

# **Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom Dengan Diameter 4 Cm Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Metode DSM Berpola *Panels* Terhadap Daya Dukung Tanah**

**Bima Aldiha Ramadhan, Yulvi Zaika, As'ad Munawir**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail: bimaldiha@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Dalam suatu konstruksi bangunan gedung, jembatan ataupun jalan, tanah merupakan hal yang paling penting yang berfungsi sebagai pondasi atau pijakan dimana konstruksi itu dibangun. Jenis Tanah lempung ekspansif memiliki sifat tanah kurang baik, kekuatan geser yang rendah, perubahan volume yang tinggi, dan potensi kembang susut yang besar. Oleh karena itu diperlukan upaya stabilisasi untuk mengurangi potensi kembang susut dan meningkatkan daya dukung dari tanah tersebut. Banyak daerah di Indonesia memiliki jenis tanah tersebut, tanah ekspansif terdeteksi di wilayah desa Ngasem Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Upaya untuk menstabilkan tanah ini dilakukan dengan salah satu cara perbaikan tanah lempung ekspansif dengan menggunakan metode deep soil mixing tipe panels dengan diameter kolom 4 cm dengan variasi jarak antar kolom (L) 1 X D, 1,25 X D, 1,5 X D dan variasi panjang kolom (Df) 1 X B, 2 X B dan 3 X B. Sampel tanah ekspansif ini ditambahkan dengan bahan adiktif yaitu 15% fly ash, dimana ditempatkan di dalam boks. Pengujian tanah lempung ekspansif dilakukan dengan uji beban dengan pelat pondasi berukuran 5 x 5 cm sebagai acuan tumpuan dan pembebanan menggunakan alat dongkrak hidrolik manual sebagai pemberi beban. Hasil uji beban dilihat dari daya dukung meningkat seiring dengan jarak antar kolom (L) berdekatan dan kedalaman kolom (Df) semakin panjang. Peningkatan daya dukung maksimum didapat hingga 263% dari tanah asli sebelum dilakukan perbaikan tanah dengan metode deep soil mixing. Nilai ini terletak pada kolom dengan jarak kolom terdekat yaitu L=4 cm dengan panjang kolom Df= 15 cm, nilai swelling menurun sebesar 23,56% dari tanah asli sebelum dilakukan stabilisasi.*

**Kata kunci :** Lempung ekspansif, *fly ash*, *Deep Soil Mixing*, jarak kolom, panjang kolom, daya dukung

## **ABSTRACT**

In a construction of buildings, bridges or roads, land is the most important thing that serves as a foundation or footing where construction was built. Soil type clay soil less expansive properties repaired, low shear strength, high volume change, and the potential for large losses flower. Therefore, it is necessary stabilization efforts to reduce the potential development of shrinkage and increase the carrying capacity of the land. Many areas in Indonesia have the type of soil, expansive soil was detected in the village area Ngasem Bojonegoro, East Java. Efforts to stabilize the soil is done by one way of expansive clay improvement by using deep soil mixing-type panels with a 4 cm diameter column with a variation of the distance between the columns (L) 1 XD, XD 1.25, 1.5 XD and length variations column (Df) 1 XB, XB 2 and 3 X B. expansive soil sample is added with an addictive substance that is 15% fly ash, which is placed in the box. Testing conducted by expansive clay load test with the foundation plate measuring 5 x 5 cm as a reference pedestal and loading using a manual hydraulic jack as a giver burden. The test results seen from the load bearing capacity increases with the distance between the columns (L) is within walking distance and depth of field (Df) getting longer. Increased maximum carrying capacity obtained up to 263% of the original land before the repair of land with deep soil mixing method. This value lies in the column with the closest column spacing is L = 4 cm in length columns df = 15 cm, swelling value decreased by 23.56% of the original soil prior to stabilization.

**Keywords:** expansive clays, fly ash, *Deep Soil Mixing*, space, depth, bearing capacity, *swelling*

## **PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang melakukan banyak pembangunan khususnya di bidang konstruksi. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya infrastruktur baru seperti gedung, jalan, jembatan dan infrastruktur lainnya, hal ini diperlukan ahli teknik sipil untuk melakukan inovasi dalam teknologi agar konstruksi tersebut berdiri kokoh dan aman bagi penggunaannya. Tanah merupakan hal sangat penting karena berfungsi sebagai pondasi, namun tidak semua bangunan berdiri di atas tanah yang baik. Salah satu jenis tanah yang kurang baik yaitu tanah ekspansif. Tanah ekspansif merupakan salah satu tanah yang kurang baik digunakan untuk pondasi sebuah bangunan konstruksi, karena selain memiliki daya dukung yang rendah juga memiliki sifat kembang susut yang tinggi. Tanah jenis ini dapat kita jumpai di Kab. Bojonegoro tepatnya yang berada di ngasem, sebagai upaya perbaikan dan menstabilkan tanah untuk mengatasi permasalahan pada tanah lempung ekspansif.

