

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM DENGAN
DIAMETER 4 CM PADA STABILISASI TANAH LEMPUNG
EKSPANSIF MENGGUNAKAN METODE DSM BERPOLA
TRIANGULAR TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH**

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RESA BAGUS DHARMA PRANA

NIM. 105060107111032

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

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

Resa Bagus Dharma Prana, Yulvi Zaika, Arief Rachmansyah
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: ressa.baggus@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis lempung yang memiliki sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga sifat kembang susutnya juga tinggi. Jika kandungan air bertambah besar maka tanah ini akan mengembang dan mengakibatkan berkurangnya daya dukung dari tanah tersebut, dan sebaliknya jika kadar airnya semakin sedikit maka tanah ini akan menyusut dan daya dukungnya akan meningkat.

Penelitian ini dilakukan perbaikan tanah lempung ekspansif dengan menggunakan metode deep soil mixing berpola triangular dengan diameter kolom 4cm yang bertujuan untuk meningkatkan nilai daya dukung. Metode deep soil mixing merupakan metode pencampuran dengan bahan aditif pada tanah untuk meningkatkan stabilitas tanah dengan tebal atau kedalaman tanah tertentu. Jenis bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah fly ash, hal ini dikarenakan penambahan fly ash pada tanah ekspansif mampu meningkatkan daya dukung tanah. Pada penelitian ini digunakan 9 variasi jarak dan panjang kolom berupa variasi jarak antar kolom (4, 5, 6 cm) dan variasi panjang kolom (5, 10, 15 cm).

Hasil dari stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan metode deep soil mixing berpola triangular dengan diameter kolom 4 cm memberikan peningkatan nilai daya dukung hingga 156% dari daya dukung tanah asli. Stabilisasi dengan bahan aditif 15% fly ash pada metode DSM berpola triangular dapat mengurangi nilai pengembangan (swelling) seiring dengan meningkatkan volume tanah yang distabilisasi. Prosentase stabilisasi sebesar 30,63% telah mampu menghentikan pengembangan (swelling).

Kata kunci : lempung ekspansif, fly ash, Deep Soil Mixing, jarak, panjang, daya dukung.

ABSTRAK

Expansive clay is a type of clay that has a high sensitivity to changes in water content so so that this soil has the trait to swell and shrink also high. If the water content is greater then the soil will expand and result in reduced carrying capacity otherwise if the water content is reduced, the soil will shrink and the capacity increased.

This research was carried out repairs expansive clay using a triangular patterned deep soil mixing columns with a diameter of 4 cm which aims to increase carrying capacity. Deep soil mixing method is a method of mixing with additives to the soil to improve soil stability with a certain thickness or depth of soil. Types of additives used in this study is fly ash this is because the addition of fly ash on expansive soil can improve soil bearing capacity. In this study used nine variations of distance and length of the column in the form of variations in the distance between the columns L (4, 5, 6 cm) and the column length variation Df (5, 10, 15 cm).

The results of the stabilization of expansive clay soil deep mixing using a triangular pattern with a diameter of 4 cm column provides increased carrying capacity of up to 156% of the carrying capacity of the native soil. Stabilization with additives of 15% fly ash on a triangular patterned DSM method can reduce development value (swelling) in line with the increasing volume of soil stabilized. Percentage of soil amounting to 30, 63% have been able to stop the development (swelling) native soil.

Keywords: expansive clay, fly ash, Deep Soil Mixing, distance, length, carrying capacity.

Pendahuluan

Indonesia saat ini merupakan Negara yang berkembang. Oleh karena itu pembangunan menjadi perhatian khusus dari pemerintah Indonesia. Hal ini dapat terlihat dari banyaknya proyek – proyek pembangunan yang berlangsung hampir di seluruh Indonesia seperti; Jalan umum, gedung – gedung instansi, pusat perbelanjaan dll. Perkembangan pembangunan inilah yang menuntut para akademisi untuk terus berinovasi dalam hal pengembangan ilmu pengetahuan dan metode aplikasi untuk memudahkan proses pembangunan.

