

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

**Hendro Susilo, Yulvi Zaika, Harimurti**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [hendroin27@gmail.com](mailto:hendroin27@gmail.com)

## **ABSTRAK**

*Tanah lempung 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. Berdasarkan penelitian pendahuluan, tanah ekspansif terdeteksi di wilayah desa Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur. Dari pelaksanaan penelitian ini dilakukan perbaikan tanah lempung ekspansif menggunakan metode deep soil mixing tipe single square dengan diameter kolom 4 cm pada variasi jarak antar kolom (L) 1D ; 1,25D ; 1,5D dan variasi panjang kolom (Df) 1B, 2B dan 3B. Sampel tanah ditempatkan di dalam boks berukuran 50 x 50 x 30 dengan tinggi tanah sampel 20 cm. Pengujian dilakukan dengan uji beban pelat pondasi berukuran 5 x 5 menggunakan dongkrak hidrolik manual sebagai pemberi tekanan beban. Hasil uji beban menyatakan bahwa daya dukung meningkat seiring dengan jarak antar kolom (L) semakin dekat dan kedalaman kolom (Df) semakin panjang. Peningkatan daya dukung maksimum pada penelitian ini hingga 289,7% dari tanah asli. Stabilisasi dengan bahan aditif 15% fly ash pada metode DSM berpola single square dapat mengurangi nilai pengembangan (swelling) seiring meningkatnya volume tanah yang distabilisasi. Persentase tanah sebesar 26,18% telah mampu menghentikan pengembangan (swelling) tanah asli.*

**Kata kunci :** Tanah lempung ekspansif, fly ash, Deep Soil Mix, jarak, kedalaman, daya dukung, swelling.

## **ABSTRAK**

*Expansive clay soil has low such as high plasticity, low shear strength, congestion or high volume change, and the potential for large expansion. In this study, expansive clay was detected in the Ngasem Kab. Bojonegoro, East Java. In this study of the improvements are done using the expansive clay using the deep soil mixing patterned single square by column (D=4 cm) on the variation of the distance the columns (L=1D; 1,25D; 1,5D) and variations in column length (Df 1B, 2B and 3B). Soil samples in a box measuring 50 x 50 x 30 with a height of 20 cm soil samples. In this study by the foundation load test plates measuring 5 x 5 using a manual hydraulic jack load pressure as the giver. The test results stated that the load bearing capacity with the columns space (L) is closer and the depth of field (Df) is longer. Increased maximum bearing capacity in this study up to 289.7% of the original soil. Stabilization with additives of 15% fly ash on a single square patterned DSM method can reduce development value (swelling) with increasing volume, stabilized soil. Percentage of soil to 26.18% has been to stop the development (swelling) soil.*

**Keywords:** Expansive clay, fly ash, Deep Soil Mixing, space, depth, bearing capacity, swelling.

## Pendahuluan

Peningkatan suatu pembangunan infrastruktur di Indonesia, terutama di daerah perkotaan mengakibatkan kesulitan mendapatkan lahan yang memadai. Maka dari itu perencanaan konstruksi bangunan sipil sering dijumpai sifat keadaan yang jelek, salah satunya tanah ekspansif. Tanah ekspansif merupakan salah satu tanah yang cukup bermasalah di bidang konstruksi, karena selain memiliki daya dukung yang rendah juga memiliki sifat kembang susut yang tinggi. Tanah jenis ini dapat kita jumpai di Bojonegoro tepatnya yang berada di desa ngasem.

Perbaikan tanah dengan penggunaan bahan campuran banyak dilakukan dalam usaha stabilisasi. Bahan pencampur yang biasa digunakan diantaranya kapur, *fly ash*, semen dan bahan lain yang dibutuhkan. Menggunakan bahan pencampur *fly ash* dapat meningkatkan nilai *California bearing ratio* (CBR) seperti penelitian (Benny, 2014) yang menghasilkan peningkatan nilai CBR terhadap tanah lempung ekspansif sebesar 16,948 % pada lama *curing* 28 hari dari nilai CBR tanpa stabilisasi *fly ash* sebesar 3,909 %.

