

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

Ahya Al Anshorie, Yulvi Zaika, As'ad Munawir

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

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif memiliki sifat kembang susut yang tinggi serta daya dukung rendah pada saat basah. Stabilisasi menggunakan bahan aditif fly ash dengan metode *Deep Soil Mix* (DSM) dapat meningkatkan daya dukung terhadap tanah lempung ekspansif yang berasal dari Kec. Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan di dalam laboratorium menggunakan konfigurasi DSM tipe *single square* dengan diameter kolom stabilisasi 3 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 cm x 50 cm x 30 cm dengan tinggi tanah sampel 20 cm. Pengujian dilakukan dengan uji beban pelat pondasi berukuran 5 cm x 5 cm menggunakan dongkrak hidrolik manual sebagai pemberi tekanan beban. Hasil uji beban menyatakan bahwa daya dukung meningkat seiring dengan jarak antar kolom (L) semakin rapat dan panjang kolom (Df) semakin panjang. Peningkatan daya dukung maksimum pada penelitian ini mencapai 275,79 % dari tanah tanpa stabilisasi yang semula nilai daya dukung sebesar 3,8 kg/cm² meningkat menjadi 14,28 kg/cm² pada jarak antar kolom (L) 1D dan panjang kolom (Df) 3B.

Kata kunci : lempung ekspansif, fly ash, *Deep Soil Mix*, jarak, panjang, daya dukung

Pendahuluan

Tanah di Indonesia memiliki beragam jenis karakteristik, sifat dan perilaku yang berbeda. Daerah Bojonegoro, Jawa Timur, tepatnya Kec. Ngasem teridentifikasi ke dalam jenis tanah lempung yang ekspansif. Dalam dunia teknik sipil tanah lempung ekspansif merupakan salah satu kendala yang rumit. Tanah lempung ekspansif memiliki sifat kembang dan susut yang tinggi. Perilaku tanah lempung ekspansif ini akan berpotensi merusak struktur yang ada di atasnya. Apabila tanah ini dalam keadaan basah maka daya dukung tanah ini akan sangat rendah. Sehingga perlu dilakukan perlakuan khusus untuk menangani masalah tersebut.

Stabilisasi dengan penggunaan bahan pencampur banyak dilakukan dalam usaha perbaikan tanah. Bahan pencampur yang biasa digunakan diantaranya semen, fly ash, kapur dan bahan lain yang diperlukan. Penggunaan bahan pencampur fly ash dapat meningkatkan nilai *California bearing ratio* (CBR) seperti yang dilakukan oleh (Benny,

2014) dalam penelitiannya 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 %.

Metode stabilisasi yang banyak digunakan adalah untuk stabilisasi tanah permukaan. Sedangkan apabila tanah yang jelek tersebut berada sangat dalam, maka penggunaan metode stabilisasi tanah dalam (DSM) perlu digunakan. Metode stabilisasi dengan bahan pencampur pada tanah dalam sudah banyak diaplikasikan di negara-negara luar Indonesia pada kondisi lapangan dan sebagian pada studi laboratorium.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ailin Nur, 2011) mengenai metode DSM dengan jumlah kolom 4 kolom stabilisasi yang dicampur dengan beberapa variasi prosentase bahan campuran semen dan kapur menghasilkan kekuatan pada uji kuat tekan bebas berkisar 500 kPa sampai dengan 1000 kPa pada waktu curing 28 hari. Pengujian tersebut dilakukan di dalam boks yang berukuran 1000 x 600 x 700 mm

dengan diameter kolom stabilisasi 25 mm dan panjang kolom stabilisasi 200 mm yang digunakan pelat ukuran 200 x 200 mm yang dianggap sebagai pondasi dangkal.

Melihat referensi dari penelitian sebelumnya dan kurangnya aplikasi di lapangan serta studi laboratorium mengenai metode DSM di Indonesia, maka perlu adanya upaya untuk pengembangan penelitian dan penerapannya secara praktis sehingga dapat dipergunakan sebagai referensi pelaksanaan di lapangan secara luas dalam upaya perbaikan tanah lempung ekspansif.

Tinjauan Pustaka

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi akibat dari perubahan kadar air pada tanah. Jika kadar air pada tanah bertambah, tanah lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan kenaikan tekanan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, jika kadar air turun tanah lempung ekspansif akan mengalami penyusutan yang cukup tinggi. Besarnya pengembangan dan penyusutan tidak merata dari satu titik ke titik lainnya sehingga menyebabkan timbul perbedaan ketinggian pada permukaan tanah.