Dengan beragamnya jenis tanah yang terdapat di Indonesia menimbulkan beberapa permasalahan yang muncul, seperti daya dukung serta penurunan akibat gaya yang bekerja pada tanah tersebut. Permasalahan – permasalahan tersebutlah yang mendorong para *engineer* untuk berinovasi dalam upaya meningkatkan perkuatan pada tanah.

Salah satu jenis tanah yang banyak terdapat di Indonesia adalah tanah ekspansif. Tanah ini memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap perubahan kadar air, sehingga tanah ini memiliki sifat kembang dan susut yang besar yang menyebabkan tanah ini labil. Dengan sifat tanah yang labil ini mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan yang ada di atasnya. Salah satu kerusakan struktur yang dapat terjadi adalah penurunan pondasi yang dapat mengurangi kekuatan elemen struktur (balok, kolom, plat, dll.) dan bahkan menyebabkan runtuhnya elemen struktur tersebut.

Stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan cara mekanis maupun pencampuran dengan bahan aditif merupakan metode-metode yang sudah banyak dilakukan baik di lapangan maupun dalam bentuk skala laboratorium. Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah (Sherwood, 1993) Stabilisasi tanah dengan cara pencampuran dengan

bahan aditif umumnya ada dua metode yaitu pencampuran pada tanah di lapangan langsung (*in situ stabilization*) dan pencampuran bukan di lapangan. Pencampuran yang dilakukan di lapangan umumnya terdiri dari pencampuran dangkal atau permukaan (*shallow mixing*) dan pencampuran pada tanah dalam (*deep soil mixing*) atau banyak dikenal dengan sebutan metode DSM.

Penelitian tentang *Deep Soil Mixing* juga dilakukan (AilinNur, 2011) pada box berukuran 1000 x 600 x 700 mm dengan menggunakan 4 kolom berdiameter 25 mm dan panjang kolom 200 mm yang dicampur dengan semen dan kapur. Uji tersebut menghasilkan nilai pada uji kuat tekan bebas sebesar 550 kPa hingga 1000 kPa untuk waktu curing 28 hari.

Stabilisasi tanah dengan campuran *fly ash* pernah diuji (Benny, 2014) Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) terbesar adalah 7,892% yaitu pada saat kadar *fly ash* 15% dan dalam keadaan tak terendam. Sehingga kadar *fly ash* yang optimum untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif adalah 15%. Tanah lempung ekspansif yang melalui proses *curing* selama 28 hari menghasilkan nilai CBR sebesar 16,948% sedangkan tanah asli tanpa *fly ash* memiliki nilai CBR 3,909%. Hal ini membuktikan bahwa campuran *fly ash* menambah daya dukung tanah lempung.

Stabilisasi tanah yang banyak digunakan di Indonesia adalah metode stabilisasi tanah permukaan. Sedangkan apabila tanah yang perlu di stabilkan adalah tanah dalam, maka perlu digunakan metode *Deep Soil Mixing* (DSM). Penelitian tentang *Deep Soil Mixing* (DSM) (Ahya, 2014) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dengan menggunakan metode *Deep Soil Mixing* tipe *Single Square* mampu meningkatkan daya dukung tanah hingga 275,79% dari tanah tanpa stabilisasi yang semula 3,8 kg/cm² meningkat menjadi 14,28 kg/cm².

Banyaknya referensi yang ada serta kurangnya studi laboratorium dan lapangan tentang metode *Deep Soil Mixing*

di Indonesia, maka diperlukan pengembangan penelitian yang memudahkan pengaplikasian metode *Deep Soil Mixing* (DSM) dalam upaya perbaikan tanah lempung ekspansif.

Tinjauan Pustaka

Tanah lempung merupakan suatu jenis tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu dan menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (garim, 1953). Hardiyatmo, 1999 menjelaskan bahwa pada umumnya sifat tanah lempung adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

Nelson, 1992 juga menjelaskan karakteristik mineral lempung memiliki nilai yang berbeda berdasarkan batas *atterberg* seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Karakteristik mineral lempung