Jenis tanah ekspansif ini sangat mempengaruhi struktur bangunan diatasnya, oleh karena itu para enginner berupaya untuk mengatasi permasalahan dengan memperbaiki sifat-sifat tanah lempung ekspansif tersebut. Permasalahan tanah lempung ekspansif tersebut nantinya dapat dijadikan suatu penelitian laboratorium yang dimana studi penelitian tersebut dapat diterapkan dilapangan.

Penelitian ini menggunakan zat adiktif *fly ash* dengan kadar 15% yang akan dicampurkan dengan tanah lempung ekspansif. Pembuatan sampel dengan metode DSM berpola single square dengan diameter kolom 4cm untuk mengetahui kuat geser, kuat tekan dan pengembangan tanah.

Dalam penelitian ini di upayakan penangulangan tanah lempung ekspansif dengan menggunakan sampel tanah di Bojonegoro di desa ngasem dengan menggunakan metode DSM dengan campuran 15% *fly ash* dapat meningkatkan nilai CBR terhadap tanah lempung ekspansif..

Pada penelitian yang dilakukan oleh ( Ahya dkk, 2011) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dengan menggunakan metode DSM tipe single square mampu meningkatkan daya dukung tanah hingga 275,79% dari tanah tanpa stabilisasi yang semula 3,8 kg/cm<sup>2</sup> meningkat menjadi 14,28 kg/cm<sup>2</sup>.

Berbagai cara yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat dan kekuatan tanah/ salah satunya adalah stabilisasi. Sampai saat ini stabilisasi tanah merupakan kajian yang menarik untuk diteliti baik metodenya maupun bahan-bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah tersebut. Stabilisasi ini bertujuan untuk mengurangi sifat-sifat kembang susutnya dan meningkatkan daya dukung tanah yang pada mulanya rendah menjadi lebih tinggi guna menopang bangunan yang berada diatasnya.

Pada penelitiannya untuk mengetahui batas runtuh maksimum tanah yang telah dicapuri *fly ash* 15% dengan metode DSM yang berpola single square. Dan juga untuk mengetahui pengembangan (swelling) yang terjadi pada tanah yang akan diuji. Dan dapat pula diketahui nantinya penurunan tanah yang terjadi akibat pembebahan yang akan dilakukan studi laboratorium. Dalam permasalahan tanah lempung ekspansif ini agar dapat teratasi sehingga dapat dijadikan pembelajaran dan pengetahuan.

Mengenai permasalahan yang timbul maka penelitian stabilisasi tanah perlu adanya pengembangan studi lab lebih lanjut

khusunya di Indonesia untuk mengatasi permasalahan pada tanah lempung ekspansif.

Jenis tanah dengan beragam sifat-sifat demikian dapat kita jumpai di daerah bojonegoro tepatnya di desa ngasem. Pada daerah tersebut banyak kita jumpai kerusakan-kerusakan pada bangunan baru yang didirikan maupun pada bangunan yang telah jadi yang disebabkan utama oleh perilaku kembang susut dari tanah lempung di daerah tersebut.

### 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). Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron, atau  $< 5$  mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung dari pada lempung saja. Besarnya pengembangan dan penyusutan tidak merata dari satu titik ke titik lainnya sehingga menyebabkan timbul perbedaan ketinggian pada permukaan tanah.

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis lempung yang memiliki sensititas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga kembang susutnya juga besar. Jika kandungan airnya besar maka tanah ini akan mengembang dan mengakibatkan berkurangnya daya dukung tanah tersebut demikin sebaliknya jika kadar air berkurang atau kering maka tanah tersebut akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya.

Adapun dijabarkan (Nelson, 1992) pengolongan atau pengelompokan tanah ekspansif. Pengolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada **Tabel 1**.

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

Swelling Potential	Plasticity Index
Low	0 – 15
Medium	10 – 35
High	20 – 55
Very High	35 and above

After Chen (1988)

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 secara mekanis atau mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu.

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

Dalam suatu proyek, landasan kerja untuk alat berat membutuhkan permukaan jalan yang kuat. Untuk itu, bila tanah di lokasi proyek tidak memenuhi syarat, maka dibutuhkan penanganan tanah terlebih dahulu agar tanah tersebut memiliki daya dukung yang cukup sehingga alat berat bisa bekerja.