Jenis tanah lempung ekspansif dengan beragam sifat kembang susutnya

dapat kita jumpai di daerah bojonegoro dan daerah sekitarnya. Pada daerah tersebut banyak kita jumpai berbagai macam kerusakan pada bangunan yang didirikan seperti tembok mengalami keretakan dan bangunan menjadi miring yang disebabkan dari tanah lempung ekspansif tersebut.

Stabilisasi tanah merupakan upaya untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas tanah. Stabilisasi tanah berguna untuk merubah sifat teknis tanah, seperti daya dukung, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap air. Salah satu upaya stabilisasi tanah dengan penambahan zat aditif yang disebut juga stabilizing agent. Setelah pencampuran tanah dengan bahan aditif tanah dapat menjadi lebih baik, seperti penambahan bahan aditif semen, kapur, abu batu bara, abu sekam dan lain-lain

Deep Soil Mixing merupakan salah satu metode stabilisasi tanah dimana bahan aditif dicampurkan ke dalam tanah dan dicampur dengan cara mekanik atau menggunakan alat bantu pencampur. Dalam penelitian ini tanah yang digunakan adalah tanah lempung ekspansif dengan menggunakan sampel tanah di Bojonegoro dengan campuran 15% fly ash

## TINJAUAN PUSTAKA

Tanah lempung ekspansif merupakan suatu jenis tanah yang memiliki sifat yang khas yaitu memiliki kandung mineralnya yang tinggi. Pada peningkatan kadar air, tanah tersebut akan mengalami pengembangan dengan peningkatan tekanan air pori dan akan timbul tekanan kembang. Apabila kadar air rendah tanah akan mengalami penyusutan, hal ini yang menyebabkan bangunan yang berdiri di atasnya akan mengalami kerusakan.

Lempung memiliki partikel mikroskopis dan submikroskopis yang tidak bisa dilihat dengan mikroskop biasa, karena ukuran dari partikel tersebut yang sangat kecil. Tanah lempung ekspansif juga memiliki partikel mineral yang menghasilkan sifat plastis bila bercampur air.

Adapun dijelaskan (Nelson, 1992) pengelompokan tanah lempung ekspansif tergantung dari kandungan partikel yang didalamnya. Pengolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1** Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan indeks plastisitas

Swelling Potensial	Plasticity Index
Low	0 - 15
Medium	10 - 35
High	20 - 55
Very High	35 and above

After Chen (1988)

Sifat-sifat tanah yang terdapat di kenyataan atau lapangan tidak selalu yang diharapkan untuk melakukan suatu pekerjaan konstruksi. Apabila menemukan tanah dengan sifat sangat jelek perlu adanya penanggulangan dengan distabilisasi tanah agar tanah yang dimaksud memenuhi syarat yang telah ditentukan.

Tujuan stabilisasi adalah upaya untuk memperbaiki kondisi tanah agar masalah yang terdapat di tanah tersebut dapat di atasi. Stabilisasi tanah dapat berupa menambah kepadatan tanah itu sendiri, menambah mineral yang tidak aktif hingga

menambah kohesi ataupun dapat menahan gaya geser yang ditimbulkan. Penambahan tersebut dapat mengakibatkan perubahan alami ataupun kimiawi material tanah, merendahkan permukaan air tanah, dan mengganti tanah yang buruk. Stabilisasi tanah lempung ekspansif dapat dilakukan dengan cara mekanis maupun dengan pencampuran bahan aditif.

Stabilisasi tanah lempung ekspansif dilakukan guna merubah sifat teknis tanah, seperti meningkatkan daya dukung, mempermudah dalam pengerjaan suatu proyek, potensi kembang susut dan menyeimbangkan tanah tersebut terhadap air.

Dalam suatu proyek pembangunan konstruksi, lantai kerja harus membutuhkan permukaan tanah yang stabil. Oleh karena itu, bila tanah di lokasi proyek tidak dalam kondisi stabil, maka dibutuhkan stabilisasi tanah terlebih dahulu agar tanah memiliki daya dukung yang cukup bagus sehingga proyek tersebut bisa berjalan dengan aman dalam pekerjaannya.

Bahan aditif seperti *Fly ash* merupakan material yang memiliki butiran yang sangat halus. *Fly Ash* diperoleh dari limbah hasil pembakaran batu bara yang dihasilkan dari pembangkit listrik. *Fly Ash* mengandung unsur kimiawi seperti silika, fero oksida, kalsium oksida, alumina, dan mengandung magnesium oksida, carbon, titanium, alkalin, sulfurtrioxide, posporoksida sebagai unsur tambahan lainnya yang terkandung didalamnya.