Mineral Group	Basal Spacing (Å)	Particle Features	Interlayer Bonding	Specific Surface (m ² /g)	Atterberg Limits ^a			Activity ^b (PI/% Clay)
					LL (R)	PL (%)	SI (%)	
Kaolinites	14,4	Thick, stiff 6-sided flakes 0,1 to 4x0,05 to 2µm	Strong hydrogen bonds	10 - 20	30 - 100	25 - 40	25 - 29	0,38
Illites	10	Thin, stacked plates 0,003 to 0,1x1,0 to 10 µm	Strong potassium bonds	65 - 100	60 - 120	35 - 60	15 - 17	0,9
Montmorillonites	9,6	Thin, filmy, flakes > 10 Åx1,0 to 10 µm	Very weak van der Waals bonds	700 - 840	100 - 900	50 - 100	8,5 - 15	7,2

^aLL, PL, SL, liquid, plastic, and shrinkage limits, respectively.

^bFrom Skempton (1953)

Summarized from Mitchell (1976)

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis lempung yang memiliki sensitifitas sangat tinggi terhadap kadar air sehingga sifat kembang susutnya cenderung tinggi. Seperti dijabarkan oleh (Nelson, 1992) penggolongan tanah ekspansif dapat dilihat dari indeks plastis dan indeks susutnya. Penggolongan tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit

PI (%)	SI (%)	Degree of Expansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 - 30	Medium
23 – 32	30 - 40	High
> 32	> 40	Very High

After Raman (1967)

Stabilisasi merupakan upaya untuk meningkatkan dan memperbaiki kualitas material agar dapat memenuhi standart yang ditetapkan. Stabilisasi pada tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun dengan penggunaan bahan aditif.

Stabilisasi dilakukan guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti daya dukung, kopresibilitas, permeabilitas, kemudahan pengerjaan proyek, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap air.

Bahan aditif merupakan suatu bahan yang nantinya akan dicampurkan dengan tanah guna memperbaiki sifat tanah tersebut sesuai kebutuhan yang diinginkan.

Fly ash merupakan bahan aditif yang berupa limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara. *Fly ash* yang berlimpah sebagai limbah dari hasil pembakaran batu bara seperti pada pabrik - pabrik dan pembangkit listrik sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai stabilisator.

Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif bertujuan agar terjadi reaksi *pozzolanic*, yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat dalam *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat dalam tanah, sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku. Penambahan *fly ash* selain memperkaya kandungan alumina dan silika tanah, juga memperbaiki gradasi tanah. *Fly ash* disini juga digunakan sebagai bahan yang dapat meningkatkan penyerapan air dalam tanah.

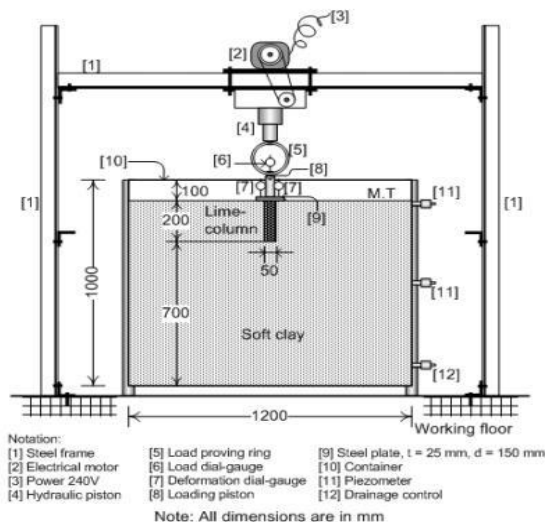
Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan membuat dua benda uji yaitu tanah asli tanpa pencampuran *fly ash* dan tanah yang sudah d campur dengan 15% *fly ash* menggunakan metode DSM. Pertama dilakukan pengujian pembebanan terhadap tanah asli sebagai patokan nilai daya dukung (q_u) yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai daya dukung (q_u) tanah yang sudah distabilisasi dengan 15% *fly ash* pada masing – masing variasi jarak dan panjang kolom DSM.

Pemodelan benda uji ini menggunakan variasi jarak dan panjang kolom masing – masing (4, 5, 6 cm) dan (5, 10, 15 cm) berpola *Triangular* dan berdiameter kolom 4 cm.

Uji pembebanan dilakukan dengan alat pompa hidrolik sebagai alat penekan atau pembeban. Untuk mengukur besarnya beban digunakan *Load Cell* berkapasitas maksimum 5 ton. Dan penurunan yang terjadi akibat pembebanan di ukur dengan LVDT.

