variasi jarak sejauh 4 cm, 5 cm, dan 6 cm. Sedangkan, variasi kedalaman kolom pada penelitian ini yaitu 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Analisis daya dukung dilakukan pada masing-masing variasi.



Gambar 3. Hubungan Nilai Daya Dukung pada Variasi Jarak Antar Kolom terhadap Kedalaman Kolom.

Gambar 3. menunjukkan bahwa daya dukung (qu) pada tanah stabilisasi kapur dengan metode kolom DSM mengalami peningkatan dari tanah asli. Serta pada kedalaman yang sama, semakin kecil jarak antar kolom maka semakin besar pula nilai daya dukung (qu) tanah. Nilai daya dukung terbesar pada tanah stabilisasi yaitu 36,8 kg/cm² dengan jarak antar kolom sebesar 4 cm pada kedalaman 20 cm.

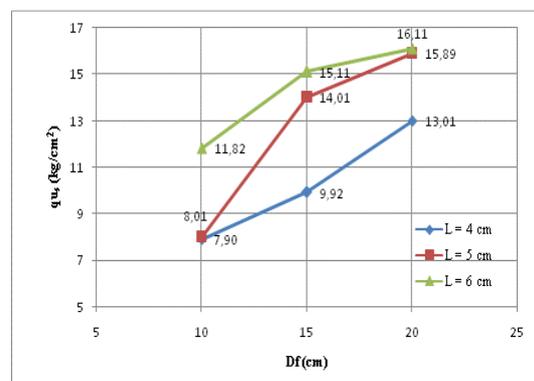


Gambar 4. Hubungan Nilai Daya Dukung pada Variasi Kedalaman Kolom terhadap Jarak Antar Kolom

Gambar 4 menjelaskan bahwa terjadi peningkatan daya dukung yang lebih besar pada perubahan variasi kedalaman kolom 15 cm ke 20 cm. Pada kedalaman 15 cm, peningkatan daya dukung yang cukup besar terjadi perubahan jarak 5 cm ke 4 cm. Dapat dilihat bahwa daya dukung tanah pada variasi kedalaman kolom memberikan peningkatan yang signifikan dibandingkan pada variasi jarak. Nilai daya dukung maksimum yaitu 36,8 kg/cm² terjadi pada kedalaman kolom 20 cm dengan jarak 4 cm antar kolom. Semakin panjang kolom dan semakin kecil jarak maka semakin besar nilai daya dukung karena semakin besar area yang distabilisasi sehingga tanah semakin kuat.

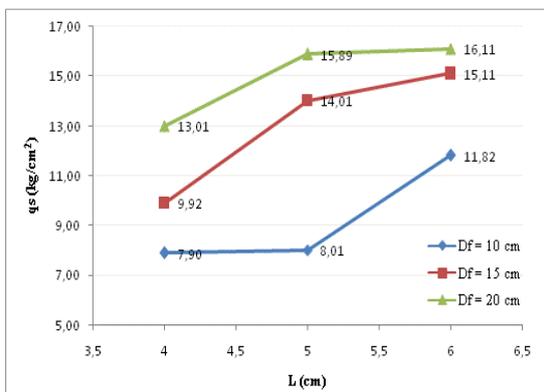
Nilai Daya Dukung dengan Tangen Intersection Method

Nilai daya dukung dapat dianalisis dengan *tangen intersection method*. Nilai daya dukung didapatkan dari perpotongan garis tangensial yang ditarik dari atas dan bawah. Metode ini dapat menentukan nilai daya dukung pada penurunan masing-masing sampel dengan variasi jarak dan kedalaman kolom.



Gambar 5. Hubungan Nilai Daya Dukung dan kedalaman dengan *tangen intersection method* akibat Variasi Kedalaman Kolom.

Gambar 5 menjelaskan bahwa variasi kedalaman memberikan pengaruh pada peningkatan daya dukung tanah. Pada jarak yang sama yaitu (L) 4 cm, (L) 5 cm, dan (L) 6 cm, daya dukung tanah semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman kolom. Peningkatan nilai daya dukung pada kedalaman 15 cm ke 20 cm lebih besar dibandingkan pada kedalaman 10 cm ke 15 cm. Pada jarak 4 cm ke 5 cm peningkatan nilai daya dukung cukup kecil, dapat disebabkan karena kepadatan kolom yang tidak sama.