## **METODE PENELITIAN**

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan bulan September 2015 - Mei 2016. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

### **Alat dan Bahan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi : boks dengan ukuran 0,5 x 0,5 m dan tinggi 0,3 m yang terbuat dari fiberglass. Boks dibuat cukup kaku agar dapat mempertahankan kondisi regangan bidang dengan diperkuat menggunakan profil siku 30.30.3 pada ujung-ujung sisinya, pipa baja dengan diameter 4 cm yang digunakan sebagai instalasi kolom DSM, ayakan saringan no. 4, gelas ukur, *ring density*, *load cell*, timbangan digital, oven, bak pencampur, alat pemadat dengan berat 9,56 kg dan dimensi permukaan 12,5 cm x 12,5 cm, palu, proktor dengan berat 2,5 kg dan tinggi jatuh 30,5 cm, penggaris, corong, *waterpass*, plastik kresek, karung goni, alat penumbuk dengan diameter 3 cm, alat uji pembebanan terdiri dari *frame*, dongkrak hidrolik, piston, *load cell*, (*LVDT*), pelat baja ukuran 5 cm x 5 cm dan tebal 2 cm, bantalan kayu.

Sedangkan bahan yang digunakan adalah tanah lempung ekspansif yang berasal dari kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dan *fly ash* yang diperoleh dari toko bangunan di Malang.

### **Metode penelitian**

#### **Pencampuran Tanah**

Sampel tanah dikeringkan kemudian diayak lolos saringan no 4. Kemudian tanah ditambahkan air dengan kadar air optimum. Kemudian sampel dijenuhkan di dalam kresek selama sehari.

#### **Pembuatan Benda Uji**

Pembuatan benda uji dibagi menjadi 2 kondisi, yaitu tanpa stabilisasi *Deep Soil Mix* dan dengan *Deep Soil Mix*.

Tanah dasar atau asli dimasukkan ke dalam box berukuran (50×50×30) cm hingga ketinggian (H) 20 cm. Sampel dibagi menjadi 4 lapisan dimana setiap lapisan dipadatkan menggunakan alat

pemadat berbentuk persegi (12,5×12,5) cm dengan berat 9,56 kg. Tiap lapisan, dilakukan pengecekan pemadatan menggunakan *ring density* kemudian ditimbang dan beratnya harus sama. Berdasarkan penelitian pendahuluan, untuk mencapai berat isi kering tanah asli ( $\rho_d$ ) 1,288 gr/cm<sup>3</sup> diperlukan jumlah tumbukan sebanyak 64 kali dengan tinggi jatuh tumbukan 21,5 cm. Setelah pembuatan benda uji tanah asli selesai, selanjutnya dilakukan uji pembebanan.

Selanjutnya, langkah 5 diulangi yang kemudian dilakukan pembuatan lubang kolom *Deep Soil Mix* sesuai dengan variasi jarak dan panjang kolom yang telah ditentukan dengan bantuan pipa besi. Variasi jarak dan panjang kolom ini ditentukan berdasarkan pada daerah tanah yang terkena pengaruh tegangan vertikal di bawah suatu luasan berbentuk bujur sangkar yang menerima beban merata.

Tanah dicampur dengan *fly ash* dengan kadar 15% dari berat kering tanah dan ditambahkan air dengan kadar air optimum (OMC) 25,824%. Pencampuran dilakukan selama 2 sampai 5 menit hingga sampel homogen. Sampel tanah yang sudah dicampur 15% *fly ash* dimasukkan ke dalam instalasi kolom yang sudah ditentukan jarak dan panjangnya. Proses instalasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Pipa besi dikeluarkan dari tanah sehingga diperoleh lubang kolom.
- Tanah campuran *fly ash* dimasukkan ke dalam lubang dengan membagi beberapa lapisan, dimana untuk panjang kolom (Df) 5 cm dibagi menjadi 3 lapisan, (Df) 10 cm dibagi menjadi 4 lapisan, dan (Df) 15 cm dibagi menjadi 6 lapisan.
- Tiap lapisan dipadatkan dengan alat penumbuk berbentuk silinder pejal diameter 2 cm dengan berat 2,32 kg dan tinggi jatuh 30 cm.
- Jumlah tumbukan yang digunakan didapatkan dari penelitian pendahuluan untuk mencapai berat isi tanah 1,488 gr/cm<sup>3</sup>. Untuk panjang kolom (Df) 5 cm dibutuhkan

12 kali tumbukan, ( $D_f$ ) 10 cm dibutuhkan 24 kali tumbukan, dan ( $D_f$ ) 15 cm dibutuhkan 36 kali tumbukan, dimana jumlah tumbukan tersebut dibagi menjadi sejumlah lapisan seperti yang tersebut pada proses b.

Kemudian benda uji dieramkan selama 4 hari. Setelah pemeraman selesai, selanjutnya dilakukan uji pembebanan.