Skema pemasangan alat pengujian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Skema uji pembebanan sampel

Penelitian ini menggunakan sampel tanah lempung yang berasal dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. *Fly ash* yang digunakan dari hasil ampas pembakaran batu bara di PLTU Paiton, Jawa Timur.

Hasil dan Pembahasan

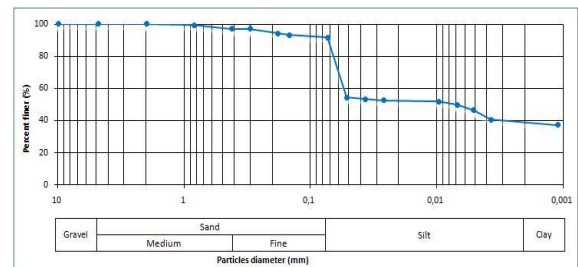
Hasil pengujian pendahuluan yang terdiri dari uji specific gravity, uji klasifikasi tanah, uji Indeks plastisitas, uji batas susut dan uji proktor standar didapatkan hasil seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3 specific gravity (Gs)

Labu Ukur	1	2	3
Specific Gravity (Gs)	2,713	2,754	2,724
Rata-rata (Gs)	2,73		

Tabel 3 di atas menjelaskan bahwa dalam tiga kali pengujian sampel menghasilkan rata-rata $G_s = 2,73$. Nilai G_s tersebut berada pada kisaran 2,6 – 2,9 sehingga tanah tersebut dapat digolongkan dengan tanah lempung.

Hasil uji klasifikasi tanah yang dilakukan yaitu analisis saringan dan analisis hydrometer. Hasil pengujian ini terlihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Penggabungan analisa saringan dan hydrometer

Dari **Gambar 2** di atas dapat dilihat bahwa tanah ini memiliki persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 91,83 % sehingga menurut system klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah ini termasuk jenis tanah berbutir halus.

Pengujian batas-batas *atterberg* terdiri dari uji batas plastis (*Plastic Limit*), batas cair (*Liquid Limit*), batas susut (*Shrinkage Limit*) dan *Indeks Plastisitas*

(IP) dari tanah tersebut, seperti yang terlihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan batas-batas *atterberg*

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

Salah satu kriteria dalam mengidentifikasi tanah lempung ekspansif dapat dilihat pada **Tabel 5 dan Tabel 6** berikut.

Tabel 5. Derajat ekspansifitas berdasarkan SL (ASTM)

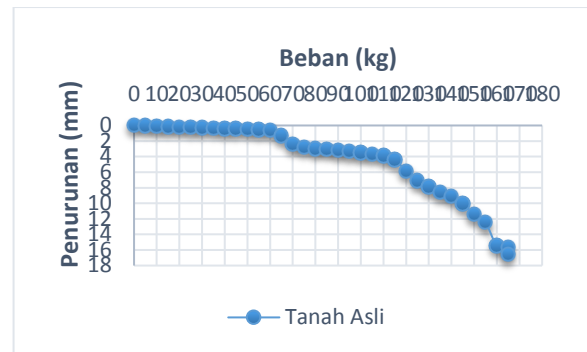
SL Tanah asli (%)	SL (%)	Degree of Expansion
2,8	> 12	Non Critical
	10 - 12	Marginal
	< 10	Critical

Tabel 6. Derajat ekspansifitas berdasarkan PI (ASTM)

PI Tanah Asli (%)	PI (%)	Degree of Expansion
43,51	< 12	Low
	15 - 30	Medium
	23 - 32	High
	> 32	Very High

Dari **Tabel 5 dan Tabel 6** tanah sampel yang digunakan merupakan tanah lempung ekspansif dimana memiliki nilai batas susut (SL) 28% yang berarti bersifat kritis terhadap derajat ekspansifitas, kemudian nilai (PI) dari tanah tersebut ialah 43,51% yang tergolong kriteria derajat ekspansifitas tinggi.