Gambar 6. Hubungan Nilai Daya Dukung dan kedalaman dengan *tangen intersection method* akibat Variasi Jarak Kolom

Gambar 6 menjelaskan bahwa variasi jarak antar kolom memberikan pengaruh pada peningkatan daya dukung tanah. Pada kedalaman yang sama yaitu (Df) 15 cm, dan (Df) 20 cm, semakin kecil jarak kolom maka daya dukung tanah semakin meningkat. Peningkatan nilai daya dukung pada jarak 4 cm ke 5 cm lebih besar dibandingkan pada jarak 5 cm ke 6 cm. Pada kedalaman 10 cm, jarak 4 cm ke 5 cm peningkatan nilai daya dukung cukup kecil, dapat disebabkan karena kepadatan kolom yang tidak sama. Kontrol kepadatan pada kolom tidak dilakukan dengan uji *density*, melainkan dengan berat tanah tiap lapis.

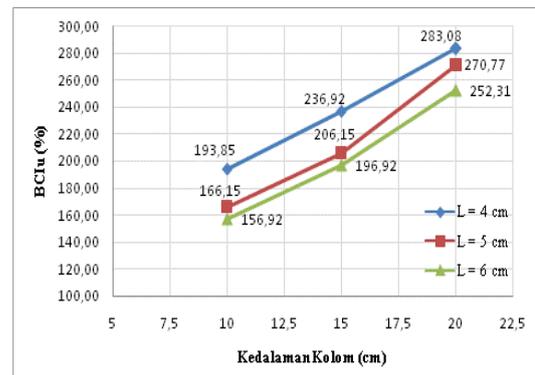
Peningkatan daya dukung tanah pada variasi jarak antar kolom tidak cukup signifikan dibandingkan pada variasi kedalaman. Tetapi nilai daya dukung tanah stabilisasi mengalami peningkatan dari tanah asli. Nilai daya dukung terbesar yaitu 16,11 kg/cm² pada jarak 4 cm dengan kedalaman kolom 20 cm.

Analisis BCI

Bearing Capacity Improvement (BCI) adalah metode untuk mengetahui perbandingan daya dukung antara tanah stabilisasi dengan tanah asli. Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi kedalaman dan jarak antar kolom pada tanah stabilisasi terhadap peningkatan daya dukung yang terjadi.

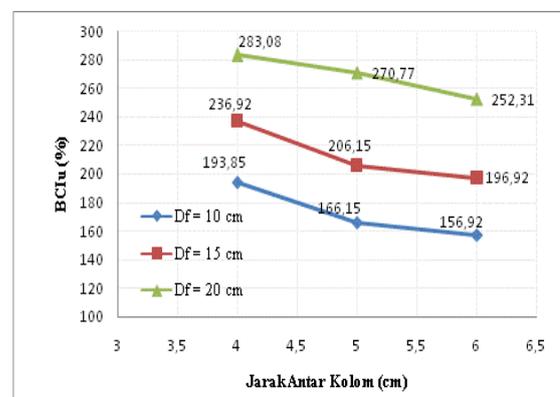
Analisis BCiU

Hasil uji pembebanan berupa daya dukung tanah kemudian dianalisis dengan metode BCiU.



Gambar 7. Hubungan BCiU dengan Variasi Kedalaman Kolom

Gambar 7 menunjukkan bahwa kedalaman kolom sangat berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi kedalaman kolom maka semakin besar pula peningkatan nilai daya dukung tanah (BCiU). Kenaikan nilai daya dukung yang terjadi pada kedalaman kolom (Df) 15 cm ke (Df) 20 cm lebih besar dibandingkan pada (Df) 10 cm ke (Df) 15 cm. Peningkatan nilai daya dukung (BCiU) terjadi secara signifikan pada variasi kedalaman.