*Fly ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada PLTU. *Fly ash* juga bisa didapatkan dari pabrik-pabrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Ketersediaan *fly ash* yang berlimpah-limpah memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan maupun sebagai bahan stabilisator tanah khususnya pada tanah lempung ekspansif karena banyak pabrik-pabrik yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya.

Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif dimaksudkan 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.

## Metode Penelitian

Pada penelitian ini dibuat dua jenis benda uji, yaitu berupa benda uji tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan campuran 15% *fly Ash* menggunakan metode *Deep Soil Mixing* (DSM). Dilakukan pengujian pembebahan pada tanah asli terlebih dahulu, kemudian terhadap tanah yang telah distabilisasi. Nilai daya dukung (*qu*) akan diambil dari tanah sebelum dan sesudah dilakukan stabilisasi yang dibuat sesuai dengan variasi jarak dan kedalaman kolom *fly ash*.

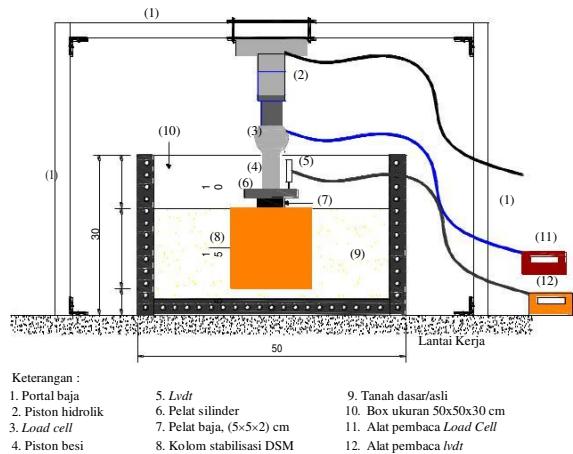
Dalam pemodelan benda uji, dilakukan variasi jarak dan kedalaman pada konfigurasi kolom DSM yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi terhadap perilaku daya dukung tanah. Konfigurasi kolom DSM yang digunakan adalah tipe Single Square dengan diameter (D) 4cm.

Uji pembebahan dilakukan dengan dongkrak hidrolik. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi digunakan load cell dengan kapasitas 5 ton. LVDT digunakan untuk mengukur besarnya penurunan yang terjadi.

Dongkrak hidrolik dihubungkan ke piston yang terhubung dengan *frame*. Secara manual dongkrak hidrolik dipompa untuk memberikan tekanan pada piston yang nantinya akan terbaca pada *load cell*. Pelat baja digunakan sebagai alas atau bantalan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban terpusat menjadi beban merata.

Pada 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.

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



**Gambar 1** Skema uji pembebahan sampel

## Hasil dan Pembahasan

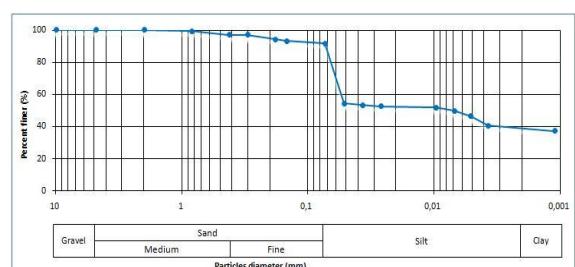
Pengujian pendahuluan terdiri dari uji specific gravity, uji klasifikasi tanah, uji Indeks plastisitas, uji batas susut dan uji proktor standar. pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** specific gravity (Gs)

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

Dari **Tabel 2** dapat dilihat bahwa dalam tiga kali pengujian menghasilkan rata-rata dari ketiga sampel yaitu  $Gs = 2,73$ . Nilai  $Gs$  tersebut berada pada kisaran 2,6 – 2,9 sehingga dapat dikatakan bahwa tanah tersebut termasuk tanah berlempung.