Hasil dari uji pembebanan tanah asli dapat kita lihat pada **Gambar 3 dan Gambar 4** berikut:



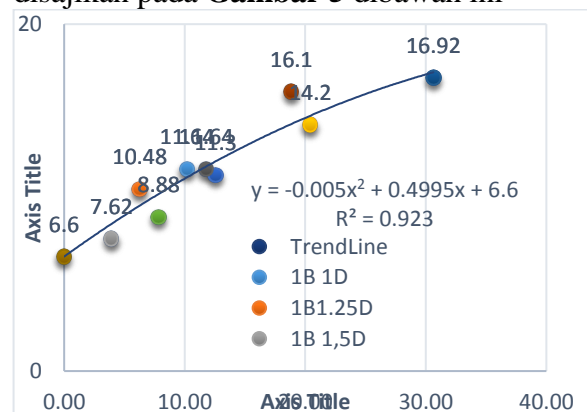
Gambar 3 Hubungan beban dengan penurunan tanah asli



Gambar 4 Hubungan daya dukung dengan penurunan tanah asli

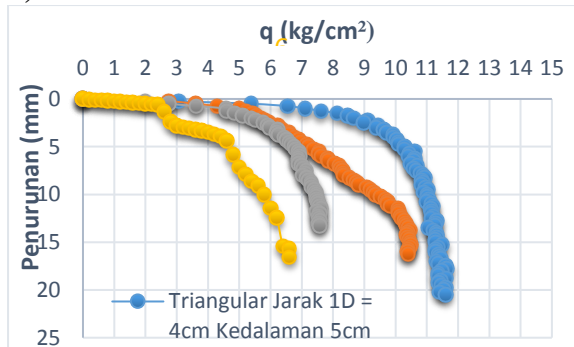
Dapat dilihat pada **Gambar 4**, nilai daya dukung tanah asli sebesar 6,6 kg/cm² dengan penurunan sebesar 16,57 mm.

Nilai Daya Dukung Tanah terhadap Prosentase Tanah yang Distabilisasi dengan Kolom DSM disajikan pada **Gambar 5** dibawah ini

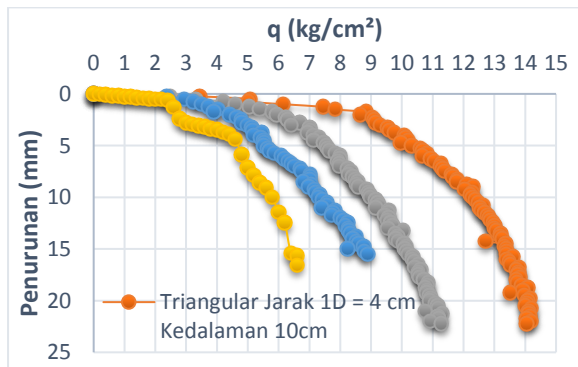


Gambar 5 Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

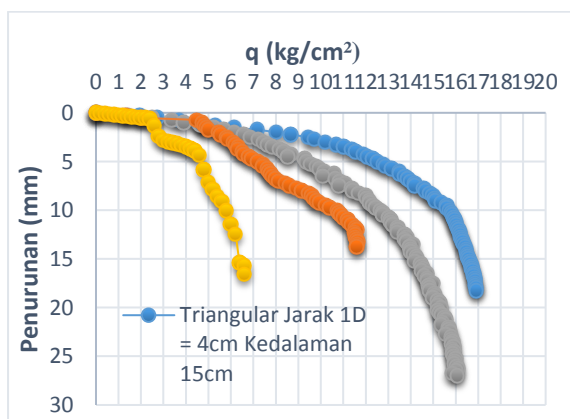
Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap Panjang Kolom (Df) yang disajikan pada **Gambar 5, 6 dan 7** berikut



Gambar 5 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 5 cm.



Gambar 6 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 10 cm



Gambar 7 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 15 cm

Hasil daya dukung dari masing-masing variasi panjang kolom, didapat

nilai BCI_u seperti ditampilkan pada **Tabel 7** sebagai berikut:

Tabel 7 Nilai BCI_u pada Variasi Panjang Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	q_u	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung	
	cm	cm	kg/cm ²		(%)	
Tanah Asli	-	-	6.6	1		
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	4	5	11.64	1.76	21.9	19.1
		10	14.2	2.15		
		15	16.92	2.56	5	
	5	5	10.48	1.59	7.82	42.4
		10	11.3	1.71		
		15	16.1	2.44		
	6	5	7.62	1.15	16.5	31.0
		10	8.88	1.35		
		15	11.64	1.76		

Tabel 7 menunjukkan bahwa semakin bertambah panjang kolom (Df) akan meningkatkan nilai daya dukung dan BCI_u . Dapat diketahui juga bahwa.