Tanah lempung ekspansif bukan merupakan suatu jenis tanah khusus melainkan jenis tanah lempung dengan kondisi tertentu. Parameter dalam identifikasi tanah lempung ekspansif dapat diketahui dengan metode tidak langsung yaitu pengujian terhadap batas-batas *atterberg*, uji susut linear, uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid

Dalam bukunya (Nelson, 1992) menjabarkan klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan pada nilai indeks plastisitas seperti 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 dengan bahan campuran aditif sudah banyak dilakukan diantaranya adalah pencampuran antara tanah dengan campuran semen, tanah dengan campuran kapur, atau tanah dengan campuran keduanya. Seperti halnya campuran antara tanah dengan semen atau tanah dengan kapur yang dapat bereaksi dan saling mengikat antara partikel tanah dengan semen.

Seperti halnya semen, maka bahan lain yang memiliki kandungan yang dapat mengikat dan bereaksi dengan tanah dapat dijadikan pula sebagai bahan campuran. Bahan campuran lain yang sudah banyak digunakan salah satunya adalah *fly ash*. Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah padat hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik atau industri-industri yang menggunakan bahan baku batu bara sebagai pembakarannya.

Fly ash pada umumnya memiliki kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). *Fly ash* jika dicampurkan dengan tanah dengan tambahan air akan bereaksi secara *pozzolanic* dan menghasilkan reaksi hidrasi yang mana reaksi ini lah yang mengakibatkan adanya pengikatan antara *fly ash* dengan tanah. Akibat dari pengikatan ini stabilisasi *fly ash* dengan tanah akan meningkatkan kekuatan pada tanah.

Menurut (Moseley, 2000) sejak tahun 1970 an, telah ditemukan metode baru mengenai stabilisasi tanah, yaitu metode *Deep Soil Mixing* (DSM) yang dikembangkan di Jepang. Metode ini dilakukan untuk perbaikan sifat teknis dari tanah lunak berkoheisi pada kedalaman mencapai 50 m. Metode ini merupakan metode stabilisasi tanah yang dalam dengan bahan pencampur aditif seperti halnya stabilisasi di tanah permukaan. Dalam bukunya pula menjelaskan bahwa dengan metode DSM atau pencampuran tanah yang dalam dengan bahan aditif, kuat geser dan CBR dapat mengalami peningkatan dan

penurunan struktur di tempat dapat berkurang.

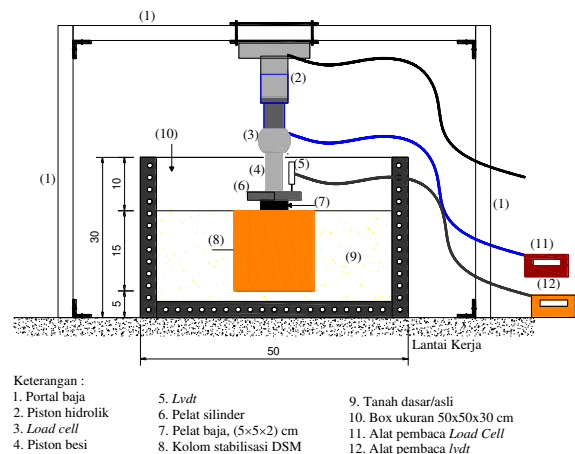
Metode Penelitian

Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Kec. Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap, yaitu tahap pertama pengujian sifat dan klasifikasi sampel tanah asli dan yang kedua pengujian pembebanan (*load test*) pada sampel tanah yang distabilisasi dengan *fly ash* menggunakan metode DSM tipe *single square* diameter 3 cm.

Penelitian dilakukan terhadap sampel tanah asli dan sampel tanah yang distabilisasi DSM dengan konfigurasi jarak antar kolom (L) 1D ; 1,25D ; 1,5D dan variasi panjang kolom stabilisasi (Df) 1B, 2B, 3B. Bahan aditif digunakan kadar 15% *fly ash* dari berat kering tanah yang distabilisasi. Perawatan sampel uji dilakukan selama 4 hari sebelum uji pembebanan.

