

Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansi di Bojonegoro dengan 15% Fly Ash Menggunakan Metode Deep Soil Mixing Berpola Single Square Terhadap Daya Dukung Tanah

Arif Rahman Putranto, Yulvi Zaika, Eko Andi Suryo
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: arif.mr.portal@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki daya dukung tanah yang rendah, oleh karena itu diperlukan suatu upaya stabilisasi agar nilai daya dukungnya meningkat sehingga dapat digunakan sebagai tanah dasar dalam suatu konstruksi. Dari hasil pengujian mekanis dan plastisitas tanah diketahui bahwa tanah di daerah Bojonegoro merupakan tanah lempung ekspansif. Maka dari itu, diperlukan adanya upaya stabilisasi agar daya dukung tanah tersebut meningkat. Upaya stabilisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pencampuran bahan aditif berupa fly ash dengan menggunakan metode deep soil mixing (DSM). Dalam penelitian ini digunakan kotak berukuran 50 x 50 x 50 cm dengan pelat pembebangan (B) seluas 5 x 5 cm serta menggunakan diameter kolom (D) sebesar 2 cm. Kadar fly ash yang digunakan sebesar 15%. Pengujian beban dilakukan pada tanah asli dan tanah yang sudah distabilisasi dengan variasi jarak antar kolom (1D, 2D, dan 3D) dan panjang kolom DSM (1B, 2B, dan 3B) dengan waktu perawatan selama 4 hari. Dari hasil penelitian, didapatkan variasi jarak antar kolom dan panjang kolom memiliki pengaruh terhadap peningkatan daya dukung tanah. Jarak antar kolom yang semakin besar akan mengurangi peningkatan daya dukung tanah. Sedangkan, panjang kolom yang semakin besar akan meningkatkan daya dukung tanah. Variasi jarak antar kolom memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan daya dukung tanah dibandingkan variasi panjang kolom. Dari rasio volume tanah yang terstabilisasi, didapatkan bahwa nilai pengembangan pada tanah juga menurun.

Kata kunci: Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Fly Ash, CBR, Deep Soil Mixing, Daya Dukung Tanah

Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung yang rendah serta sensitif terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur kimia, tekstur dan partikel, serta pengaruh lingkungan sekitarnya. Hal ini menyebabkan kerusakan pada struktur di atas tanah tersebut karena sifat kembang susut yang sangat tinggi.

Berbagai upaya yang dilakukan untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif. Salah satunya adalah dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah bertujuan untuk mengganti sifat tanah yang buruk dengan sifat-sifat yang di rencanakan. Dari penelitian yang terdahulu, *fly ash* merupakan salah satu bahan aditif yang mampu memperbaiki daya dukung tanah dan nilai pengembangan tanah lempung ekspansif.

Namun, tanah lempung ekspansif ini seringkali ditemukan jauh dari permukaan tanah, sehingga dibutuhkan upaya stabilisasi

yang dapat memperbaiki tanah sampai ke lapisan yang dalam. Usaha yang sering dilakukan adalah dengan cara *deep soil mixing* (DSM). Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, cara ini terbukti dapat meningkatkan daya dukung tanah serta memperbaiki sifat-sifat tanah yang buruk.

Pada penilitian digunakan *fly ash* sebagai zat aditif dengan kadar 15% untuk stabilisasi tanah dan *deep soil mixing* sebagai metode stabilisasinya, yang akan dicampur dengan tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. Variasi jarak antar kolom dan panjang kolom DSM digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini. Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui adanya pengaruh kadar 15% *fly ash* dengan variasi jarak dan panjang *deep soil mix* pola *single square* terhadap daya dukung tanah lempung ekspansif akibat beban vertikal.

2. Untuk mengetahui jarak dan panjang *deep soil mix* optimal yang dapat menghasilkan daya dukung maksimum tanah lempung ekspansif akibat beban vertikal.
3. Untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan campuran 15% *fly ash* dengan metode *deep soil mixing* terhadap nilai pengembangan (*swelling*) tanah?