Pada uji klasifikasi tanah dilakukan dua jenis pengujian yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer.. Hasil pengujian ini terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2** Penggabungan analisa saringan dan hidrometer

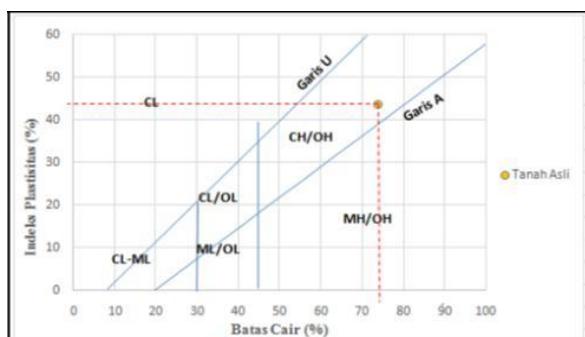
Dari **gambar 2** di atas dapat dilihat bahwa tanah ini memiliki persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 91,83 % dan menurut system klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk jenis tanah berbutir halus.

Pengujian batas-batas *atterberg* terdiri dari uji batas plastis (*Plastic Limit*), batas cair (*Liquid Limit*), batas susut (*Shrinkage Limit*) dan *Indeks Plastisitas* (IP) yang dimiliki oleh tanah tersebut. seperti yang 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 dari data batas-batas *atterberg* yang telah dilakukan oleh Ahya dkk (2015) tersebut jika dimasukkan pada sistem *Unified* maka akan didapatkan klasifikasi jenis tanah. *Unified* untuk data tersebut dapat kita lihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3** Klasifikasi tanah sistem *Unified*

Dari **Gambar 3** dapat dapat dilihat bahwa tanah lempung tersebut termasuk ke dalam golongan CH. Artinya bahwa tanah tersebut termasuk pada lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

Kriteria identifikasi tanah lempung ekspansif adalah dapat diketahui dengan metode tidak langsung yaitu pengujian batas-batas *atterberg*. Pengujian ini untuk mendapatkan nilai-nilai dari batas cair (LL), batas susut (SL) dan batas plastisitas (PL). Dari data tersebut juga dapat dikatahui nilai indeks plastisitas (PI) yang disajikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** berikut.

**Tabel 4** Derajat ekspansifitas berdasarkan SL

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

**Tabel 5** Derajat ekspansifitas berdasarkan PI

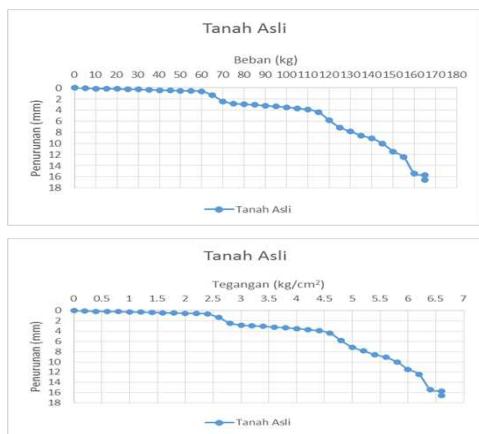
PI Tanah Asli (%)	PI (%)	Degree of Expansion
43,51	< 12	Low
	15 - 30	Medium
	23 - 32	High
	> 32	Very High

Dari **Tabel 4** dan **Tabel 5** termasuk ke dalam tanah lempung ekspansif, di mana nilai batas susut (SL) tanah asli sebesar 2,8 % yang mana berarti bersifat kritis terhadap derajat ekspansifitas dan nilai indeks plastisitas (PI) tanah asli sebesar 43,51 % yang tergolong pada kriteria derajat ekspansifitas yang sangat tinggi.

Dalam uji pemandatan 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>.

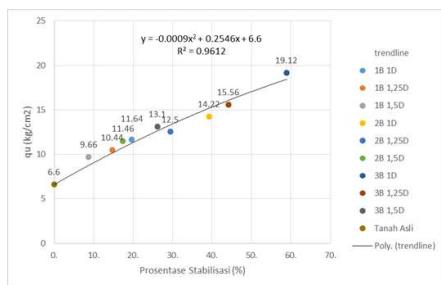
Sedangkan kadar air optimum (OMC) tanah asli dari penelitian Ahya dkk. (2015) dengan OMC 27,908 % dengan berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$ ) sebesar 1,407 gr/cm<sup>3</sup>.