Tabel 8 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	11.06		4	15	19.15	
	5	87	37.53		10	493	21.99
	6		281		5		313
10	4	25.66		5	15	42.47	
	5	372	27.25		10	788	7.824
	6		225		5		427
15	4	5.093		6	15	31.08	
	5	168	38.31		10	108	16.53
	6		615		5		543

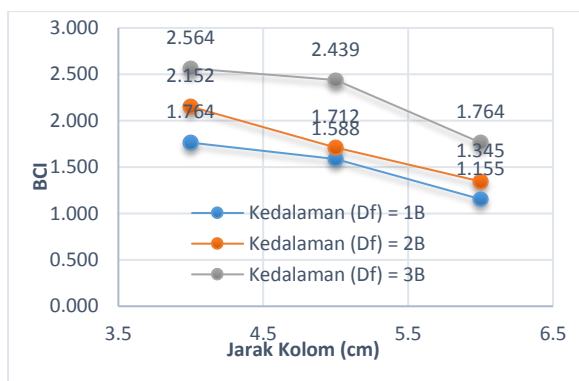
Tabel 8 menunjukkan bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai daya dukung.

Tabel 9 Perbandingan Penurunan Nilai *Settlement* pada Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi saat (q) Kolom Stabilisasi = (q_u) tanah Asli

Variasi Jarak		Selisih Penurunan		Variasi Panjang		Selisih Penurunan	
Df	L			L	Df		
cm	cm	mm	mm	cm	cm	mm	mm
5	6	1.3	2.7	4	5	0.2	0.6
	5				10		
	4	15					
10	6	4.1	1.9	5	5	0.95	0.8
	5				10		
	4	15					
15	6	1.5	0.85	6	5	2.4	1.5
	5				10		
	4	15					

Tabel 9 menunjukkan bahwa perbandingan variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan nilai *settlement*.

Gambar 8 dan Gambar 9 adalah grafik pengaruh variasi terhadap nilai BCI.



Gambar 8 Grafik pengaruh variasi Jarak antar Kolom terhadap nilai BCI



Gambar 9 Grafik Pengaruh variasi Panjang kolom terhadap nilai BCI.

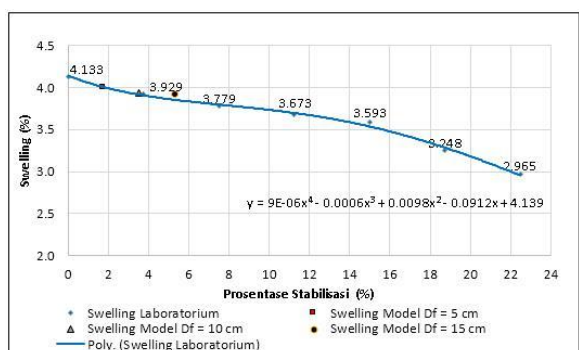
Berdasarkan **Gambar 8** BCI_u yang diperoleh adalah 2,564 pada saat variasi jarak kolom 4cm dan panjang kolom 15cm. Sedangkan pada **Gambar 9** nilai BCI_u yang diperoleh ialah 2,56 pada jarak antar kolom 4cm dan panjang kolom 15cm.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Meisy, 2015) mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan metode *deep soil mixing*, penelitian ini pun kira bandingkan terhadap hasil penelitian tersebut. Hasil penelitian (Meisy, 2015) dapat disajikan pada **Tabel 10** berikut.

Tabel 10 Pengembangan (*swelling*) terhadap prosentase stabilisasi (Meisy, 2015)

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

Dari **Table 10** didapat pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi seperti **Gambar 10** berikut.