Tinjauan Pustaka

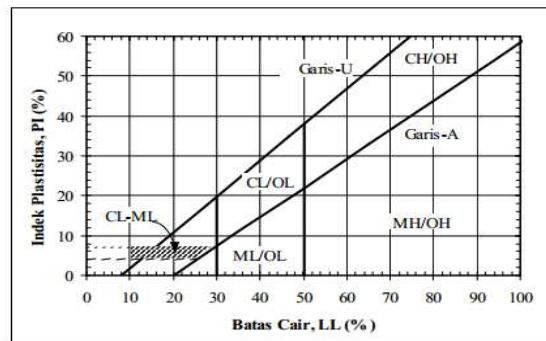
Pengertian tanah lempung ekspansif

Tanah dengan karakter ekspansif ditemukan pada jenis tanah lempung (*clay*). Tanah ekspansif adalah suatu jenis tanah yang memiliki derajat pengembangan volume yang tinggi sampai sangat tinggi, biasanya ditemukan pada jenis tanah lempung yang sifat fisiknya terpengaruh oleh air. Ciri yang paling mudah diamati secara visual tentang jenis tanah ini adalah permukaan tanah yang tampak kaku / tegang. Potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif dipengaruhi berdasarkan *soil properties* dari tanah tersebut (Lashari, 2000).

Pada umumnya, terdapat 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr,1959). Macam-macam mineral tersebut terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Dari kelompok mineral tersebut, tanah lempung ekspansif dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Tanah lempung ekspansif tersusun dari mineral lempung yang mempunyai karakter kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan kadar air seperti pada kelompok *montmorillonite*. Kelompok ini menjadikan tanah lempung menjadi tidak stabil jika berhubungan dengan air.

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah dapat Berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*



Gambar 1 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS

Menurut para ahli, tanah lempung dapat diklasifikasikan berdasarkan indeks plastisitas seperti yang ditampilkan dalam tabel 1, tabel 2, tabel 3 di bawah ini.

Tabel 1 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP (Chen,1975)

Plasticity Index (%)	Swelling Potensial
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
35 – 55	High
> 55	Very High

Tabel 2 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI (Raman,1967)

Plasticity Index (%)	Shrinkage Index (%)	Degree Of Expansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 - 30	30 – 40	High
> 30	> 40	Very High

Tabel 3 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage limit (Altmeyer, 1955)

Linear Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0.5	Non Critical
5 - 8	10-12	0.5-1.5	Marginal
> 8	< 10	< 1.5	Critical

Skempton (1953), mendefinisikan sebuah parameter yang disebut nilai aktivitas dalam rumus sebagai berikut:

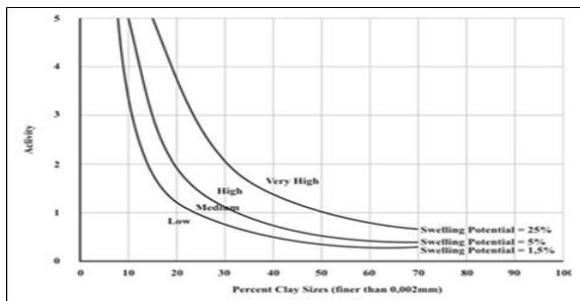
$$Activity (A) = \frac{PI}{C} \quad (1)$$

Dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung <0,002mm



Gambar 3 Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash

Bahan stabilisasi tanah secara kimiawi sudah banyak dilakukan. Salah satunya adalah dengan menggunakan abu batubara. Abu batubara (*fly ash*) adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan mineral karena proses pembakaran (Munir, 2008). Tekstur dari *fly ash* sangatlah halus dan ringan. Sehingga, dalam proses stabilisasi menggunakan bahan stabilisasi ini digunakan dalam keadaan basah. Warna dari *fly ash* adalah putih keabu-abuan atau cokelat muda.