Penelitian yang dilaksanakan untuk mengetahui stabilitas terhadap tanah asli tanpa stabilisasi dan tanah yang ditsabilisasi dengan metode DSM. Hasil dari penelitian terhadap tanah asli disajikan pada **Gambar 4** berikut.



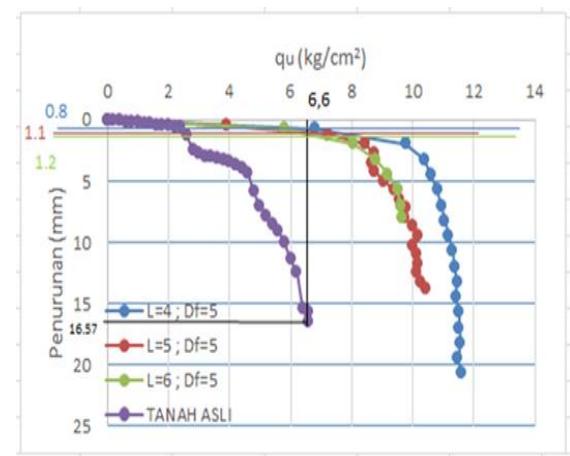
Dari **Gambar 4** di dapat bahwa daya dukung tanah asli sebesar 6,6 kg/cm<sup>2</sup> dengan penurunan sebesar 16,57 mm.

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

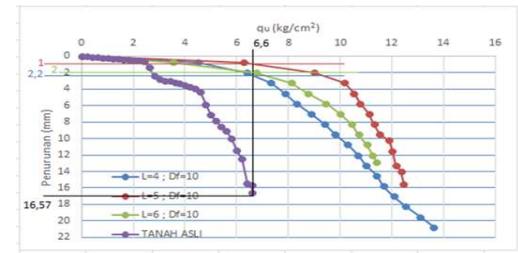


**Gambar 5** Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

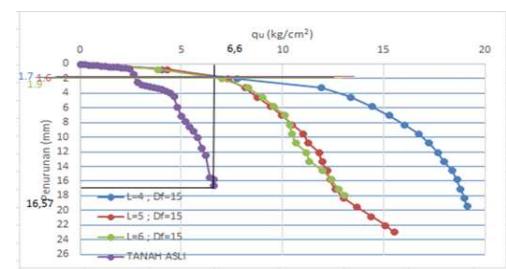
Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap Kedalaman Kolom (Df) yang dussajikan pada **Gambar 6, 7 dan 8** berikut.



**Gambar 6** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (Df) = 5 cm



**Gambar 7** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (Df) = 10 cm



**Gambar 8** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (Df) = 15 cm

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak antar kolom dan panjang kolom stabilisasi tanah ekspansif dengan metode *Deep Soil Mix* (DSM) terhadap nilai daya dukung tanah. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, yaitu pemodelan fisik tanah ekspansif yang distabilisasi dengan kolom DSM 15% *fly ash* dengan variabel bebas jarak antar kolom dan panjang kolom serta variabel terikat daya dukung dan penurunan tanah, didapatkan hasil bahwa variasi jarak antar kolom dan panjang kolom sangat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Dalam penelitian ini tidak ditinjau lebih lanjut perhitungan secara numerik, sehingga hasil yang diperoleh adalah hasil pembacaan dari eksperimen di laboratorium.

Untuk mengetahui pengaruh dari variasi kedalaman kolom terhadap  $BCI_u$ , Dari hasil daya dukung yang telah dilakukan pada masing-masing variasi kedalaman kolom, maka nilai  $BCI_u$  dapat dihitung yang ditampilkan pada **Tabel 6** sebagai berikut:

**Tabel 6** Nilai  $BCI_u$  pada Variasi Kedalaman Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	$q_u$	$BCI$	Peningkatan Daya Dukung (%)	
					kg/cm <sup>2</sup>	(%)
Tanah Asli	4	-	-	1		
		5	6.6	1.76		
		10	11.64	2.15	22.16	
		15	14.22	2.89	34.46	
Tanah Asli + Kolom DSM 15% <i>Fly Ash</i>	5	5	10.44	1.58		
		10	12.5	1.89	19.73	
		15	15.56	2.35	24.48	
	6	5	9.66	1.46		
		10	11.46	1.73	18.63	
		15	13.1	1.98	14.31	

Dari **Tabel 6** terlihat bahwa semakin bertambah kedalaman kolom (Df) akan meningkatkan nilai daya dukung dan  $BCI_u$ . Pengingkatan nilai daya dukung sangat signifikan pada panjang kolom 15 cm dengan jarak antar kolom 4 cm, yaitu sebesar 2,897 dari tanah sebelum distabilisasi. Untuk kedalaman 5 cm dengan jarak antar kolom 4 cm, nilai daya dukung meningkat sebesar 1,764.