### Pemodelan Benda Uji

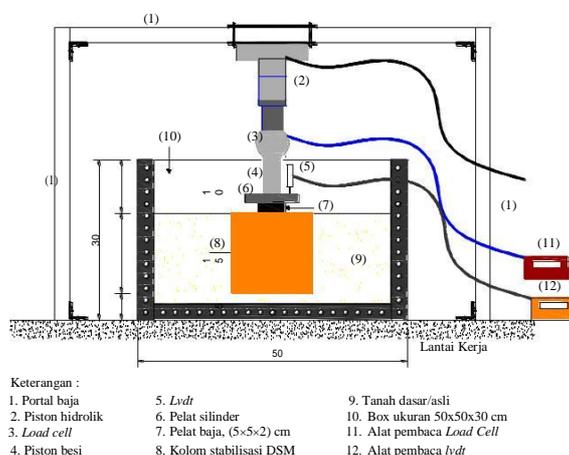
Pemodelan benda uji dilakukan variasi jarak dan panjang kolom pada konfigurasi kolom DSM. Konfigurasi yang digunakan adalah *Panels Column* dengan diameter ( $D$ ) 4 cm.

### Uji Pembebanan

Uji pembebanan dilakukan dengan dongkrak hidrolik. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi digunakan *load cell* dengan kapasitas 5 ton.

Ujung atas dari dongkrak hidrolik dihubungkan dengan batang portal yang terbuat dari baja profil. Sedangkan ujung bawah dongkrak hidrolik dihubungkan ke permukaan atas model benda uji dengan pelat baja ukuran 5 cm x 5 cm dan tebal 2 cm. Pelat baja berfungsi untuk mendistribusikan beban terpusat dari piston dongkrak hidrolik menjadi beban merata.

Adapun skema alat uji pembebanan yang disajikan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Skema uji pembebanan sampel

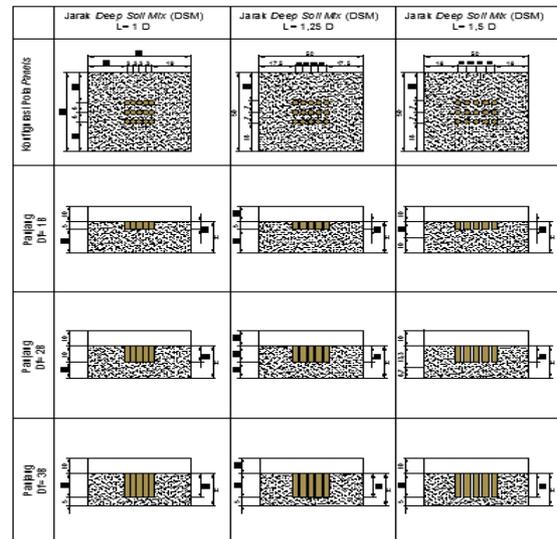
### Hasil dan Pembahasan

Ujian pendahuluan terdiri dari uji *specific gravity*, uji klasifikasi tanah, uji Indeks plastisitas, uji batas susut dan uji proktor standar, dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** *specific gravity* ( $G_s$ )

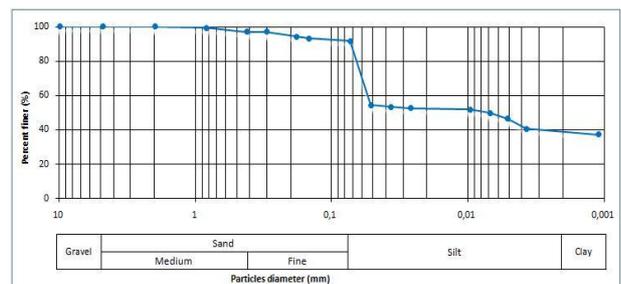
Labu Ukur	1	2	3
<i>Specific Gravity</i> ( $G_s$ )	2,713	2,754	2,724
Rata-rata ( $G_s$ )	2,73		

Dari **Tabel 2** diketahui bahwa dari tiga benda uji tanah asli, diperoleh nilai  $G_s$  yang relatif sama, sehingga nilai  $G_s$  rata-rata tanah asli adalah sebesar 2,73.



**Gambar 2** Variasi jarak dan panjang kolom berpola *Panels* dengan metode DSM dengan diameter 4 cm

Pada uji klasifikasi tanah dilakukan dua jenis pengujian yaitu analisis saringan dan analisis hydrometer. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 3** Penggabungan analisa saringan dan hydrometer

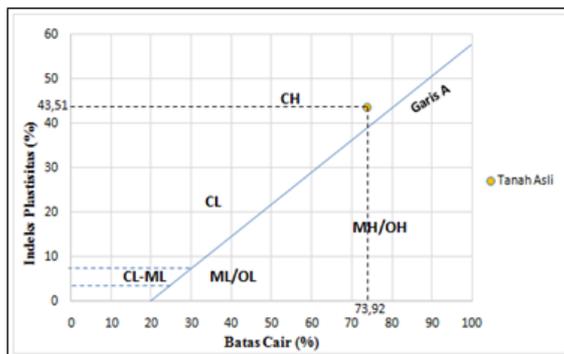
Dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa tanah di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro memiliki prosentase lolos saringan no.200 sebesar 91,83% dan menurut sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk jenis tanah berbutir halus.