Menurut ASTM C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas, yaitu *fly ash* kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari keduanya adalah banyaknya *calcium*, *silika*, *aluminium*, dan kadar besi.

Fly ash banyak digunakan sebagai bahan campuran dalam stabilisasi tanah sebagai pengganti dari semen dalam upaya untuk mendapatkan komposisi yang baik yang sesuai dalam campuran. *Fly ash* jauh lebih ekonomis dari segi harga dibandingkan dengan semen. Jika bahan ini tersedia, *fly ash* sering digunakan untuk menggantikan 50% atau lebih isi dari semen (Moesley, 2000).

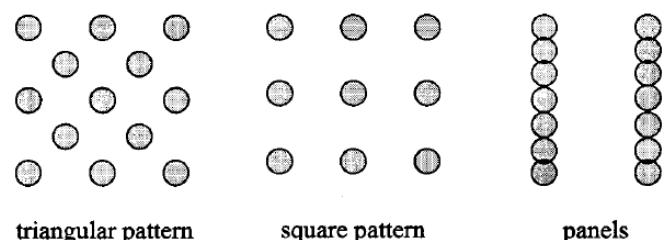
Menurut wardani (2008) stabilisasi tanah menggunakan *fly ash* biasanya

digunakan untuk tanah lunak, subgrade tanah kelempungan dibawah jalan yang mengalami beban pengulangan (*repeated loading*). Perbaikan tanah dapat menggunakan *fly ash* kelas C dan kelas F. Pada *fly ash* kelas F diperlukan bahan tambahan kapur atau semen, sedangkan jika menggunakan *fly ash* kelas C tidak diperlukan bahan tambahan semen atau kapur karena *fly ash* kelas C mempunyai sifat *self cementing*.

Deep Soil Mixing

Deep Mixing Method (DMM) adalah teknologi perbaikan tanah dimana tanah dicampur dengan bahan seperti semen atau yang lainnya dengan tujuan meningkatkan profil dari tanah tersebut. Bahan ini ditujukan kepada bahan perekat, biasanya dalam bentuk kering maupun basah. Bahan tersebut dimasukkan ke dalam pipa berongga, diputar dan diaduk dengan suatu alat seperti alat pemotong (Paul Teng, 2000).

Dalam metode pelaksanaan *Deep soil mix* (DSM) terdapat beberapa pola yang sering diterapkan. Pola-pola tersebut diantaranya pola *triangular pattern*, pola *square pattern*, pola *panels*, pola *blocks*, dan pola *grid*. Gambar pola *deep soil mix* dapat dilihat pada **Gambar 4**. (Kosche, 2004):



Gambar 4 Pola *deep soil mix* (DSM)

Pengembangan (Swelling)

Swelling adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih negatif. Tanah yang banyak mengandung lempung khususnya tanah

lempung ekspansif mengalami perubahan volume yang ekstrim ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang dapat membahayakan konstruksi di atasnya. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu:

1. Tipe dan jumlah mineral di dalam tanah
2. Kadar air
3. Susunan tanah
4. Konsentrasi garam dalam air pori
5. Sementasi
6. Adanya bahan organik, dll.

Metode Penelitian

Metode dalam penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Klasifikasi Tanah (USCS)
2. Pengujian Pemadatan Standar (ASTM D-698 (Metode B))
3. Pengujian Beban Model Tanah

Benda uji untuk masing-masing perlakuan terdiri dari tanah asli dari Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur, serta campuran *fly ash*. Persentase *fly ash* yang digunakan adalah 15% dari berat kering tanah.

Pemeriksaan klasifikasi tanah dilakukan untuk mengetahui jenis tanah yang diambil dari Bojonegoro. Uji klasifikasi tanah menurut USCS terdiri dari pengujian analisis saringan (*Grainsized* dan *Hidrometer*) dan batas-batas *atterberg*.

Pengujian pemadatan standar dilakukan untuk mengetahui berat isi kering tanah pada keadaan OMC (*Optimum Moisture Content*). Berat isi kering dan kadar air yang diperoleh selanjutnya digunakan pada sampel tanah asli pada model.