**Tabel 7** Perbandingan Peningkatan  $BCI_u$  pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom

Variansi Jarak	Peningkatan $BCI_u$		Variansi Panjang	Peningkatan $BCI_u$	
	Df	L		L	Df
Cm	5	4	11.49		
		5		4	15
		6	8.07	10	34.46
10	10	4	13.76		
		5		5	15
		6	9.08	10	24.48
15	15	4	22.88		
		5		6	5
		6	18.78	10	14.31

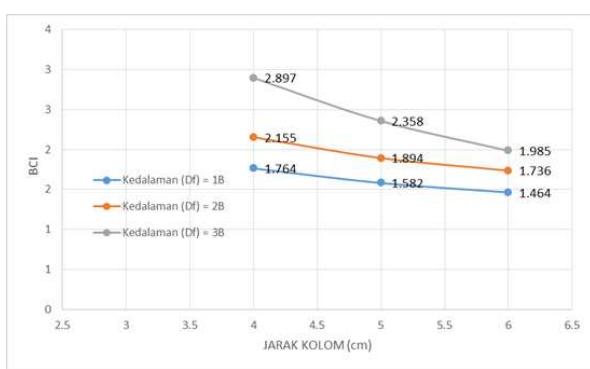
Pada **Tabel 7** tersebut dapat diketahui bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap peningkatan nilai daya dukung.

**Tabel 8** Perbandingan Penurunan Nilai *Settlement* pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom

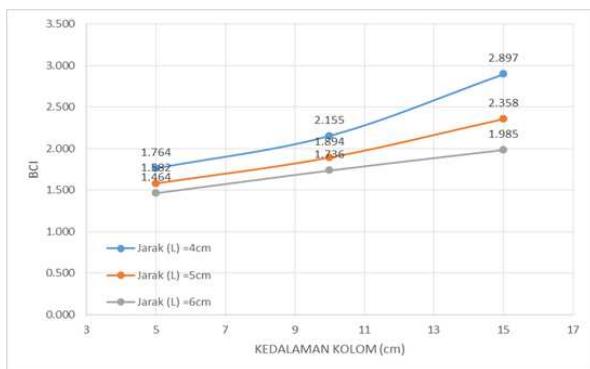
Variansi Jarak	Selisih Penurunan		Variansi Kedalaman	Selisih Penurunan	
	Df	L		L	Df
cm	5	6	0.1		
		5		4	5
		4	0.3	10	1.4
10	10	6	1		
		5		5	15
		4	1.2	10	0.1
15	15	6	0.3		
		5		6	5
		4	0.1	10	0.8

Dari **Tabel 8** dapat terlihat disimpulkan bahwa perbandingan variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan nilai *settlement*.

**Gambar 9** dan **Gambar 10** adalah grafik pengaruh variasi terhadap nilai  $BCI$ .



**Gambar 9** Grafik pengaruh variasi Jarak antar Kolom terhadap nilai BCI



**Gambar 10** Grafik Pengaruh variasi kedalaman kolom terhadap nilai BCI.

Berdasarkan **Gambar 9** peningkatan nilai daya dukung terjadi sangat signifikan pada jarak antar kolom 4 cm dengan kedalaman (Df) 15 cm, yaitu sebesar 2,897 dari tanah sebelum distabilisasi. Sedangkan, pada jarak antar kolom 5 cm dengan kedalaman 15 cm, nilai daya dukung meningkat sebesar 2,358 dari tanah sebelum distabilisasi.