Pengujian batas-batas *atterberg* terdiri dari uji batas susut (*Shrinkage Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), batas cair (*Liquid Limit*), dan *Indeks Plastisitas* (IP) yang dimiliki oleh tanah tersebut. seperti terlihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3** Hasil Pemeriksaan batas-batas *atterberg*

Bahan	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah Asli	73,92	30,41	2,8	43,51

Berdasarkan data diatas, batas-batas *atterberg* tersebut jika dimasukkan pada sistem *Unified* maka akan didapatkan klasifikasi jenis tanah. *Unified* untuk data tersebut dapat kita lihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 4** Klasifikasi tanah sistem *Unified*

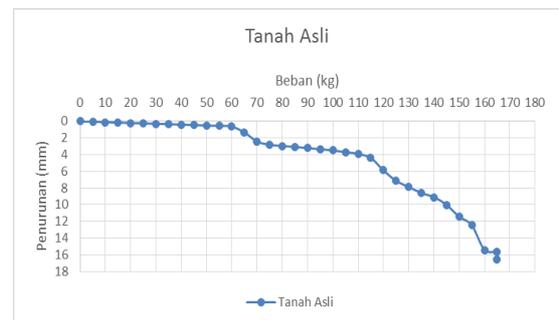
Dari **Gambar 4** dapat dilihat bahwa tanah lempung tersebut termasuk ke dalam golongan CH (tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi).

Dalam uji pemadatan standar hanya dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) maksimum pada tanah asli. Untuk OMC dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) maksimum untuk tanah stabilisasi *fly ash* diambil dari penelitian terdahulu yang dilakukan (Benny, 2014) dengan OMC sebesar 25,824 % dan berat isi

kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) sebesar 1,488 gram/cm<sup>3</sup>.

### Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli

Pada hasil uji yang telah dilakukan oleh Ahya (2015) kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) di boks sebesar 1,28 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil dari uji pembebanan tanah asli didapatkan hubungan beban dengan penurunan yang disajikan pada **Gambar 5** dan hubungan daya dukung dengan penurunan disajikan pada **Gambar 6**.



**Gambar 5** Hubungan beban dengan penurunan tanah asli

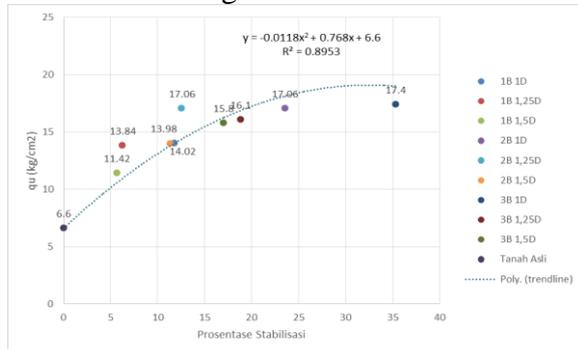


**Gambar 6** Hubungan tegangan dengan penurunan tanah asli

Dari **Gambar 5** dapat dilihat bahwa pada saat awal pemberian beban, penurunan yang terjadi sebanding dengan beban yang bekerja. Seiring berlanjutnya beban yang diberikan, maka hubungan beban dan penurunan tidak lagi sebanding di mana beban yang terjadi tidak meningkat secara signifikan dengan penurunan yang terus berlanjut. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah ( $q_u$ ) sudah berada pada batas beban maksimum yang dapat diterima. Dari hubungan tegangan dengan penurunan pada **Gambar 6** di dapat bahwa daya dukung tanah asli sebesar 6,6 kg/cm<sup>2</sup> dengan penurunan sebesar 16,57 mm.

## Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Stabilisasi DSM

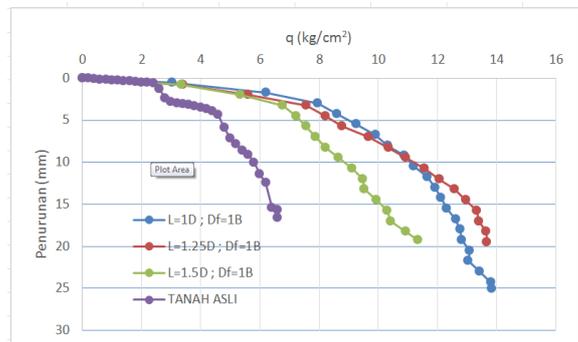
Nilai Daya Dukung Tanah terhadap Prosentase Tanah yang Distabilisasi dengan Kolom DSM



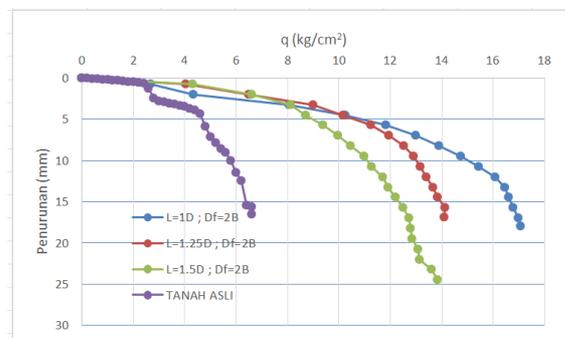
**Gambar 7** Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Stabilisasi Tanah

## Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap Panjang Kolom (Df)

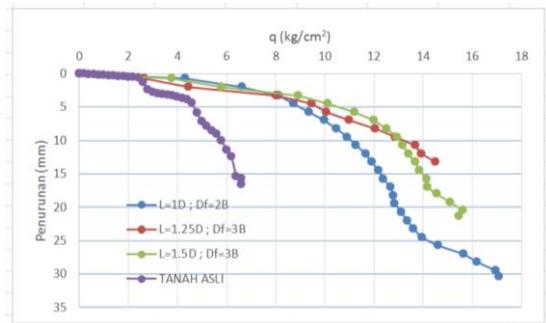
Analisis penurunan dari hasil uji beban pada variasi panjang kolom terhadap jarak antar kolom adalah sebagai berikut:



**Gambar 8** Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 5 cm



**Gambar 9** Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 10 cm



**Gambar 10** Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 15 cm

Tujuan dari penelitian ini di maksudkan untuk mengetahui berapa besar pengaruh variasi jarak antar kolom dan panjang kolom stabilisasi tanah lempung ekspansif berpola *panels* dengan diameter 4 cm dengan menggunakan metode *Deep Soil Mixing* (DSM) terhadap nilai daya dukung tanah. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan di lab geoteknik Teknik Sipil dengan sampel tanah lempung ekspansif bojonegoro, yaitu dengan pemodelan tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan campuran bahan aditif 15% *fly ash* dengan variabel bebas jarak antar kolom dan panjang kolom serta variabel terikat daya dukung dan penurunan tanah. Dari percobaan yang telah dilakukan, didapat hasil variasi jarak antar kolom dan panjang kolom sangat mempengaruhi terhadap nilai daya dukung tanah. Hal ini disebabkan karena adanya campuran bahan aditif yaitu 15 % *Fly Ash* yang bercampur dengan tanah lempung ekspansif yang sangat berperan untuk meningkatkan sifat tanah lempung ekspansif tersebut. Dalam percobaan ini mempunyai batasan-batasan masalah atau tidak ditinjau lebih lanjut perhitungan secara numerik, sehingga data-data yang diperoleh dari percobaan ini adalah hasil pembacaan dari percobaan di laboratorium.

Untuk melihat pengaruh dari variasi panjang kolom terhadap  $BCI_u$ , Dari hasil daya dukung pada masing-masing variasi panjang kolom, maka nilai  $BCI_u$  dapat diketahui dan dihitung dengan yang ditunjukkan pada **Tabel 4** sebagai berikut:

**Tabel 4** Nilai  $BCI_u$  pada Variasi Panjang Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	$q_u$ kg/cm <sup>2</sup>	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung (%)	
	cm	Cm				
Tanah Asli	-	-	6,6	1		
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	4	5	14,02	2,12	21,68	1,99
		10	17,06	2,58		
		15	17,4	2,63		
	5	5	13,84	2,09	3,03	12,90
		10	14,26	2,16		
		15	16,1	2,44		
	6	5	11,42	1,73	22,42	13,02
		10	13,98	2,12		
		15	15,8	2,39		

Pada **Tabel 4** menjelaskan, semakin bertambahnya panjang kolom maka akan meningkatkan nilai daya dukung dan  $BCI_u$ . Peningkatan yang terjadi paling signifikan adalah terletak pada panjang kolom 15 cm dengan jarak antar kolom 4 cm, yaitu sebesar 22,42 dari tanah sebelum diperbaiki. Sedangkan untuk panjang kolom 5 cm dengan jarak antar kolom 4 cm, nilai daya dukung meningkat sebesar 1,99.

**Tabel 5** Perbandingan Peningkatan  $BCI_u$  pada Variasi Jarak dan Panjang Kolom

Variasi Jarak		Peningkatan $BCI_u$		Variasi Panjang		Peningkatan $BCI_u$	
Df	L			L	Df		
Cm	cm	%	%	Cm	Cm	%	%
5	4	1,30	21,19	4	15	1,99	21,68
	5				10		
	6				5		
10	4	19,64	2,00	5	15	12,90	3,03
	5				10		
	6				5		
15	4	8,07	1,90	6	15	13,02	22,42
	5				10		
	6				5		

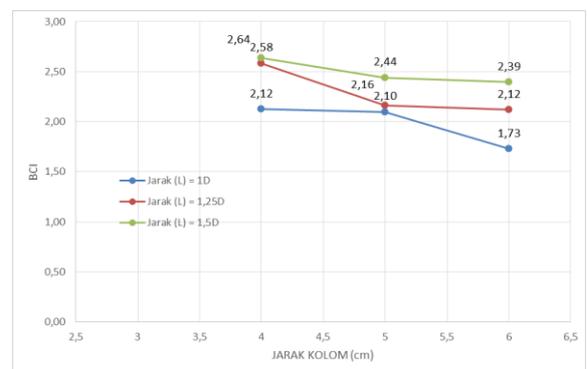
Dapat dilihat pada **Tabel 5** bahwa, variasi jarak antar kolom (L) berpengaruh lebih besar terhadap peningkatan nilai daya dukung.