Pengujian pembebanan pada penelitian ini dilakukan di dalam laboratorium menggunakan boks ukuran 50 cm x 50 cm x 30 cm sebagai tempat sampel tanah dengan tinggi tanah sampel 20 cm. Proses pembebanan dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang distabilisasi menggunakan dongkrak hidrolik yang dipompa secara manual sebagai pemberian tekanan beban. Kemudian tekanan disalurkan melalui *load cell* sebagai pembaca beban dan dilanjutkan ke piston dan pelat baja ukuran 5 cm x 5 cm sebagai model pondasi dangkal. Hasil dari pengujian ini didapatkan data pembacaan beban dengan penurunan yang didapat dari pembacaan alat sensor *Linear Variable Differential Transformers* (LVDT) yang terjadi dan kemudian diolah untuk mendapatkan daya dukung tanah.

Satu set alat uji pembebanan disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Alat uji pembebanan

Hasil dan Pembahasan

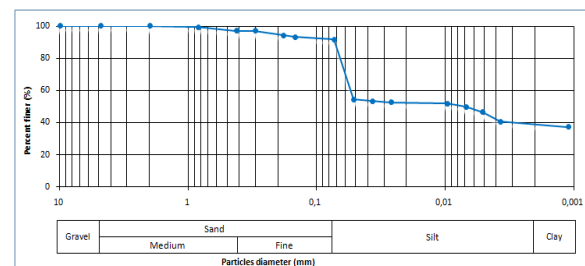
Pada tahap pertama dilakukan pengujian sifat dan klasifikasi sampel tanah asli. Hasil pengujian ini didapatkan nilai *specific gravity* (Gs) seperti yang disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Hasil uji *specific gravity*

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

Dari **Tabel 2** dapat terlihat bahwa nilai Gs sampel tanah asli sebesar 2,73. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel tanah ini termasuk ke dalam tanah berlemung.

Selain pengujian *specific gravity*, pengujian analisa saringan dan hidrometer dilakukan guna mengetahui gradasi butiran pada sampel tanah asli. Hasil pengujian ini disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Gabungan analisa saringan dan hidrometer

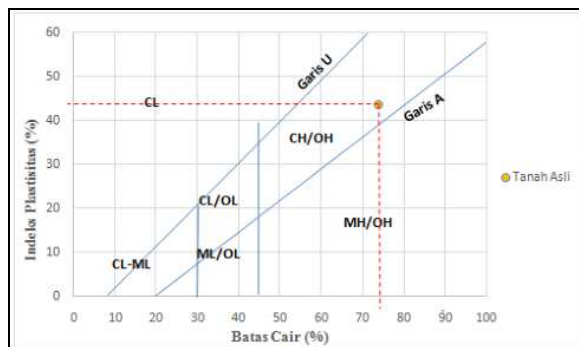
Dari **gambar 2** didapatkan bahwa butiran tanah lolos saringan no.200 sebesar 91,83 %. Hasil ini menjelaskan bahwa sampel tanah ini termasuk ke dalam tanah berbutir halus. Hal yang penting terhadap tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Sehingga pengujian batas-batas *atterberg* terhadap sampel tanah ini perlu dilakukan.

Pengujian batas-batas *atterberg* dimaksudkan untuk mengetahui batas cair (LL), batas plastis (PL) dan batas susut (SL). Hasil pengujian ini didapatkan nilai batas-batas *atterberg* seperti yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil uji batas-batas *atterberg*

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

Dari hasil pengujian tersebut maka klasifikasi tanah dapat diketahui dengan salah satu penggunaan sistem klasifikasi. Dalam hal ini digunakan sistem klasifikasi berdasarkan sistem *Unified* seperti yang disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Klasifikasi berdasarkan sistem *Unified*

Dari **Gambar 3** dapat diketahui bahwa sampel tanah yang berasal dari Kec. Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur termasuk kedalam tanah dengan klasifikasi CH menurut sistem klasifikasi *Unified*. Hal ini berarti bahwa tanah tersebut merupakan

tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

Untuk melihat sifat ekspansifitas dari tanah lempung tersebut salah satunya adalah dengan kriteria batas susut (SL) dan indeks plastisitas (PI) yang dimiliki tanah tersebut. Dari nilai SL dan PI yang dimiliki tanah tersebut maka derajat ekspansifitasnya dapat diketahui dari **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