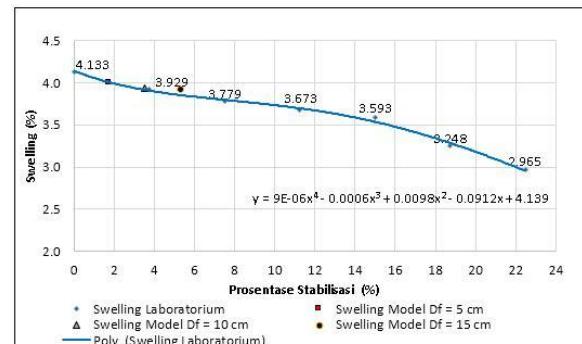
Sedangkan pada **Gambar 10** peningkatan nilai daya dukung terjadi sangat signifikan pada panjang kolom 15 cm dengan jarak antar kolom 4 cm, yaitu sebesar 2,897 dari tanah sebelum distabilisasi. Sedangkan, untuk kedalaman 5 cm dengan jarak antar kolom 4 cm, nilai daya dukung meningkat sebesar 1,764 dari tanah sebelum distabilisasi.

Untuk data hasil penelitian yang dilakukan oleh (Meisy, 2015) mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan metode *deep soil mixing*, maka pada penelitian ini pun bisa membandingkan terhadap hasil penelitian tersebut. Hasil penelitian (Meisy, 2015) dapat disajikan pada **Tabel 9** berikut.

**Tabel 9** Pengembangan (*swelling*) terhadap prosentase stabilisasi (Meisy, 2015)

Sampel	Variasi Jumlah Kolom	Volume Benda Uji (cm <sup>3</sup> )	Volume Kolom (cm <sup>3</sup> )	Percentase Stabilisasi (%)	Pengembangan (Swelling) (%)
Tanah Asli	-	2131,138	0	0	4,133
	1		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 maka didapat pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi seperti **Gambar 11** berikut.



**Gambar 11** Pengembangan tanah stabilisasi metode DSM berdasarkan jumlah kolom (Meisy, 2015)

Dari **Gambar 11** dapat diketahui bahwa semakin tinggi prosentase stabilisasi maka semakin kecil pengembangan yang terjadi. Hal tersebut dapat terjadi karena peningkatan tanah dengan fly ash sebagai bahan stabilisasi lebih besar prosentasenya.

**Tabel 10** 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 <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	4	565.45		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	2880.00	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	

Dari **Tabel 10** tersebut dapat diketahui bahwa pada persentase stabilisasi sebesar 26,18% sudah tidak terjadi lagi pengembangan (*swelling*).

### Kesimpulan

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

1. Semakin dekat jarak antar kolom dan semakin besar kedalaman kolom DSM dapat meningkatkan daya dukung tanah.
2. Semakin kecil kedalaman kolom dan semakin besar jarak antar kolom DSM maka penurunan (*settlement*) yang terjadi semakin besar.

3. Berdasarkan nilai BCI, jarak dan kedalaman dengan daya dukung maksimum terjadi pada DSM jarak terdekat (L=4 cm) dan kedalaman (Df= 15 cm).
4. Persentase stabilisasi tanah sebesar 26,18% dapat menghentikan pengembangan (*swelling*).

### Daftar Pustaka

- Anshorie, Ahya Al. 2015. "Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Di Bojonegoro dengan Metode DSM Tipe Single Square Diameter 3 Cm Terhadap Daya Dukung Tanah". . Malang : UB.
- Meisy, Ika R.P.2015."Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro Dengan Stabilisasi Menggunakan 15 % Fly Ash dengan Metode Deep Soil Mix".Malang :Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Moseley .M.P.2000."Gound Improvement". Florida :CRC Press, Inc
- Muntohar, Agus Setyo. 2009. "A Laboratory Test On The Strength And Load-Settlement Characteristic of Improved Soft Soil Using Lime-Column".Yogyakarta :Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Nur J.O, Ailin dkk.2011."Study of Bearing Capacity of Lime-Cement Column with Pulverized Fuel Ash for Soil Stabilization Using Laboratory Model".Malaysia:Universiti Teknologi MARA Malaysia.
- Tobing, Benny Christian L. "Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% Fly Ash".Jurnal Terpublikasi Volume 1 Nomor 2 (2014).
- Sherwood, P.T., 1993 "soil stabilization with cement and lime". London H.M.S.O