**Tabel 6** Perbandingan Penurunan Nilai *Settlement* pada Variasi Jarak dan Panjang Kolom

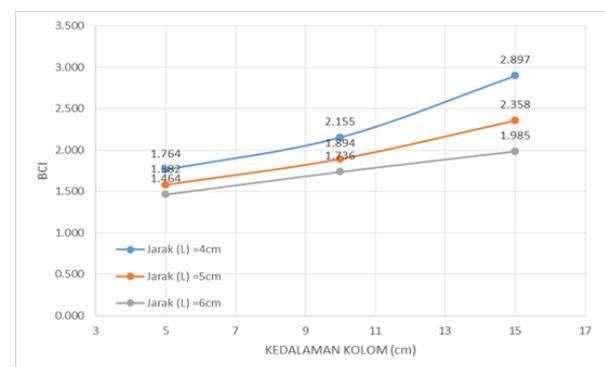
Variasi Jarak		Selisih Penurunan		Variasi Panjang		Selisih Penurunan	
Df	L			L	Df		
cm	cm	mm	mm	Cm	cm	mm	Mm
5	6	0,5	0,3	4	5	0,3	0,6
	5				10		
	4				15		
10	6	0,1	0,3	5	5	0,3	0,1
	5				10		
	4				15		
15	6	0,1	0,4	6	5	0,9	0,1
	5				10		
	4				15		

Dilihat dari **Tabel 6** dapat diketahui perbandingan variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap penurunan nilai settlement.

**Gambar 11** dan **Gambar 12** adalah grafik pengaruh variasi terhadap nilai BCI.



**Gambar 11** Grafik pengaruh variasi Jarak antar Kolom terhadap nilai BCI



**Gambar 12** Grafik Pengaruh variasi panjang kolom terhadap nilai BCI.

Berdasarkan **Gambar 11** peningkatan yang signifikan terhadap nilai daya dukung terdapat pada jarak antar kolom 4 cm.

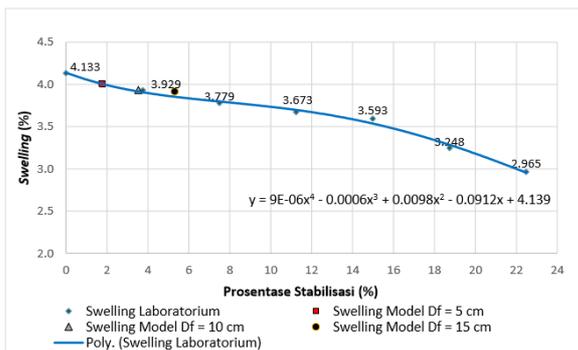
Sedangkan pada **Gambar 12** peningkatan yang signifikan terhadap nilai daya dukung terdapat pada panjang kolom 15 cm.

Berdasarkan penelitian dari Meisy 2015, tentang pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan metode *deep soil mixing*, maka penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan hasil penelitian tersebut. Hasil penelitian (Meisy, 2015) dapat disajikan pada **Tabel 7** berikut.

**Tabel 7** Pengembangan (*swelling*) terhadap prosentase stabilisasi (Meisy, 2015)

Sampel	Variasi Jumlah Kolom	Volume Benda Uji (cm <sup>3</sup> )	Volume Kolom (cm <sup>3</sup> )	Persentase Stabilisasi (%)	Pengembangan ( <i>Swelling</i> ) (%)
Tanah Asli	-	-	0	0	4,133
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	1	2131,138	79,835	3,746	3,929
	2		159,669	7,492	3,779
	3		239,504	11,238	3,673
	4		319,338	14,984	3,593
	5		399,173	18,730	3,248
	6		479,007	22,477	2,965

Dari **Table 9** tersebut, didapat pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi seperti **Gambar 13** berikut.



**Gambar 13** Pengembangan tanah stabilisasi DSM berdasarkan jumlah kolom (Meisy, 2015)

Dari **Gambar 13** dapat dilihat bahwa semakin tinggi prosentase stabilisasi maka semakin kecil pengembangan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena peningkatan tanah dengan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi lebih besar prosentasenya.

Kondisi ini membuat kadar air lebih banyak diserap oleh campuran tanah dengan *fly ash* sehingga penyerapan air oleh tanah asli semakin berkurang yang mengakibatkan pengembangan tanah menjadi berkurang.