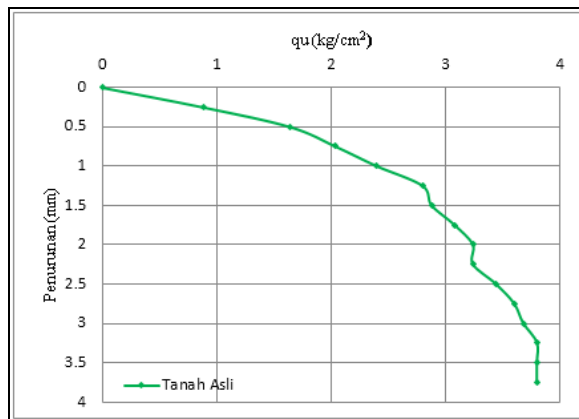
Dari **Tabel 4** dan **Tabel 5** dapat terlihat bahwa sifat ekspansifitas tanah ini termasuk pada tingkat yang kritis dan sangat tinggi.

Tahap kedua dari penelitian ini adalah percobaan melakukan stabilisasi tanah dengan bahan campuran *fly ash* menggunakan metode *deep soil mix* (DSM). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai daya dukung tanah lempung ekspansif Bojonegoro yang distabilisasi menggunakan metode DSM terhadap pengaruh variasi jarak (L) dan panjang kolom stabilisasi (Df).

Pada penelitian ini digunakan kadar air optimum (OMC) untuk tanah asli adalah 27,908 % dengan berat isi kering (γ_d) 1,28 gram/cm³ yang didapat dari uji pemadatan standar. Sedangkan untuk tanah yang

distabilisasi dengan *fly ash* menggunakan kadar air optimum (OMC) 25,824 % dan berat isi kering (γ_d) 1,488 gram/cm³ yang yang didapat dari penelitian (Benny, 2014).

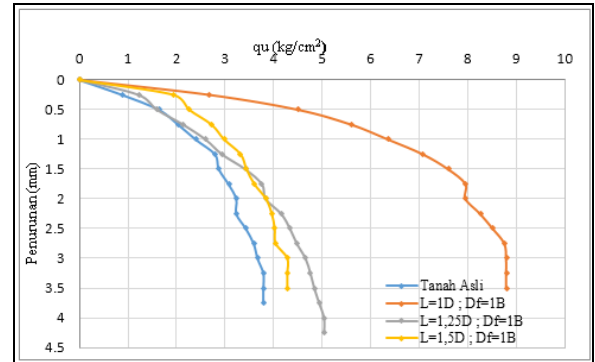
Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui daya dukung adalah terhadap tanah asli tanpa stabilisasi dan tanah yang distabilisasi dengan metode DSM. Hasil dari pengujian terhadap tanah asli disajikan pada **Gambar 4** berikut.



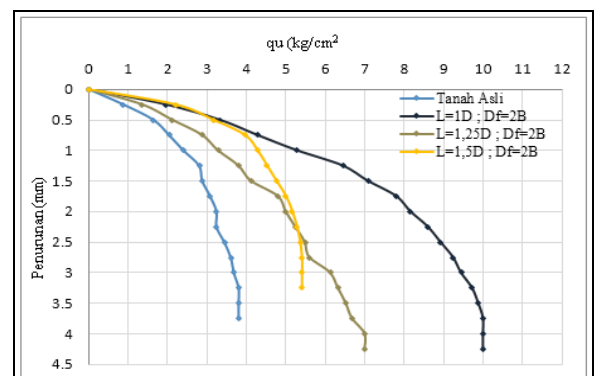
Gambar 4 Hubungan daya dukung dengan penurunan

Dari **Gambar 4** dapat terlihat 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 gambit tersebut didapatkan daya dukung pada tanah asli sebesar 3,8 kg/cm² dengan penurunan 3,75 mm.

