

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM *DEEP SOIL MIXING*
(DSM) TIPE PANELS DENGAN CAMPURAN 10% KAPUR TERHADAP
DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik



**GALIH KARNO PUTRO
NIM. 125060102111001**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**



PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM *DEEP SOIL MIXING* (DSM) TIPE PANELS DENGAN CAMPURAN 10% KAPUR TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF

Galih Karno Putro, Arief Rachmansyah, Yulvi Zaika
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: gkarnoputro@gmail.com

ABSTRAK

Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki kembang susut tinggi dan daya dukung rendah. Untuk memperbaiki sifat buruk pada tanah ekspansif dilakukan upaya stabilisasi mekanik maupun kimiawi. Penelitian ini menggunakan stabilitas kimiawi, dengan cara mencampurkan bahan additive (kapur) pada tanah menggunakan metode *deep soil mix* (DSM). Metode ini merupakan upaya perbaikan tanah dalam yang dilakukan dengan cara membuat kolom-kolom tanah dengan campuran bahan kapur pada lokasi tanah yang diperbaiki. Dari hasil uji klasifikasi tanah dan uji konsistensi tanah, tanah dari Desa Jelu, Kec. Ngasem, Kab.Bojonegoro, tergolong tanah ekspansif sehingga diperlukan upaya stabilisasi tanah. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat sampel tanah asli di dalam box dengan volume tanah 30x30x20 cm³. Pada pengujian tanah Stabilisasi diberikan kolom berdiameter 3cm dengan variasi jarak (3cm; 3,75cm dan 4,5cm) dan panjang (10cm, 15cm dan 20cm) berpola panels. Uji pembebanan dilakukan pada tanah asli dan tanah stabilisasi. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa semakin dekat jarak dan semakin panjang kedalaman kolom dapat meningkatkan daya dukung tanah. Berdasarkan Nilai Bearing Capacity Improvement (BCI), Hasil daya dukung maksimum terjadi pada jarak terdekat ($L = 3\text{cm}$) dan panjang terpanjang ($D_f = 20\text{cm}$), daya dukung meningkat 200,301% dari tanah asli. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh jarak terlihat lebih dominan dibanding pengaruh panjang, dibuktikan dengan rata-rata peningkatan BCI jarak lebih tinggi dibanding rata-rata peningkatan BCI panjang. Selain itu, kenaikan rasio volume DSM dalam tanah dapat mengurangi potensi pengembangan (swelling).

Kata kunci: Tanah Ekspansif, Deep Soil Mix, Jarak, Panjang, Daya Dukung, Swelling

ABSTRACT

Expansive soil is a type soil that has a high swelling-potential and low bearing capacity. To repaired the vices on expansive soil was conducted stabilization efforts by mechanical or chemical. This research used the chemical stability, by mixing the additive materials (lime) on the soil using *deep soil mix* (DSM) methods. This method is an improvement effort in deep soil that done by making columns of soil with a mixture lime on the location of the soil that repaired. From the test results of soil classification and consistency test soil, soil from Jelu Village, Ngasem Subdistrict,Bojonegoro Regency, classified as expansive soil so needed the soil stabilization efforts. This research was done by making the originalsoil sample in a box with a soil volume of 30x30x20 cm³. In testing of soil stabilization given column with diameter 3cm with a variation of the spacing (3cm; 3,75cm and 4,5cm) and length (10cm, 15cm and 20cm) panels arrangement. Imposition test was conducted on the original soil and soil stabilization. From the result analysis showed that the closer spacing and longer depth of column can increase the bearing capacity of soil. Based on the Value Bearing Capacity Improvement (BCI), the maximum bearing capacity results ocured at the closest spacing ($L = 3\text{cm}$) and the longest length ($D_f = 20\text{cm}$), the bearing capacity increasing 200,301% from the original soil. The results of this research indicate that the effect of spacing looks more dominant than the effect of a length, proved with the average increase in BCI spacing is higher than the average increase in BCI length. Except it, the increase in the ratio of DSM volume in the soil can reduce the potential for development (swelling).

Keywords: Expansive Soil, Deep Soil Mix, Spacing, Length, Bearing Capacity, Swelling

PENDAHULUAN

Di dalam merancang atau membangun suatu konstruksi, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan. Salah satunya adalah tanah, dimana tanah merupakan bagian terpenting dalam suatu konstruksi, fungsi utama tanah adalah sebagai pijakan yang menerima beban dari konstruksi di atasnya. Namun jenis tanah tidak selalu baik, salah satunya adalah tanah lempung ekspansif. Tanah ekspansif memiliki sifat tanah yang kurang baik seperti plastisitas yang tinggi, kekuatan geser yang rendah, kemampuan atau perubahan volume yang tinggi, dan potensi kembang susut yang besar. Sehingga akan sangat berbahaya apabila mendirikan struktur bangunan di atasnya. Berdasarkan penelitian pendahuluan, tanah di wilayah Desa Jelu, Kec. Ngasem, Kab. Bojonegoro tergolong tanah lempung ekspansif.

Penelitian ini menggunakan metode *deep soil mix* (DSM) untuk mencampur kapur dengan tanah. Meskipun penelitian mengenai bahan *additive* guna memperbaiki sifat mekanis tanah sudah banyak dilakukan. Namun permasalahan mengenai DSM masih belum banyak diteliti di Indonesia. Kemungkinan hal tersebut terjadi dikarenakan terbatasnya informasi mengenai stabilisasi tanah dengan menggunakan DSM yang masih belum banyak diaplikasikan di Indonesia. Untuk itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh jarak dan panjang kolom DSM berpola *panels* dengan campuran 10 % kapur terhadap daya dukung tanah akibat dari beban vertikal yang bekerja.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan panjang kolom tipe *Panels* dengan diameter 3 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 maksimum yang digunakan untuk meningkatkan nilai daya dukung pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 10% kapur.

3. Untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah ekspansif di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM) dengan bahan aditif 10% kapur terhadap nilai pengembangan (*swelling*) tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah lempung dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis tergantung pada komposisi serta mineral pembentuknya. Ditinjau dari mineral pembentuk butiran lempung, tanah lempung dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Lempung ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut tanah tinggi disebabkan oleh kandungan mineral ekspansif sehingga memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi. Apabila terjadi peningkatan kadar air, lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan meningkatnya tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan. Namun ketika kadar air berkurang sampai batas susutnya, maka akan terjadi penyusutan. Menurut Holtz (1956), potensi pengembangan tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga potensi pengembangan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan indeks plastisitasnya, seperti yang ada pada tabel berikut ini :

Tabel 1 Hubungan Potensial Mengembang Dengan Nilai Indeks Plastisitas (IP)

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

Sumber : Chen (1975)

Tabel 2 Klasifikasi Potensi Mengembang Didasarkan Pada *Atterberg* Limit

Batas susut <i>Atterberg</i>	Susut Linear	Derajat Mengembang
%	%	
<10	<8	Kritis
10-12	5-8	Sedang
>12	0-8	Tidak Kritis

Sumber : Altemeyer (1955)

Tabel 3 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid

Data Indeks Properties				
Colloid (<0,00 mm)	Liquid Limit (%)	Standart Penetration	% Total Volume Change	Degree of expansion
>28	>35	<11	>30	Very High
20-13	25-41	7-12	20-30	High
13-23	15-28	10-16	10-20	Medium
<15	<28	>15	<10	Low

Sumber : Holtz dan Gibbs (1956)

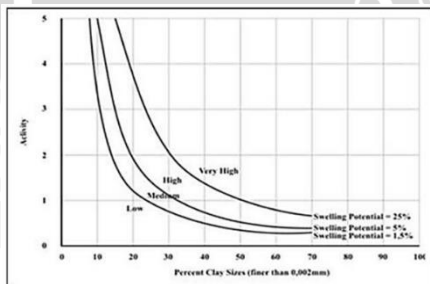
Skempton (1953) mengidentifikasi aktivitas sebagai perbandingan antara indeks plastisitas dengan persentase fraksi ukuran lempung (yaitu persentase dari berat butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm atau 2 μm) , atau dinyatakan dalam persamaan :

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

Dimana : A = aktivitas

PI = Indeks Plastisitas (%)

C = Presentase Lempung < 0,002 mm



Gambar 1 Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang

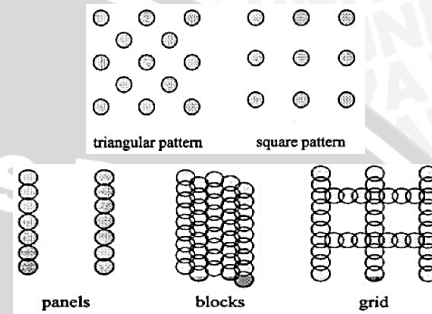
Sumber : Seed at al. (1962)

Deep Soil Mixing (DSM) berguna untuk stabilisasi tanah pada lapisan dalam dan merupakan stabilisasi *in-situ* dimana pengikat basah atau kering dimasukkan ke dalam tanah dan dicampur dengan tanah lunak (lempung, gambut atau tanah organik) dengan cara mekanik atau dengan alat pencampur berupa bor atau *auger*. Pengikat tersebut bisa berupa bahan aditif seperti semen, kapur, campuran semen-kapur dan/atau bahan aditif lainnya.

Mirja Kosche (2004) menyatakan, metode ini berguna untuk memperkecil penurunan dan/atau meningkatkan stabilitas dari tanah. Selain itu, DSM dapat berperan seperti *vertical*

drain dan mempercepat proses penurunan (*settlement*).

Dalam metode pelaksanaan Deep Soil Mixing (DSM) terdapat beberapa pola yang sering diterapkan, diantaranya *pola triangular pattern, pola square, pola pattern, pola panels, pola blocks* , dan *pola grid*. Gambar pola DSM dapat dilihat pada **Gambar 2**



Gambar 2 Pola kolom Deep Soil Mixing

Sumber : Mirja (2004)

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Menurut Terzaghi (1943) dalam Hardiyatmo (2011) daya dukung tanah dapat didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat menahan beban tanpa mengalami keruntuhan. Daya dukung dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

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

Dimana : q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m²)

P_u = beban ultimit (kN)

A = luas pondasi (m²)

Daya dukung ijin tergantung pada nilai Faktor Keamanan (SF) yang dipilih. Pada umumnya nilai SF yang dipilih adalah 3, sehingga nilai daya dukung yang diijinkan dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$q_a = \frac{q_{ult}}{SF} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana : q_a = daya dukung batas

SF = faktor keamanan (nilai sekitar 2 sampai 5)

Menurut Terzaghi (1943), kapasitas daya dukung tanah dibagi menurut beberapa jenis pondasi seperti terlihat pada **Tabel 4**

Jenis Pondasi	Kapasitas Daya Dukung
Menerus	$q_u = c. N_c + q. N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma. B. N_\gamma$
Segi Empat	$q_u = 1,3.c. N_c + q. N_q + 0,4. \gamma. B. N_\gamma$
Lingkaran	$q_u = 1,3. c. N_c + q. N_q + 0,3. \gamma. B. N_\gamma$

Menurut Bowles (1986), daya dukung tanah untuk pondasi dangkal bergantung dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai kohesi dan sudut geser dalam akan meningkat apabila dalam kondisi kering atau kondisi kadar air tanah tidak berpengaruh pada pondasi.