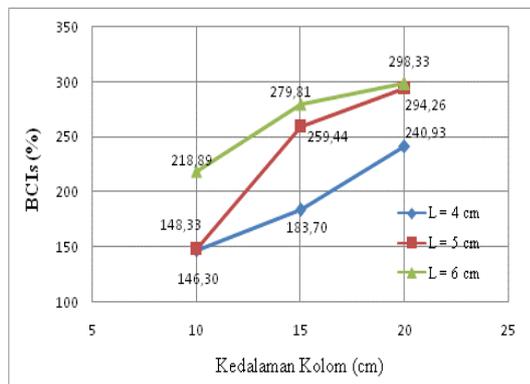
Gambar 8. Hubungan BCiU dengan Variasi Jarak Antar Kolom.

Gambar 8 menunjukkan bahwa jarak antar kolom berpengaruh terhadap peningkatan nilai

daya dukung tanah (BCIu). Dapat dilihat bahwa semakin lebar jarak kolom maka semakin kecil pula peningkatan nilai daya dukung tanah (BCIu). Peningkatan nilai daya dukung tanah pada jarak (L) 4 cm ke (L) 5 cm rata-rata lebih besar. Serta peningkatan BCIu terjadi cukup signifikan pada jarak 5 cm di kedalaman 15 cm ke 20 cm. Peningkatan BCIu pada variasi kedalaman lebih berpengaruh dibandingkan pada variasi jarak antar kolom. Nilai BCIu terbesar yaitu 283,08% pada jarak kolom 4 cm dengan kedalaman kolom 20 cm.

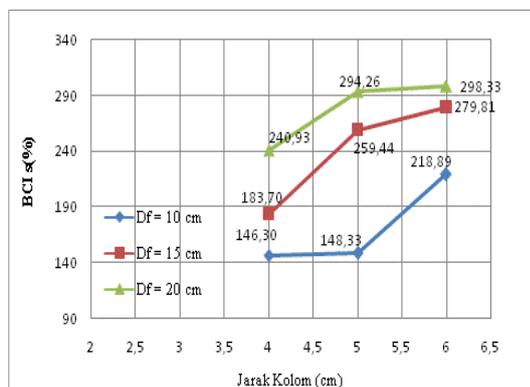
Analisis BCIs

Bearing Capacity Improvement Settlement (BCIs) adalah metode untuk mengetahui perbandingan daya dukung antara tanah stabilisasi dengan tanah asli pada penurunan yang diakibatkan oleh beban. BCIs dilakukan menurut variasi jarak dan kedalaman kolom.



Gambar 9. Hubungan BCIs dengan Variasi Kedalaman Antar Kolom.

Gambar 9 menjelaskan bahwa variasi kedalaman memberikan pengaruh pada peningkatan BCIs. Pada jarak yang sama yaitu (L) 4 cm, (L) 5 cm, dan (L) 6 cm, nilai BCIs semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman kolom. Peningkatan nilai BCIs akibat variasi kedalaman kolom memberikan pengaruh yang cukup besar.



Gambar 10. Hubungan BCIs dengan Variasi Jarak Antar Kolom.

Berdasarkan gambar 10 menjelaskan bahwa variasi jarak memberikan pengaruh pada peningkatan BCIs. Pada kedalaman yang sama yaitu (Df) 10 cm, (Df) 15 cm, dan (Df) 20 cm, semakin kecil jarak antar kolom maka nilai BCIs semakin meningkat. Pada kedalaman 10 cm dengan jarak 4 cm ke 5 cm peningkatan nilai daya dukung cukup kecil, dapat disebabkan karena kepadatan kolom yang tidak sama. Peningkatan nilai BCIs akibat variasi jarak antar kolom tidak memberikan pengaruh yang cukup besar dibandingkan dengan variasi kedalaman kolom. Nilai BCIs terbesar yaitu 298,33% pada konfigurasi jarak antar kolom 4 cm dengan kedalaman 20 cm.

Daya Dukung Izin

Daya dukung izin tanah adalah daya dukung yang dibutuhkan tanah agar bisa didirikan suatu struktur di atasnya.

Tabel 6. Nilai Daya Dukung Izin Tanah Perbaikan.