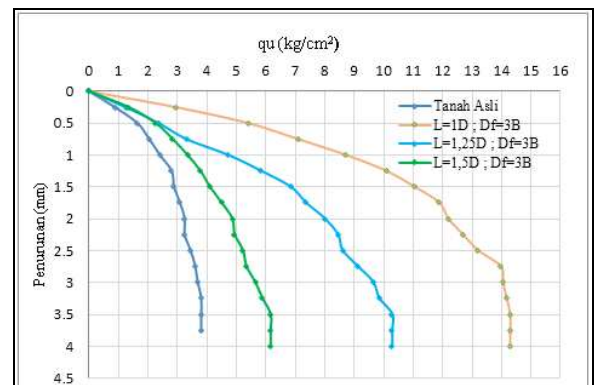
Pada tanah yang distabilisasi dengan *fly ash* menggunakan metode DSM dapat dijelaskan melalui grafik hubungan antara daya dukung (q_u) dengan penurunan hasil dari uji pembebanan seperti yang disajikan pada **Gambar 5, 6 dan 7** berikut.



Gambar 5 Perbandingan daya dukung dengan penurunan pada panjang kolom (Df) 1B



Gambar 6 Perbandingan daya dukung dengan penurunan pada panjang kolom (Df) 2B



Gambar 7 Perbandingan daya dukung dengan penurunan pada panjang kolom (Df) 3B

Berdasarkan **Gambar 5, 6 dan 7** dapat dijelaskan bahwa bahwa daya dukung yang terjadi pada tanah yang distabilisasi dengan *fly ash* menggunakan metode DSM memberikan peningkatan terhadap daya dukung tanah asli tanpa stabilisasi. Untuk

sampel tanah stabilisasi variasi $L=1D$; $D_f=1B$ didapatkan nilai daya dukung sebesar $8,8 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan $3,5 \text{ mm}$. Untuk sampel tanah stabilisasi variasi $L=1,25D$; $D_f=1B$ didapatkan nilai daya dukung sebesar $5,04 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan $4,25 \text{ mm}$. Untuk sampel tanah stabilisasi variasi $L=1,5D$; $D_f=1B$ didapatkan nilai daya dukung sebesar $4,28 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan $3,5 \text{ mm}$.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa variasi jarak yang berbeda dengan panjang kolom stabilisasi yang sama pada $D_f=1B$ berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Dari data tersebut didapat bahwa untuk jarak $1D$ nilai daya dukungnya meningkat cukup signifikan sebesar $131,58 \%$ dari tanah asli sedangkan untuk jarak $1,25D$ nilai daya dukung meningkat sebesar $32,63 \%$ dan jarak $1,5D$ meningkat $12,63 \%$ dari tanah asli.

Begitu juga pada variasi panjang kolom stabilisasi (D_f) $2B$ dan (D_f) $3B$ dapat terlihat bahwa tanah yang distabilisasi memberikan peningkatan terhadap tanah asli. Sehingga hasil dari keseluruhan dapat dikelompokkan dan ditampilkan pada **Tabel 6** berikut.

Tabel 6 Prosentase peningkatan daya dukung terhadap tanah asli

Perbandingan Pengaruh Variasi Jarak (L) Dan Panjang (Df)					
Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	Prosentase Peningkatan Daya Dukung Terhadap Tanah Asli (%)	Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	Prosentase Peningkatan Daya Dukung Terhadap Tanah Asli (%)
$1,5D$	$1B$	12,63	$1B$	$1,5D$	12,63
	$2B$	42,11		$1,25D$	32,63
	$3B$	62,11		$1D$	131,58
$1,25D$	$1B$	32,63	$2B$	$1,5D$	42,11
	$2B$	84,21		$1,25D$	84,21
	$3B$	170,53		$1D$	163,16
$1D$	$1B$	131,58	$3B$	$1,5D$	62,11
	$2B$	163,16		$1,25D$	170,53
	$3B$	275,79		$1D$	275,79

Dari **Tabel 6** terlihat prosentase peningkatan nilai daya dukung terhadap tanah asli secara keseluruhan. Dari hasil tersebut dapat dikelompokkan terhadap variasi jarak (L) konstan dengan variasi panjang kolom stabilisasi (D_f) berbeda dan sebaliknya. Sehingga pengaruh variasi yang memberikan peningkatan daya dukung lebih

dominan dapat diketahui dari **Tabel 7** dan **Tabel 8** berikut.