Hubungan kuat geser dengan variasi kadar air dan persentase stabilisasi telah dijelaskan Firdaus (2016) kadar air pada tanah lempung ekspansif dengan campuran 10% kapur berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin kecil kadar air, grafik tegangan-regangan tanah akan semakin kaku dan kohesi (c_u) semakin besar. Sedangkan semakin besar rasio volume stabilisasi, nilai kohesi akan semakin besar apabila dibandingkan dengan tanah kondisi asli dan remolded (tanpa perbaikan).

METODE PENELITIAN

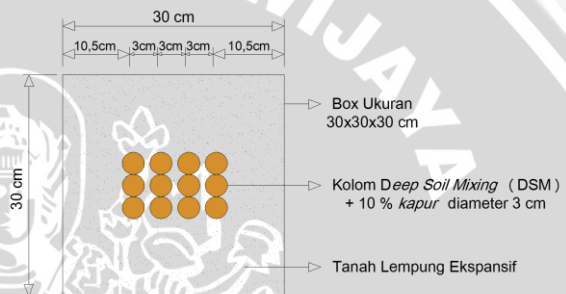
Pengujian Pendahuluan

Untuk mendukung penelitian ini dilakukan penelitian pendahuluan untuk memastikan bahwa kondisi tanah yang akan di uji tergolong tanah lempung ekspansif. Penelitian pendahuluan terdiri dari beberapa macam pengujian yaitu:

1. Pemeriksaan *specific gravity* (ASTM 1992 D 854-92);
2. Pemeriksaan batas cair, batas plastis indeks plastisitas tanah (ASTM 1984 D 4318-84);
3. Pemeriksaan batas susut (ASTM D 427-04);
4. Pengujian klasifikasi tanah metode USCS (ASTM 1992 D 2487-92);
5. Pengujian proktor standar (ASTM D-698 (Metode B))

Pengujian Deep Soil Mixing (DSM)

Pengujian DSM diawali dengan tahap persiapan alat pengujian dan bahan beserta pembuatan sampel dalam *box* dengan volume tanah 30x30x20 cm³. Tanah yang digunakan merupakan tanah dari desa Jelu, Kab. Bojonegoro dengan bahan *aditive kapur*. Setelah pembuatan sampel dalam *box* dilanjutkan proses instalasi kolom-kolom DSM sesuai variasi jarak (1D, 1,25D dan 1,5D) dan panjang (2B; 3B dan 4B). D merupakan diameter kolom DSM (D=3cm) dan B adalah lebar pelat uji beban (B=5cm). Berikut ini adalah pemodelan DSM pola *panels* dalam penelitian:

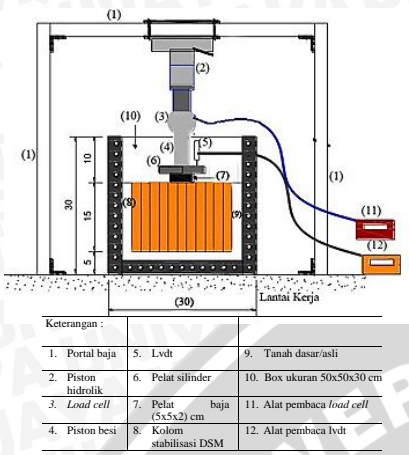


Gambar 3 Pemodelan DSM pola *Panels*

Uji pembebanan dilakukan pada tanah asli dan tanah stabilisasi DSM. Pada tanah asli langsung dilakukan pembebanan setelah pembuatan sampel, sedangkan pada tanah stabilisasi DSM, setelah proses instalasi selesai dilanjutkan proses pemeraman (curing) selama 3 hari. Setelah pemeraman selama 3 hari dilanjutkan uji pembebanan. Proses pembebanan menggunakan beban vertikal berupa dongkrak hidrolik manual. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi pada plat uji beban digunakan *load cell* dengan kapasitas 5 ton. *Dial LVDT* digunakan untuk mengetahui besarnya penurunan tanah yang terjadi pada permukaan tanah karena uji beban pada pelat uji. Pelat distribusi beban memiliki ukuran permukaan 5x5 cm². Pembebanan dilakukan dengan menetapkan keseragaman penurunan 50 digit pada pembacaan LVDT. Pembebanan dihentikan ketika pembacaan beban pada *load cell* menunjukkan beban tiga kali sama berturut-turut pada penurunan yang terus berlanjut.

Hasil akhir dari uji pembebanan akan diperoleh grafik hubungan beban - penurunan

tanah sehingga di dapatkan daya dukung tanah ekspansif. Berikut ini adalah gambar skema uji pembebanan:

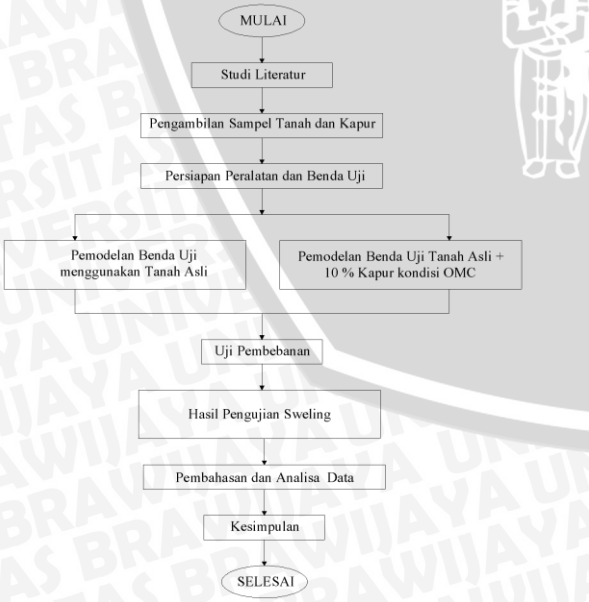


Gambar 4 Skema Uji Pembebanan

Untuk mengetahui pengaruh jarak dan panjang kolom *deep soil mix* (DSM) guna meningkatkan daya dukung tanah, dilakukan analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI). Nilai BCI dapat diperoleh dengan rumus:

$$BCI = \frac{qu \text{ tanah stabilisasi (DSM)}}{qu \text{ tanah asli}} \times 100\% \dots\dots (3)$$

Untuk alur penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 5 Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN Penelitian Pendahuluan

Specific Gravity

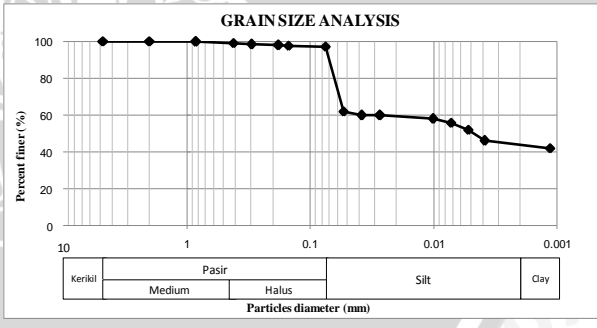
Dari dua benda uji tanah asli, diperoleh nilai relatif sama, sehingga nilai *G_s* rata-rata tanah asli adalah sebesar 2,556. Dengan besar nilai *G_s* tersebut, maka tanah di Desa Jelu, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro tergolong dalam klasifikasi tanah lempung anorganik.

Tabel 5 Specific gravity tanah Kabupaten Bojonegoro

Labu ukur	1	2
Specific Gravity (<i>G_s</i>)	2,557	2,554
Rata-rata (<i>G_s</i>)	2,556	

Klasifikasi Tanah

Ada dua macam cara yang digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel tanah, yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer. Analisis saringan (*mechanical grain size*) untuk distribusi ukuran butiran tanah. Analisis hidrometer untuk mengetahui distribusi ukuran butiran lolos saringan no. 200. Hasil analisis yang dilakukan ditampilkan pada Gambar berikut ini :



Gambar 6 Analisis Saringan Dan Hidrometer

Dari Gambar 6, dapat diketahui bahwa tanah yang terdapat di Desa Jelu, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro memiliki prosentase lolos saringan no.200 sebesar 97,03 % dan menurut sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk jenis tanah berbutir halus.

Atterberg Limit

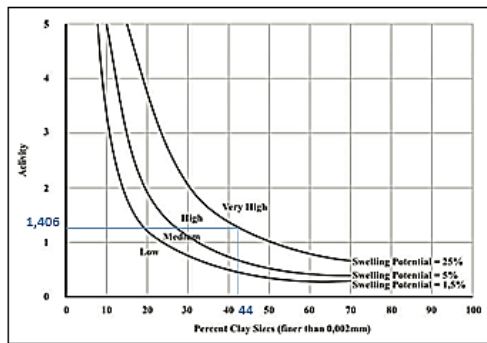
Untuk hasil pemeriksaan batas batas *atterberg*, didapatkan hasil sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut ini :

Tabel 6 Hasil Pengujian Batas-batas *Atterberg*

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

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *Unified (USCS)* dan kriteria *specific gravity (Gs)*, tanah lempung dari Desa Jelu, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ini tergolong sebagai tanah CH (lempung dengan plastisitas tinggi).

Diketahui nilai PI sebesar 47,81 % dan prosentase tanah dengan ukuran 0,002 mm sekitar 44 %. Sehingga akan diperoleh nilai aktivitas tanah asli sebesar 1,406. Kemudian hasil perhitungan nilai aktivitas dan prosentase ukuran tanah < 0,002 mm diplotkan ke dalam grafik potensi pengembangan terlihat pada **Gambar 7**

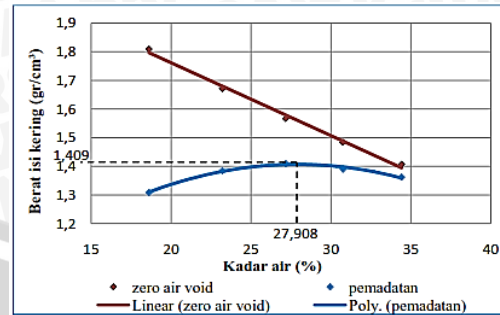


Gambar 7 Grafik Klasifikasi Berdasarkan Potensi Mengembang

Dari ketiga kriteria yang ada, dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan sebagai benda uji tergolong tanah ekspansif tinggi sehingga dapat dilanjutkan pada proses pembuatan benda uji.