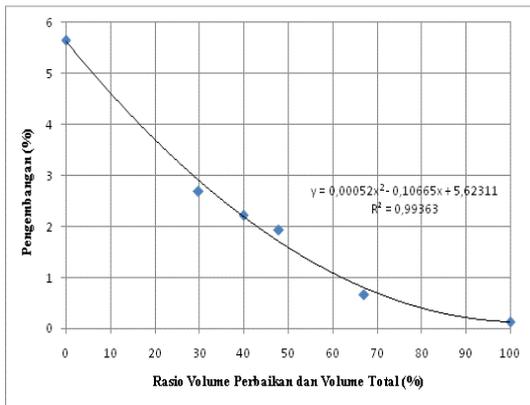
Jenis Benda Uji	Variabel		qu kg/cm ²	Fs	q (qu/Fs) kg/cm ²
	Jarak Kolom	Kedalaman Kolom			
	cm	cm			
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi Kapur 8%	4	10	25,2	1,4	18
	5	10	21,6	1,4	15,4
	6	10	20,4	1,4	14,6
	4	15	30,8	1,4	22,0
	5	15	26,8	1,4	19,1
	6	15	25,6	1,4	18,3
	4	20	36,8	1,4	26,3
	5	20	35,2	1,4	25,1
	6	20	32,8	1,4	23,4
Tanah Asli + Stabilisasi Kapur 100%	-	-	42,40	1,4	30,3

Beban yang mampu ditahan untuk struktur jalan raya pada penelitian ini didapatkan dari total perhitungan tegangan dari kendaraan akibat beban roda sebesar 10 ton, akibat beban perkerasan dan akibat beban lapisan pondasi. Hasil perhitungan berupa beban per satuan luas, untuk jalan raya dengan tebal perkerasan 25 cm dan tebal pondasi 35 cm yaitu 2,5215 kg/cm². Tabel 6 menjelaskan bahwa seluruh konfigurasi kolom DSM mampu menahan beban luar sesuai yang diharapkan.

Pemeriksaan Pengembangan (*Swelling*)

Sampel tanah untuk uji pengembangan dalam keadaan jenuh dengan kadar air optimum (OMC). Selain itu, untuk mengetahui pengaruh persentase tanah yang distabilisasi terhadap nilai

swelling maka sampel tanah ditambahkan variasi jumlah kolom DSM.



Gambar 11. Hubungan Nilai Pembengangan dengan Persentase Stabilisasi.

Gambar 11 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase stabilisasi mengakibatkan penurunan pada pengembangan tanah ekspansif. Pada penelitian ini, stabilisasi dengan kapur kadar 8% hanya dapat mengurangi pengembangan tanah lempung ekspansif, karena dengan stabilisasi 100% tanah tetap mengalami pengembangan (*swelling*) walaupun tidak terlalu besar dibandingkan tanah tanpa stabilisasi.

Persamaan dari hasil hubungan persentase stabilisasi di dalam mold dengan nilai pengembangan dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung nilai pengembangan (*swelling*) tanah di dalam *box*. Selain dengan persamaan, dapat juga dilakukan dengan mengeplotkan persentase stabilisasi tanah dalam *box* pada gambar 11, sehingga dapat diketahui nilai pengembangan tanah dalam *box*.

Tabel 7. Nilai Pengembangan Tanah dalam *Box*.

Jenis Benda Uji	Variabel			Pembengangan (<i>swelling</i>)	
	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	Persentase Stabilisasi		
	cm	cm	%		
Tanah Asli	-	-	0	5,62	
	4	10	37,87	2,33	
	5	10	30,87	2,83	
	6	10	29	2,93	
	4	15	56,80	1,24	
	5	15	46,31	1,80	
Tanah Asli + Kolom Stabilisasi Kapur 8%	6	15	44,21	1,92	
	4	20	75,73	0,53	
	5	20	61,74	1,02	
	6	20	58,95	1,14	
	Tanah Asli + Stabilisasi Kapur 100%			100	0,16

Persentase mengembang yang diizinkan untuk tanah lempung ekspansif di kecamatan Ngasem, Bojonegoro yaitu 0,8% untuk struktur *flexible*