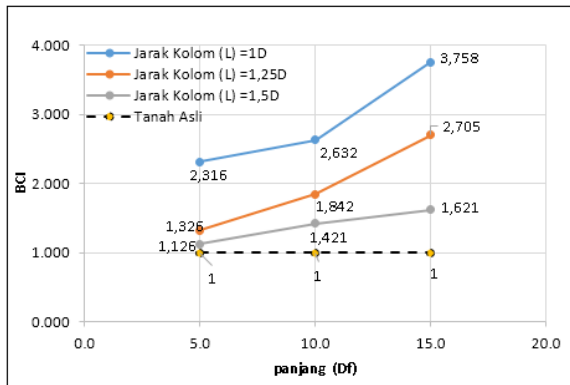
Tabel 7 Nilai q_u dengan penurunan berdasarkan jarak sama panjang berbeda

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	P_u	q_u	Penurunan	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung	
	cm	cm	kg	kg/cm ²	mm		(%)	
Tanah Asli	-	-	95	3,8	3,75	1	12.000	29,97
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	$1D$	$1B$	220	8,8	3,5	2.316		
		$2B$	250	10	4,25	2.632		
		$3B$	357	14,28	4	3.758		
	$1,25D$	$1B$	126	5,04	4,25	1.326	28.000	31,91
		$2B$	175	7	4,25	1.842		
		$3B$	257	10,28	4	2.705		
	$1,5D$	$1B$	107	4,28	3,5	1.126	20.741	12,34
		$2B$	135	5,4	3,25	1.421		
		$3B$	154	6,16	4	1.621		

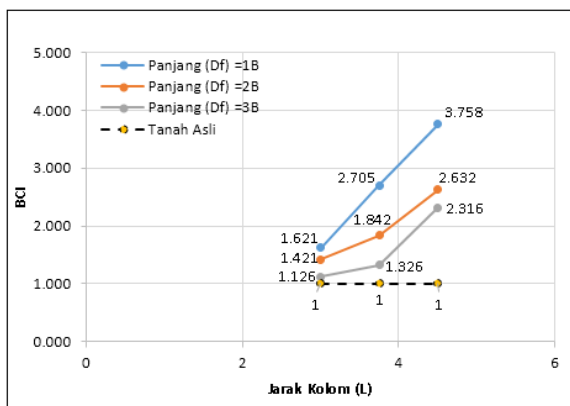
Tabel 8 Nilai q_u dengan penurunan berdasarkan panjang sama jarak berbeda

Jenis Sampel	Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	P_u	q_u	Penurunan	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung	
	cm	cm	kg	kg/cm ²	mm		(%)	
Tanah Asli	-	-	95	3,8	3,75	1	40,08	28,01
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	$3B$	$1,5D$	154	6,16	4	1.621		
		$1,25D$	257	10,28	4	2.705		
		$1D$	357	14,28	4	3.758		
	$2B$	$1,5D$	135	5,4	3,25	1.421	22,86	30,00
		$1,25D$	175	7	4,25	1.842		
		$1D$	250	10	4,25	2.632		
	$1B$	$1,5D$	107	4,28	3,5	1.126	15,08	42,73
		$1,25D$	126	5,04	4,25	1.326		
		$1D$	220	8,8	3,5	2.316		

Dari **Tabel 7** dan **Tabel 8** dapat terlihat prosentase peningkatan daya dukung yang diakibatkan oleh pengaruh variasi jarak (L) dan akibat pengaruh variasi panjang kolom stabilisasi (D_f) berdasarkan BCI (*bearing capacity improvement*) atau perbandingan nilai daya dukung tanah yang sudah distabilisasi terhadap tanah asli. Dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa perbandingan prosentase lebih besar akibat dari pengaruh panjang kolom stabilisasi (D_f) dibandingkan dengan pengaruh variasi jarak (L), sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh panjang kolom stabilisasi lebih dominan terhadap peningkatan daya dukung pada penelitian ini. Berdasarkan prosentase tersebut akan lebih jelas jika prosentase BCI dijelaskan dalam sebuah grafik seperti pada **Gambar 8** dan **Gambar 9** berikut.



Gambar 8 Peningkatan daya dukung (q_u) terhadap pengaruh panjang (Df) berdasarkan BCI



Gambar 9 Peningkatan daya dukung (q_u) terhadap pengaruh jarak (L) berdasarkan BCI

Berdasarkan **Gambar 8** dapat terlihat bahwa peningkatan daya dukung (q_u) yang diakibatkan oleh variasi panjang (Df) tergambar secara signifikan memberikan jarak yang besar. Sedangkan pada **Gambar 9** dapat terlihat bahwa peningkatan daya dukung (q_u) yang diakibatkan oleh pengaruh jarak (L) tergambar naik secara signifikan hanya pada saat panjang (Df) 3B, namun peningkatan akibat perubahan jarak pada kondisi yang lain tidak terlihat secara signifikan. Sehingga hal ini dapat dikatakan bahwa peningkatan nilai daya dukung lebih dominan dipengaruhi oleh pengaruh panjang kolom tanah stabilisasi.