Pengujian beban dilakukan pada tanah asli dan tanah yang terstabilisasi. Uji ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat diterima oleh tanah. Pada tanah yang terstabilisasi terdapat 9 macam sampel yang terdiri atas variasi jarak antar

kolom dan panjang kolom *deep soil mixing* (DSM).

Pada pengujian beban, digunakan kotak berukuran 50 x 50 x 50 cm dengan tinggi sampel tanah sebesar 20 cm. Ukuran diameter kolom DSM (D) sebesar 2 cm dan pelat uji beban (B) seluas 5 x 5 cm. Jarak antar kolom dan panjang kolom dijadikan variasi untuk mengetahui peningkatan daya dukung yang dihasilkan. Variasi jarak yang dilakukan yaitu 1D; 1,25D; dan 1,5D. Sedangkan pada variasi panjang kolom yang dilakukan yaitu 1B, 2B, dan 3B. Banyaknya kolom DSM yang dibentuk adalah sebanyak 49 buah dengan pola *single square*, sehingga terletak simetris. Pemberian beban dilakukan secara manual menggunakan dongkrak hidraulik secara perlahan. Pembacaan beban dilakukan setiap kenaikan 50 di *dial LVDT*.

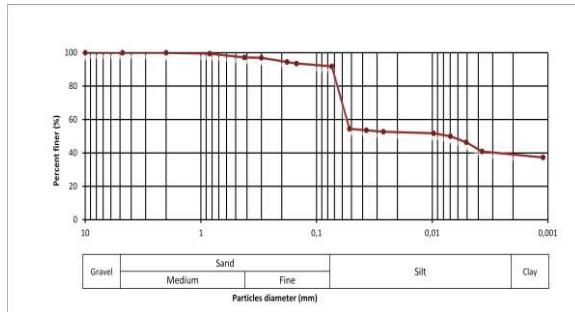
Sebelum dilakukan pengujian pembebahan, sampel tanah asli terlebih dahulu dijenuhkan dengan air hingga keadaan OMC. Kemudian dipadatkan ke dalam kotak hingga didapatkan berat isi kering optimum. Selanjutnya dilakukan pencampuran tanah dengan *fly ash* dan air di luar kotak. Setelah proses pencampuran selesai, campuran tanah dan *fly ash* tersebut dimasukkan kedalam lubang yang sudah terlebih dahulu dibuat pada tanah asli yang berada di dalam kotak. Proses masuknya campuran ke dalam lubang dilakukan beberapa kali sambil dilakukan pemadatan pada lubang yang berisi campuran hingga didapatkan berat isi kering optimum. Setelah semua lubang sudah tertutup kembali oleh campuran ini, tanah diberikan waktu perawatan selama 4 hari sampai pada akhirnya dilakukan uji pembebahan.

Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Klasifikasi Tanah

Analisis saringan dilakukan untuk ukuran buiran tanah berdiameter lebih besar dari 0,075 mm (tertahan saringan no.200). Sedangkan analisis hidrometer dilakukan untuk ukuran buiran tanah berdiameter

lebih kecil dari 0,075 mm (lolos saringan no.200). Hasil analisis saringan dan hidrometer ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Hasil Analisis Saringan dan Hidrometer

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui 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* bertujuan untuk mengetahui keadaan konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang berbeda-beda dan juga bertujuan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini terdiri dari pengujian batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Benda uji yang digunakan adalah tanah asli tanpa campuran *fly ash*. Hasil dari pengujian ditampilkan pada **Tabel 4**.