pavement dan untuk struktur *rigid pavement* yaitu 1,2%. Pada tabel 7. menunjukkan bahwa yang sesuai untuk konfigurasi panels adalah stabilisasi kolom DSM jarak 4 cm untuk *flexible pavement* dengan kedalaman 20 cm. Sedangkan, untuk *rigid pavement* dengan stabilisasi kolom DSM yaitu jarak 4 cm, 5 cm dan 6 cm pada kedalaman 20 cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Pengembangan (*swelling*) tanah lempung ekspansif di Ngasem, Bojonegoro mengalami penurunan yang signifikan setelah dilakukan perbaikan dengan stabilisasi kapur 100%. Nilai *swelling* tanah asli sebesar 5,62% dan menurun menjadi 0,16% setelah dilakukan perbaikan. Daya dukung tanah juga mengalami peningkatan setelah dilakukan perbaikan dengan stabilisasi kapur 100%. Daya dukung tanah asli sebesar 13 kg/cm² meningkat menjadi 42,4 kg/cm². Hal tersebut dikarenakan persentase stabilisasi lebih besar menyebabkan tanah lempung menjadi lebih keras dan kuat.
2. Perbaikan tanah dengan variasi jarak dan kedalaman kolom pada metode DSM berpola *panels* memberikan pengaruh terhadap peningkatan daya dukung tanah. Semakin dalam kolom (Df) dan semakin kecil jarak (L) antar kolom maka daya dukung tanah akan semakin meningkat. Daya dukung terbesar mencapai 32,8 kg/cm² terjadi pada kedalaman 20 cm dengan jarak 4 cm antar kolom.
3. Pengembangan (*swelling*) tanah lempung ekspansif setelah distabilisasi kapur kadar 8% menggunakan metode kolom DSM mengalami penurunan. Semakin tinggi kedalaman kolom (Df) dan semakin kecil jarak (L) antar kolom maka persentase stabilisasi semakin besar, sehingga pengembangan tanah semakin menurun. Pengembangan (*swelling*) tanah terkecil yaitu terkecil pada kedalaman 20 cm dengan jarak 4 cm antar kolom yaitu 0,53%.
4. Daya dukung izin tanah untuk jalan raya di Ngasem, Bojonegoro sebesar 2,5215 kg/cm². Seluruh variasi jarak dan kedalaman pada penelitian ini memenuhi daya dukung izin, tetapi pada kedalaman terdalam dan jarak terkecil memberikan daya dukung terbesar yaitu 12,3 kg/cm². Sehingga jarak dan kedalaman yang cocok digunakan dengan pola *panels* yaitu jarak 4 cm dengan kedalaman 20 cm.

- Persentase mengembang yang diizinkan di Ngasem, Bojonegoro untuk struktur *flexible pavement* yaitu 0,8% dan untuk struktur *rigid pavement* yaitu 1,2%. Sehingga, pengembangan tanah yang memenuhi untuk *flexible pavement* yaitu pada kolom dengan jarak 4 cm dan kedalaman kolom 20 cm. Sedangkan, pengembangan tanah yang memenuhi untuk *rigid pavement* yaitu pada kolom dengan jarak 4 cm, 5 cm dan 6 cm dengan kedalaman kolom 20 cm.

Setelah melakukan analisis dan pembahasan pada penelitian ini, jadi saran yang diberikan untuk mencapai hasil yang lebih optimal yaitu:

- Ukuran *box* yang digunakan untuk penelitian selanjutnya seharusnya lebih besar lagi, atau dengan bahan yang berbeda seperti baja. Hal tersebut diharapkan agar *box* lebih kuat dan tidak mudah pecah.
- Pengadukan tanah semestinya menggunakan alat atau dengan metode yang bisa distandardisasi untuk pencampuran seluruh benda uji. Hal tersebut diharapkan agar air dan tanah dapat tercampur dengan merata sehingga tanah dapat mencapai kepadatan yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- AUSTROAD. 1998. *Guide to Stabilization in Roadworks*. Austroad Publication No. AP-60/98: Sydney.
- Aust Stab. 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. 1984. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta
- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- 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 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 2006. *Principles of Geotechnical Engineering (Sixth Edition)*. Kanada: Thomson.
- 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.
- Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- 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*. Linköping : 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.
- Nelson, J. D., Miller, D. J., (1992) *Expansive Soils, Developments in Geotechnical Engineering 12*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.

- Putro, Galih K. 2016. *Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom Deep Soil Mixing Tipe Single (DSM) Tipe Panels Dengan Campuran 10% Kapur Terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- 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 Potential 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 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.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah 1*. Jogjakarta: Kanisius
- 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 Material and Environment, Bangkok, Thailand, Nov. 14-16, 2016, ISBN: 978-4-9905958-6-9- C3051