**Tabel 10** Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM

Sampel	Df (cm)	L (cm)	Volume Kolom (cm <sup>3</sup> )	Volume Benda Uji (cm <sup>3</sup> )	Persentase Stabilisasi (%)	Pengembangan ( <i>swelling</i> ) (%)	Penurunan Swelling dari tanah Asli (%)
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	4	942,45	8000,00	11,78	3,46	0,67
		5	502,65		6,28	3,81	0,33
		6	453,50		5,67	3,83	0,30
	10	4	1884,90		23,56	0,00	4,13
		5	1005,30		12,57	3,37	0,76
		6	907,00		11,34	3,51	0,63
15	4	2827,35	35,34	0,00	4,13		
	5	1507,95	18,85	2,00	2,14		
	6	1360,50	17,01	2,55	1,59		

Dari **Tabel 10** tersebut dapat diketahui bahwa pada persentase stabilisasi sebesar 23,56% sudah tidak terjadi lagi pengembangan (*swelling*).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh variasi jarak dan panjang kolom DSM 15% fly ash diameter 4cm pola *panels* terhadap daya dukung tanah ekspansif Kabupaten Bojonegoro, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi jarak dan panjang kolom tipe *Panels* diameter 4 cm berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Semakin besar jarak antar kolom, nilai daya dukung semakin menurun. Sedangkan, semakin besar panjang kolom, nilai daya dukung semakin meningkat.
2. Jarak dan panjang optimum kolom yang dapat menghasilkan nilai daya dukung maksimum yaitu jarak antar kolom terkecil dengan panjang kolom terbesar.
3. Stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan metode *Deep Soil Mix* dengan bahan aditif 15% *fly ash*

- dapat menurunkan nilai pengembangan (*swelling*) tanah.
4. Prosentase stabilisasi tanah sebesar 23,56% dapat menghentikan pengembangan (*swelling*)

## SARAN

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

1. Perlu dilakukan penambahan variasi jarak dan panjang kolom untuk mengetahui jarak dan panjang optimum dimana nilai daya dukung tanah tidak mengalami peningkatan lagi.
2. Perlu penelitian lanjutan dengan bahan aditif yang lebih bervariasi untuk mengetahui besarnya nilai daya dukung tanah yang didapatkan.
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung ekspansif.
4. Agar mendapatkan data yang akurat, setiap pengujian harus dilakukan dengan teliti dan hati-hati.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. 2005. *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan (Pd T-10-2005-B)*. Departemen Pekerjaan Umum.
2. ASTM C 618-03. 2003. *Standar Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. United States: 100 Barr Harbor Drive.
3. Bowles, J.E. 1985. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Edisi Kedua*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
4. Braja M. Das. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
5. Braja M. Das. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
6. Budi, G.S., Andy Cristanto & Eddy Setiawan. 2002. Pengaruh Fly Ash Terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Civil Engineering Dimension*. Vol. 5, No. 1,20-24, Maret 2005. ISSN 1410-9550. Universitas Kristen Petra
7. Chen, F.H. 1975. *Foundations on Expansive Soils*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
8. Cristian L.T., Benny. 2014. Pengaruh Lama Waktu Terhadap Nilai CBR dan Swelling pada Tanah Lempung Ekspansif di Bojonegoro dengan Campuran 15% Fly Ash. *Skripsi tidak dipublikasikan*. Malang: Universitas Brawijaya.
9. EuroSoilStab. 2002. *Design Guide Soft Soil Stabilization*. Project No. BE 96-3177, Ministry of Transport Public Works and Management.
10. Hardiyatmo, H.C. 2011. *Analisa dan Perancangan Fondasi Bagian 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
11. Hardiyatmo, H.C. 1992 dan 2006. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
12. J. Puppala, Anand et al. 2008. *Deep Soil Mixing Technology for Mitigation of Pavement Roughness*. Texas: The University of Texas at Arlington.
13. Makusa, Gregory P. 2012. *Soil Stabilization Methods and Materials in Engineering Practice*. Lulea: Lulea University of Technology.
14. Muntohar, Agus Setyo. 2009. Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban-Penurunan Dengan Perkuatan Kolom Kapur di Laboratorium. *Dinamika Teknik Sipil*.
15. Nur, Ailin J.O., Hafez M.A. dan Norbaya S. 2011. Study of Bearing Capacity of Lime-Cemen Columns with Pulverized Fuel Ash for Soil Stabilization Using Laboratory Model. *Journal EJGE*. Bund. H, Vol. 16

(2011). Universitas Teknologi MARA Malaysia.

16. PT Pembangkit Jawa Bali Paiton. 2002. *Material Safety Data Sheet*. Probolinggo: PT Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Paiton.
17. Ria, Surta N.P. 2010. Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Mengembang yang Distabilisasi dengan Fly Ash. Makalah dalam *Seminar Nasional Peran Teknologi di Era Globalisasi*. Institut Teknologi Medan. Medan, 27 Februari 2010.
18. 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
- Soedarmono, G. Djatmiko & S.J. Edy Purnomo. 1992. *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Penerbit Kansius (Anggota IKAPI).
19. Sosrodarsono, Suyono & K. Nakazawa. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.