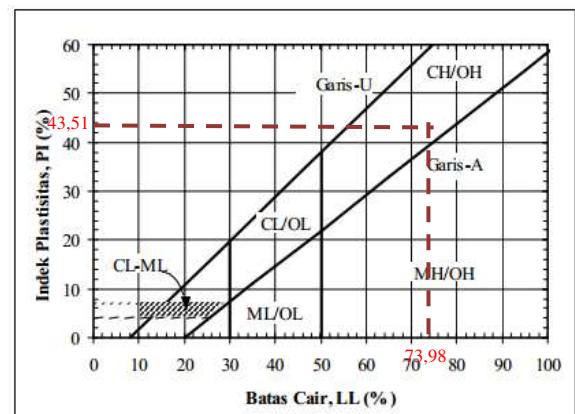
Tabel 4. Hasil Pengujian Batas-batas *Atterberg*

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

Dari **Tabel 4** dapat diketahui bahwa batas-batas *atterberg* tanah asli yaitu batas cair (LL) sebesar 73,92%, batas plastis (PL) sebesar 30,41%, batas susut (SL) sebesar 2,8%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 43,51%. Dari hasil pengujian ini, melihat

jumlah butiran yang lolos saringan no.200 lebih dari 50%, maka tanah dapat digolongkan sebagai tanah berbutir halus, sehingga dapat diklasifikasikan berdasarkan indeks plastisitasnya.

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *unified*, dari hasil analisis butiran diketahui bahwa prosentase distribusi yang lolos saringan no.200 adalah sebesar 91,83%, sehingga tanah tersebut dapat digolongkan sebagai tanah berbutir halus. Sedangkan dari batas-batas *atterberg* dengan nilai batas cair (LL) sebesar 73,92%, batas plastis (PL) sebesar 30,41%, batas susut (SL) sebesar 2,8%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 43,51%. Sehingga dari gambar 6 dapat diketahui bahwa tanah di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dapat digolongkan sebagai tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi).

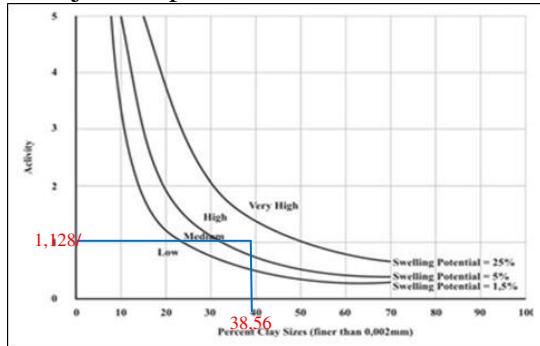


Gambar 6 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Sifat Ekspansifitas

Dengan menggunakan persamaan 1, nilai aktivitas tanah (A) dapat dihitung. Diketahui nilai PI sebesar 43,51% dan prosentase tanah dengan ukuran 0,002 mm adalah 38,563%. Sehingga diperoleh nilai aktivitas tanah asli adalah 1,128. Setelah itu, nilai aktivitas dan prosentase ukuran tanah diplotkan ke dalam grafik potensi mengembang (Gambar 2.3). Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa tanah

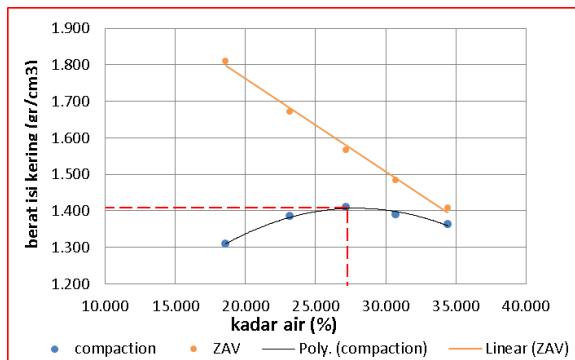
tergolong klasifikasi tanah dengan potensi pengembangan sangat tinggi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Potensi Mengembang

Pemeriksaan Pemadatan Standar

Hasil pengujian pemandatan standar pada tanah asli dapat dilihat pada gambar 8.