Penentuan Kadar Air Untuk Campuran DSM

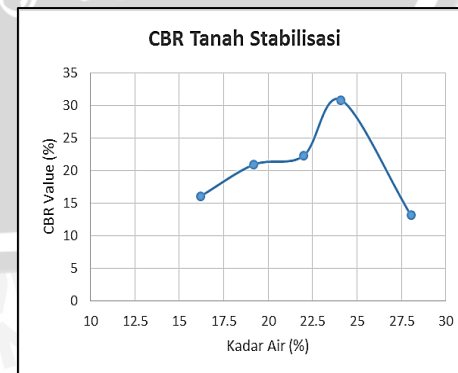
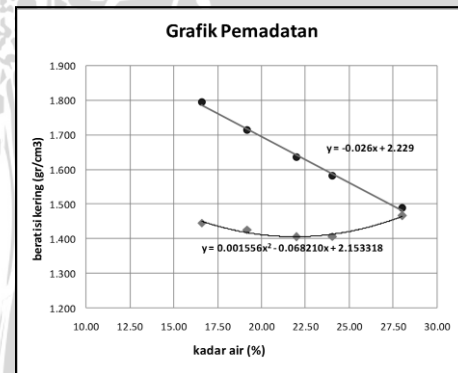
Grafik hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli dapat dilihat pada **Gambar 8**



Gambar 8 Pemadatan Standar Tanah Asli

Dari **Gambar 8** maka besarnya kadar air optimum (OMC) untuk tanah asli adalah 27,908 % dengan berat isi kering maksimum (γ_d) sebesar 1,409 gr/cm³. Setelah 3 kali uji pemadatan pada tanah stabilisasi 10 % kapur tidak didapatkan nilai kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering ($\gamma_{d\text{ maks}}$) pada tanah stabilisasi dengan campuran 10 % kapur tersebut.

Sehingga dilakukan pengujian California Bearing Ratio (CBR). Hasil dari uji Pemadatan dan Uji CBR pada tanah stabilisasi dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Tabel 8**.



Gambar 9 Grafik Hasil Pemadatan dan Uji CBR Tanah Stabilisasi

Tabel 8 Perbandingan nilai Kadar Air dengan Berat Isi Kering Tanah Stabilisasi

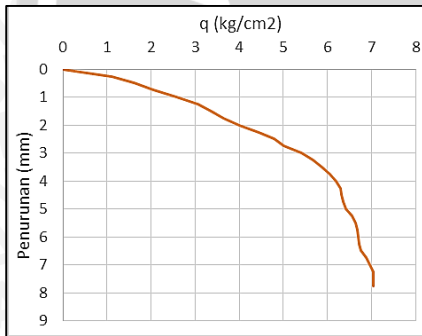
No. Sampel	Kadar air (w) (%)	Berat Isi Kering (γ_d) (gr/cm ³)	CBR Value (0.1") (%)
1	16.60	1.445	16.12
2	19.20	1.426	20.97
3	21.99	1.406	22.33
4	24.10	1.406	30.87
5	28.03	1.466	13.20

Dari **Tabel 8** didapatkan nilai CBR paling besar dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 24,10% dan berat isi kering maksimum (γ_{dmax}) sebesar 1,406% yang akan digunakan sebagai standarisasi kepadatan pada kolom DSM.

Hasil Uji Pembebanan

Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli

Untuk pembebanan awal dilakukan terhadap sampel tanah yang belum distabilisasi dengan metode DSM.



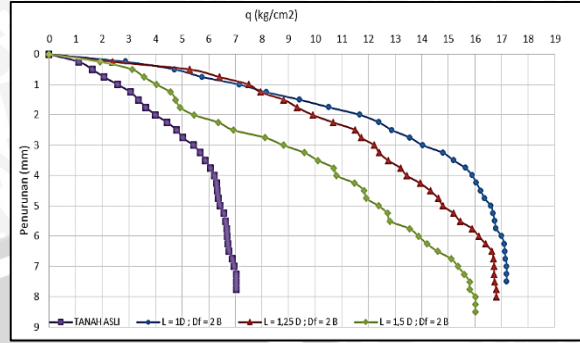
Gambar 10 Hubungan daya dukung dengan penurunan tanah asli

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa daya dukung tanah asli didapatkan sebesar 7,04 kg/cm² dengan penurunan sebesar 7,75 mm.

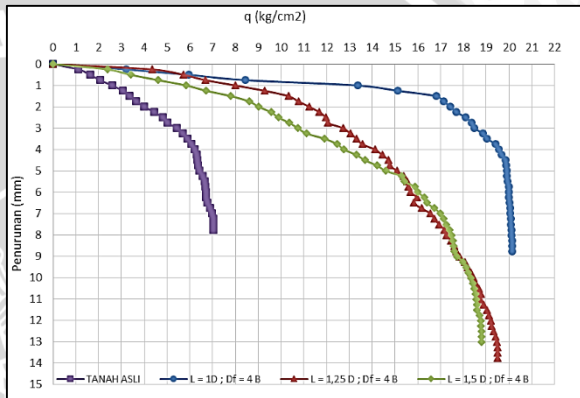
Uji Pembebanan Tanah Stabilisasi 10 % Kapur

Tabel 6 Daya Dukung dengan Variasi Jarak (L) Pada kolom DSM

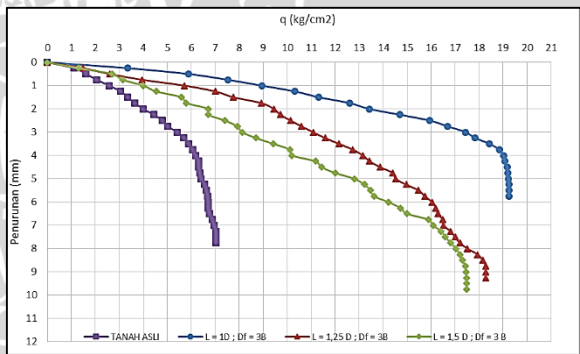
Jenis Sampel	Panjang Kolom (Df)		Pu	qu
	cm	cm		
Tanah Asli	-	-	176	7.04
	2B	1,5 D	400.5	16.02
		1,25 D	417.5	16.7
1 D		430	17.2	
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	3B	1,5 D	437	17.48
		1,25 D	469	18.76
		1 D	481	19.24
	4B	1,5 D	470	18.8
		1,25 D	495.5	19.82
		1 D	503.5	20.14