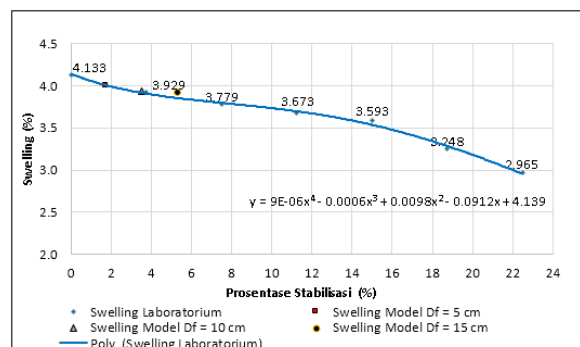
Selain peningkatan daya dukung, metode DSM ini dapat memberikan penurunan tingkat pengembangan

(*swelling*). Pada 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. Data hasil penelitian (Meisy, 2015) dapat disajikan pada **Tabel 9** berikut.

Tabel 9 Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi (Meisy, 2015)

Sampel	Variasi Jumlah Kolom	Volume Benda Uji (cm³)	Volume Kolom (cm³)	Persentase Stabilisasi (%)	Pengembangan (Swelling) (%)
Tanah Asli	-	2131,138	0	0	4,133
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	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 hasil tersebut tingkat penurunan nilai pengembangan (*swelling*) dapat disajikan pada **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 maka semakin kecil pengembangan yang terjadi. Jika dibandingkan terhadap penelitian ini akan didapat perbandingan prosentase stabilisasi tanah yang distabilisasi dengan pengembangan seperti yang disajikan pada **Tabel 10** berikut.

Tabel 10 Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM

Sampel	Df	Volume Kolom	Volume Benda Uji	Persentase Stabilisasi	Pengembangan (Swelling)	Penurunan Swelling dari Tanah Asli
	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)	(%)
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	883.1	8000	11.039	3.704	-10.373
	10	1766		22.078	2.993	-27.578
	15	2649.4		33.117	2.242	-45.742

Dari **Tabel 10** tersebut dapat diketahui bahwa pada prosentase tanah yang distabilisasi metode DSM untuk jumlah kolom 25 buah dengan diameter kolom 3 cm pada panjang 1B (5 cm) sebesar 11,039 % didapat pengembangan sebesar 3,704 %. Sedangkan pada prosentase tanah yang distabilisasi dengan jumlah kolom 25 buah diameter 3 cm pada panjang 2B (10 cm) sebesar 22,078 % didapat pengembangan sebesar 2,993 %. Pada prosentase stabilisasi 33,117 % didapat pengembangan 2,242 %. Hal ini terlihat bahwa seiring dengan peningkatan volume kolom tanah stabilisasi maka pengembangan yang terjadi semakin menurun.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh variasi jarak dan panjang stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan metode *deep soil mixing* (DSM) tipe *single square* diameter 3 cm terhadap daya dukung tanah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi pada metode DSM konfigurasi *single square* diameter 3 cm dengan penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah mempengaruhi nilai daya dukung (*qu*) terhadap tanah tanpa stabilisasi.
2. Pada penelitian ini jarak (L) dan panjang (Df) yang dapat meningkatkan nilai daya dukung (*qu*) maksimum hingga mencapai 275,79 % adalah pada jarak paling rapat (1D) dengan Panjang (Df) 3B.

3. Peningkatan nilai daya dukung pada penelitian ini lebih dominan dipengaruhi oleh variasi panjang kolom tanah stabilisasi.
4. Stabilisasi dengan bahan aditif *fly ash* pada metode DSM dapat mengurangi nilai pengembangan (*swelling*) seiring dengan meningkatnya volume tanah yang distabilisasi.

Daftar Pustaka

- Bowles, Joseph E. 1991. "*Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*". Jakarta : Erlangga.
- 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).
- U.SDepartement of Transportation.2000."An Introduction To The Deep Soil Mixing Method As Used In Geotechnical Applications".Virginia :NTIS