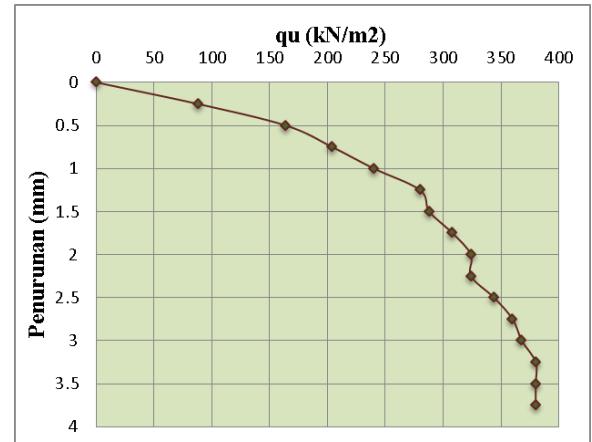
Gambar 8 Grafik Perbandingan Hasil Pemadatan Tiap Persentase Fly Ash

Dari gambar 8, didapatkan kadar air optimum sebesar 27,9 % dan berat isi kering sebesar 1,407 gr/cm^3 . Hasil ini akan digunakan sebagai data kadar air dan berat isi kering pada sampel tanah yang dipadatkan di dalam kotak.

Untuk data kadar air dan berat isi kering pada campuran tanah lempung dengan *fly ash* diambil dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Benny C.L (2014). Berat isi kering pada campuran tersebut yaitu 1,48 gr/cm^3 dengan kadar air sebesar 25,824 %.

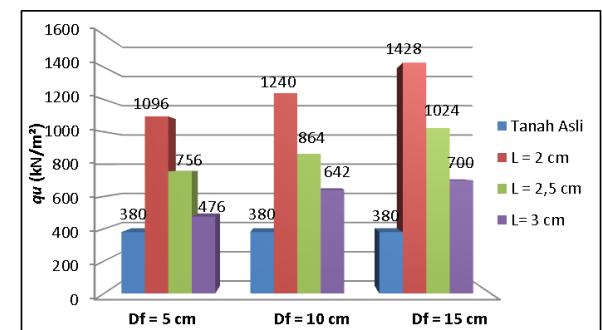
Pengujian Beban Mode Tanah

Pada penelitian ini pengujian beban dibedakan menjadi dua yaitu tanah asli dan tanah terstabilisasi. Hasil pengujian beban pada tanah asli ditampilkan pada gambar 9.



Gambar 9 Kurva Beban-Penurunan Tanah Asli

Selain pengujian pada tanah asli, adapula pengujian beban pada variasi jarak antar kolom (L) dan juga variasi panjang kolom (D_f) DSM. Daya dukung yang dihasilkan dari masing-masing variasi tersebut akan dibandingkan dengan daya dukung dari tanah asli untuk mengetahui besar peningkatan daya dukung yang dihasilkan. Pada gambar 10 disajikan gambar daya dukung yang dihasilkan oleh variasi jarak antar kolom.



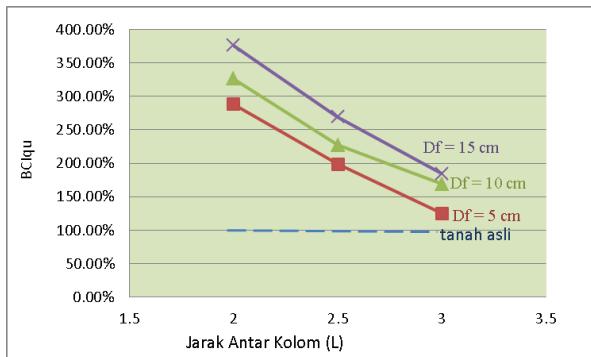
Gambar 10 Diagram Hubungan Daya Dukung Dengan Perubahan Jarak antar Kolom Terhadap Panjang Kolom

Untuk mengetahui besarnya peningkatan daya dukung dari variasi jarak

antar kolom DSM ini, digunakan analisis BCI_{qu} (*Bearing Capacity Improvement*). Grafik BCI_{qu} disajikan pada gambar 11 dan tabel 5.