Gambar 11 Perbandingan nilai q dan penurunan dengan variasi jarak terhadap Df = 2B



Gambar 12 Perbandingan nilai q dan penurunan dengan variasi jarak terhadap Df = 3B



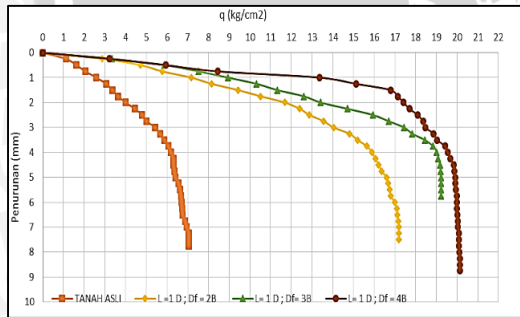
Gambar 13 Perbandingan nilai q dan penurunan dengan variasi jarak terhadap Df = 4B

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa variasi jarak yang berbeda dengan panjang stabilisasi yang sama dapat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Di mana pada jarak paling rapat, daya dukung lebih tinggi dibandingkan jarak antar kolom yang diregangkan.

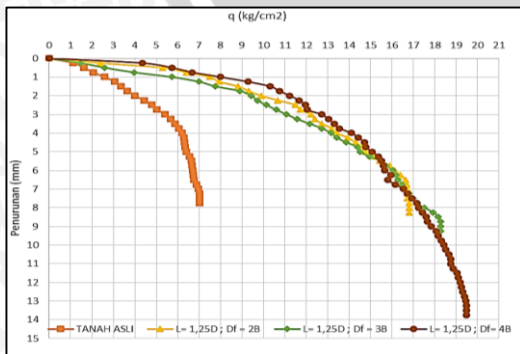
Pada Gambar di atas terlihat bahwa perbedaan penurunan yang jauh terhadap variasi $L=1 D$; $Df=4B$ dibandingkan yang lain. Di mana pada penurunan yang relatif kecil, daya dukung yang dihasilkan sudah cukup besar. Hal ini diidentifikasi karena perbedaan volume kapur pada kolom DSM dan sifat sementasi kapur. Pada analisis variasi jarak, nilai daya dukung tertinggi terletak pada jarak kolom DSM $1D = 3cm$ pada panjang kolom DSM 20 cm yaitu sebesar $20,14 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan $8,75 \text{ mm}$.

Tabel 7 Daya Dukung dengan Variasi Panjang (Df) Pada kolom DSM

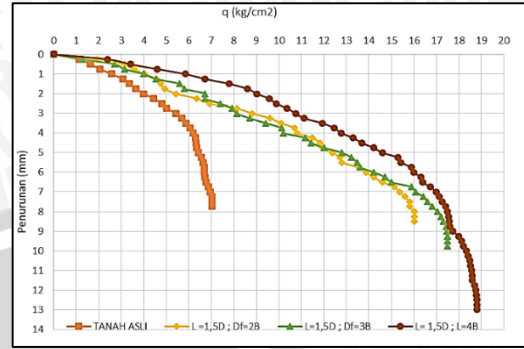
Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	Pu	qu
	cm	cm	kg	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	176	7.04
	1D	2B	430	17.2
		3B	481	19.24
		4B	503.5	20.14
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	1,25 D	2B	417.5	16.7
		3B	469	18.76
	1,5 D	4B	495.5	19.82
		2B	400.5	16.02
	1,5 D	3B	437	17.48
		4B	470	18.8



Gambar 14 Perbandingan nilai q dan penurunan dengan variasi Panjang terhadap $L = 1 D$



Gambar 15 Perbandingan nilai q dan penurunan dengan variasi Panjang terhadap $L = 1,25D$



Gambar 16 Perbandingan nilai q dan penurunan dengan variasi Panjang terhadap $L = 1,5 D$

Dari Grafik tersebut dapat dilihat bahwa variasi panjang yang berbeda dengan jarak stabilisasi yang sama juga dapat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Dapat diperhatikan Pada Grafik adanya perpotongan. Hal ini dikarenakan faktor pelaksanaan uji beban menggunakan dongkrak hidrolik manual yang menyebabkan kecepatan pemompaan dongkrak menjadi tidak seragam

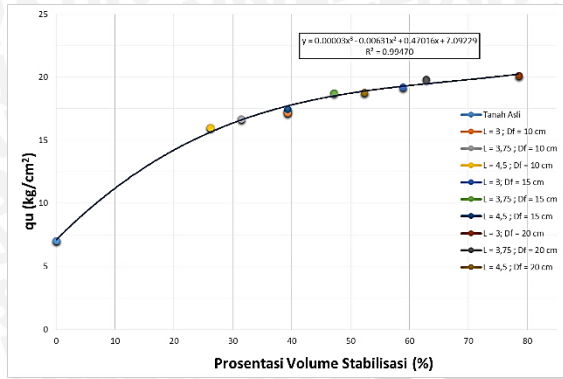
Sehingga secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa nilai daya dukung akan meningkat seiring dengan semakin rapatnya jarak dan semakin panjangnya kolom tanah stabilisasi.

Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

Prosentase tanah yang distabilisasi dengan kolom DSM dihitung pada area tanah seluas *bearing plate*, yaitu 25 cm^2 . Hasil pengujian eksperimen daya dukung terhadap prosentase tanah stabilisasi ditampilkan pada **Tabel 8** dan **Gambar 17**

Tabel 8 Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

Jenis Benda Uji	Variabel	Prosentase Volume Stabilisasi	Pu	qu
		%	kg	kg/cm ²
Tanah Asli	-	0	176	7.04
	$L = 3 ; Df = 10 \text{ cm}$	39.27	430	17.2
	$L = 3,75 ; Df = 10 \text{ cm}$	31.42	417.5	16.7
Tanah Asli + Kolom	$L = 4,5 ; Df = 10 \text{ cm}$	26.18	400.5	16.02
	$L = 3 ; Df = 15 \text{ cm}$	58.90	481	19.24
Stabilisasi DSM dengan	$L = 3,75 ; Df = 15 \text{ cm}$	47.12	469	18.76
	$L = 4,5 ; Df = 15 \text{ cm}$	39.27	437	17.48
10% Kapur	$L = 3 ; Df = 20 \text{ cm}$	78.54	503.5	20.14
	$L = 3,75 ; Df = 20 \text{ cm}$	62.83	495.5	19.82
	$L = 4,5 ; Df = 20 \text{ cm}$	52.36	470	18.8



Gambar 17 Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

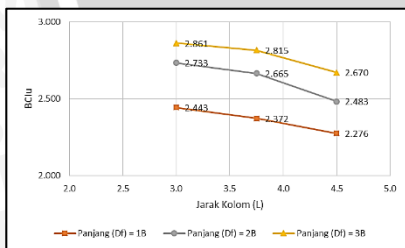
Dari Gambar diatas, dapat diketahui bahwa semakin besar prosentase tanah yang distabilisasi, semakin besar pula nilai daya dukung yang didapatkan.

Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI)

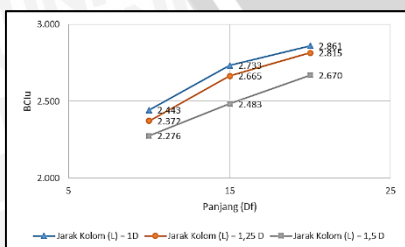
Analisis BCIu

Tabel 9 Nilai BCIu untuk variasi panjang dan jarak

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L) cm	Panjang Kolom (Df) cm	Pu kg	qu kg/cm ²	Penurunan mm	BCIu
Tanah Asli			176	7.04	7.75	1
	1D	2B	430	17.2	7.5	2.443
		3B	481	19.24	9.75	2.733
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	1,25 D	4B	503.5	20.14	10.25	2.861
		2B	417.5	16.7	8.25	2.372
	1,5 D	3B	469	18.76	10.75	2.665
4B		495.5	19.82	15	2.815	
2B		400.5	16.02	8.5	2.276	
	3B	437	17.48	9.75	2.483	
	4B	470	18.8	13	2.670	



Gambar 18 Perbandingan pengaruh variasi jarak (L) terhadap nilai BCIu



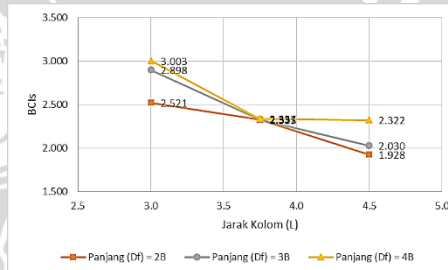
Gambar 19 Perbandingan pengaruh variasi Panjang (Df) terhadap nilai BCIu

dari Tabel dan Grafik diatas dapat dikatakan bahwa peningkatan nilai daya dukung lebih dominan dipengaruhi oleh pengaruh jarak (L) daripada pengaruh panjang (Df) kolom tanah stabilisasi yaitu sebesar 0,21%.

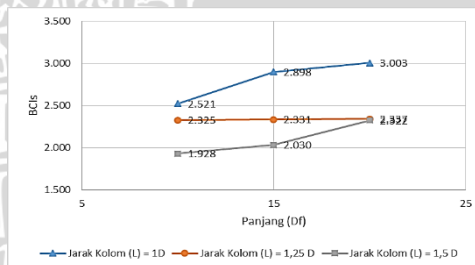
Analisis BCIs

Tabel 10 Nilai BCIs untuk variasi panjang dan jarak

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L) cm	Panjang Kolom (Df) cm	Pu kg	qu kg/cm ²	Penurunan mm	BCIs
Tanah Asli			166	6.64	5.5	1
	1D	2B	418.5	16.74	5.5	2.521
		3B	481	19.24	5.5	2.898
Tanah Asli + Kolom DSM 10 % Kapur	1,25 D	4B	498.5	19.94	5.5	3.003
		2B	386	15.44	5.5	2.325
	1,5 D	3B	387	15.48	5.5	2.331
4B		388	15.52	5.5	2.337	
2B		320	12.8	5.5	1.928	
	3B	337	13.48	5.5	2.030	
	4B	357	15.42	5.5	2.322	



Gambar 20 Perbandingan pengaruh variasi jarak (L) terhadap nilai BCIs



Gambar 21 Perbandingan pengaruh variasi Panjang (Df) terhadap nilai BCIs

Sedangkan analisis BCIs peningkatan daya dukung (qu) yang diakibatkan oleh pengaruh jarak (L) menghasilkan kenaikan daya dukung yang cukup signifikan dibandingkan panjang kolom (Df) yaitu sebesar 0,36 %.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak (L) dan panjang kolom (Df) DSM sama sama mempengaruhi peningkatan daya dukung tanah stabilisasi. Daya dukung paling maksimum terletak pada jarak 1D dan panjang 4B dengan peningkatan sebesar 200,301 %.