Gambar 10 Pengembangan tanah stabilisasi metode DSM berdasarkan jumlah kolom (Meisy, 2015)

Dari **Gambar 10** dapat diketahui bahwa semakin tinggi prosentase

stabilisasi tanah dengan *fly ash* maka semakin kecil pengembangan yang terjadi.

Tabel 11 Prosentase Pengembangan Terhadap Prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM

Sampel	Df	L	Volume Kolom	Volume Benda Uji	Persentase Stabilisasi	Pengembangan (swelling)	Penurunan Swelling dari tanah Asli
	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)	(%)
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	4	565.45	2880.00	19.63	1.72	2.41
		5	424.35		14.73	3.05	1.09
		6	251.35		8.73	3.70	0.44
	10	4	1130.90		39.27	0.00	4.13
		5	848.70		29.47	0.00	4.13
		6	502.70		17.45	2.43	1.71
15	4	1696.35	58.90	0.00	4.13		
	5	1273.05	44.20	0.00	4.13		
		6	754.05		26.18	0.00	4.13

Tabel 11 tersebut menjelaskan bahwa pada persentase stabilisasi sebesar 26,18% sudah tidak terjadi lagi pengembangan (*swelling*).

Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh jarak dan panjang kolom stabilisasi DSM dengan 15% *fly ash* diameter 4cm pola *triangular* terhadap daya dukung tanah ekspansif Kabupaten Bojonegoro, diperoleh kesimpulan sebagai :

1. Variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi pada metode DSM konfigurasi *Triangular* diameter 4 cm dengan penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah mempengaruhi nilai daya dukung (*qu*) dan penurunan (*settlement*) dibandingkan tanpa stabilisasi.
2. Meningkatnya panjang kolom (Df) maka daya dukung yang diperoleh semakin besar dan penurunan yang terjadi semakin kecil.
3. Bertambahnya jarak antar kolom (L) maka daya dukung yang diperoleh semakin kecil dan penurunan yang terjadi semakin besar.
4. Variabel yang paling dominan dalam penelitian ini adalah pada variasi jarak antar kolom (L).
5. Stabilisasi dengan bahan aditif *fly ash* pada metode DSM dapat mengurangi nilai pengembangan

(*swelling*) seiring dengan meningkatnya prosentase volume tanah yang distabilisasi.

6. Saat prosentase volume tanah stabilisasi 30,63% dapat menghentikan pengembangan (*swelling*) yang terjadi.

Daftar Pustaka

Anshorie, Ahya Al. 2015. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Di Bojonegoro dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Single Square Diameter 3 Cm Terhadap Daya Dukung Tanah. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

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.

Bowles, Joseph E. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.

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

Das, Braja M. 1991. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

EuroSoilStab. 2002. "Design Guide Soft Soil Stabilization". *Project No. BE 96-3177*, Ministry of Transport Public Works and Management.

Ignat, Razvan, 2015. Two and Three Dimensional Analyses of Excavation Support with Rows of Dry Deep Mixing Columns. *Elsevier*. 66. 16-30.

Luqman, Arif. 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.

Meisy, Ika. 2015. Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro Dengan Stabilisasi Menggunakan 15% Fly Ash Dengan Metode Deep Soil Mix. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Muntohar, Agus Setyo. 2010. A Laboratory Test On the Strength and Load-Settlement Characteristic of Improved Soft Soil Using Lime Column. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. 10. 202-207.

Nur J.O, Ailin., Hafez, M.A., & Norbaya, S. 2011 . Study of Bearing Capacity of Lime-Cement Column with Pulverized Fuel Ash for Soil Stabilization Using Laboratory Model. *EJGE*. 16. 1596-1605.

Panjaitan, Surta Ria N. 2010. Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Mengembang Yang Distabilisasi Dengan Fly Ash. Makalah dalam *Seminar Nasional: Peran Teknologi di Era Globalisasi*. Biro Publikasi Dan Dokumentasi Institut Teknologi Medan. Medan, 27 Februari 2010.

Raja S. Madhyannapu, Ph.D., P.E M.ASCE¹. 2014. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 09. 140.

Sherwood, P.T., 1993. *Soil stabilization with cement and lime*. London: H.M.S.O.

Tobing, Benny C. L. Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% Fly Ash. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.