Pemeriksaan Swelling

Nilai *swelling* pada benda uji yang dimodelkan di dalam *box* dapat diketahui menggunakan persamaan pada Grafik Prosentase Stabilisasi Terhadap Nilai *Swelling* oleh Adelina Firdaus (2016). Sehingga besarnya nilai *swelling* benda uji model dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11 Hasil Uji Swelling Benda Uji

Jenis Benda Uji	Variabel	Prosentase Stabilisasi	Penurunan (<i>Swelling</i>)	Pengembangan <i>Swelling</i> dari tanah asli
		%	%	%
Tanah Asli	-	0	4.133	
	L = 3 ; Df = 10 cm	39.27	1.623	60.723
	L = 3,75 ; Df = 10 cm	31.42	1.977	52.155
Tanah Asli + Kolom	L = 4,5 ; Df = 10 cm	26.18	2.249	45.589
	L = 3 ; Df = 15 cm	58.90	1.013	75.492
	L = 3,75 ; Df = 15 cm	47.12	1.332	67.770
Stabilisasi DSM dengan 10% Kapur	L = 4,5 ; Df = 15 cm	39.27	1.623	60.723
	L = 3 ; Df = 20 cm	78.54	0.796	80.751
	L = 3,75 ; Df = 20 cm	62.83	0.938	77.306
	L = 4,5 ; Df = 20 cm	52.36	1.173	71.628

Dari **Tabel 11**, tanah yang distabilisasi kolom DSM dengan panjang 20 cm memberikan nilai *swelling* yang paling kecil yaitu sebesar 0,796% dan menurun sebesar 80,751% dari tanah sebelum distabilisasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa stabilisasi menggunakan kolom DSM ini berpengaruh terhadap penurunan nilai *swelling* tanah lempung ekspansif.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang didapatkan paa peneltian mengenai pengaruh variasi jarak dan panjang stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan metode deep soil mixing (DSM) tipe panels diameter 3 cm terhadap daya dukung tanah, maka dapat ditarik kesimpulan sebebgai berikut :

1. Variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi menggunakan metode DSM dengan konfigurasi panels diameter 3 cm dengan penambahan zat aditif 10% kapur sebagai bahan stabilisasi tanah dapat mempengaruhi peningkatan nilai daya dukung (qu) terhadap tanah tanpa stabilisasi.
2. Semakin besar jarak antar kolom DSM, maka nilai daya dukung semakin menurun . Sedangkan semakin besar panjang kolom DSM, nilai daya dukung yang dihasilkan semakin meningkat.

3. Jarak dan panjang kolom yang dapat menghasilkan nilai daya dukung maksimum yaitu jarak antar kolom terkecil dengan panjang kolom terbesar. Yaitu pada jarak $L=1D$ dan panjang $Df = 4B$.

4. Stabilisasi dengan bahan aditif *kapur* pada metode DSM dapat mengurangi nilai pengembangan (*swelling*) seiring dengan meningkatnya volume tanah yang distabilisasi.

Saran

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

1. Perlu dilakukan variasi mengenai lama waktu pemeraman (*curing*) benda uji untuk mendapatkan waktu yang diperlukan tanah agar mendapatkan nilai daya dukung paling optimum.
2. Perlu dilakukan penambahan variasi jarak dan panjang kolom untuk mengetahui jarak dan panjang yang optimum dimana nilai daya dukung tanah tidak mengalami peningkatan lagi.
3. Pemodelan benda uji sebaiknya dilakukan di dalam *box* yang lebih besar dan *rigid* agar ketika dipadatkan atau diberikan beban, luasan dan *volume* tanah dapat dipertahankan sesuai dengan yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- AustStab. 2008. *Lime Stabilisation Practice. AustStab Technical Note No.1F*. Australian Stabilisation Industry Association. Chatswood, NSW
- Badan Standarisasi Nasional.(2008). *SNI 6424:2008. Cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Bouassida, M & Porbaha, A. 2004. Ultimate Bearing Capacity of Soft Clays reinforced by a Group of Columns-Application to a Deep Mixing Technique. *Soil and Foundations*.44.(3):91-101

- Bowles, Joseph. 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. 1985. *Mekanika Tanah*. Erlangga: Jakarta.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga: Jakarta
- Das, B.M. 2006. *Principles of Geotechnical Engineering (Sixth Edition)*. Thomson: Kanada
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- 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.C. 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Hardiyatmo, HC. 2006. *Mekanika Tanah 1 (Edisi Keempat)*. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- J. Puppala, Annad et al. 2008. *Deep Soil Mixing Technology for Mitigation of Pavement Roughness*. Texas: The University of Texas at Arlington.
- Kosche, Mirja. 2004. *A Laboratory Model Study on the Transition Zone and the Boundary Layer Around Lime-Cement Columns in Kaolin Clay*. Msc Thesis Division of Soil and Rock Mechanics. Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm.
- Madhyannapu, Raja.S and Puppala, Anand J.2014. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*140. (04014051):1-15
- Muntohar, Agus Setyo. 2009. Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban-Penurunan dengan Perkuatan Kolom Kapur di Laboratorium. *Dinamika Teknik Sipil*.
- Soedarmo, G. D. Dan Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah 1*. Jogjakarta: Kanisius
- Warsiti, 2009. Meningkatkan CBR dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah dan Kapur. *Jurnal Wahana Teknik Sipil*. 14 (1):38-45