Tabel 5 Nilai BCI_{qu} untuk Variasi Jarak Antar Kolom DSM

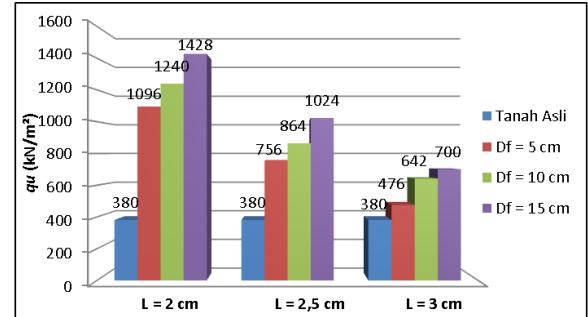
Jenis Benda Uji	Panjang Kolom (Df)	Jarak Antar Kolom (L)	qu	qu tanah asli	BCI_{qu}	Peningkatan BCI_{qu}	
						cm	cm
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	2	1096	380	288%	45%	59%
		2.5	756	380	199%		
		3	476	380	125%		
	10	2	1240	380	326%	44%	35%
		2.5	864	380	227%		
		3	642	380	169%		
	15	2	1428	380	376%	39%	46%
		2.5	1024	380	269%		
		3	700	380	184%		



Gambar 11 Grafik Perbandingan Peningkatan BCI Jarak antar Kolom terhadap Panjang Kolom DSM

Berdasarkan gambar 11 terlihat bahwa dengan adanya kolom DSM, daya dukung tanah meningkat. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai BCI perkuatan yang lebih besar daripada nilai BCI tanah asli. Dari tabel 5 terlihat bahwa nilai BCI akan berkurang apabila jarak antar kolom bertambah. Seiring dengan berkurangnya jarak antar kolom, akan memberikan peningkatan daya dukung. Dengan begitu, bisa disimpulkan bahwa dengan berkurangnya jarak antar kolom, dapat meningkatkan daya dukung tanah.

Untuk pengaruh variasi panjang kolom terhadap peningkatan daya dukung tanah disajikan pada gambar 12.

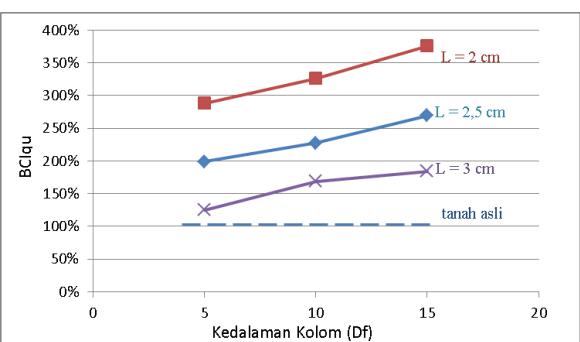


Gambar 12 Diagram Hubungan Daya Dukung Dengan Perubahan Panjang Kolom Terhadap Jarak antar Kolom

Untuk mengetahui besarnya peningkatan daya dukung dari variasi panjang kolom DSM ini, digunakan analisis BCI_{qu} (*Bearing Capacity Improvement*). Grafik BCI_{qu} disajikan pada gambar 13 dan tabel 6.

Tabel 6 Nilai BCI_{qu} untuk Variasi Panjang Kolom DSM

Jenis Benda Uji	Jarak Antar Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	qu	qu tanah asli	BCI_{qu}	Peningkatan BCI_{qu}	
						cm	cm
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	2	5	1096	380	288%	13%	15%
		10	1240	380	326%		
		15	1428	380	376%		
	2.5	5	756	380	199%	14%	19%
		10	864	380	227%		
		15	1024	380	269%		
	3	5	476	380	125%	35%	9%
		10	642	380	169%		
		15	700	380	184%		



Gambar 13 Grafik Perbandingan Peningkatan BCI Panjang Kolom terhadap Jarak Antar Kolom DSM

Berdasarkan gambar 13 terlihat bahwa dengan adanya kolom DSM, daya

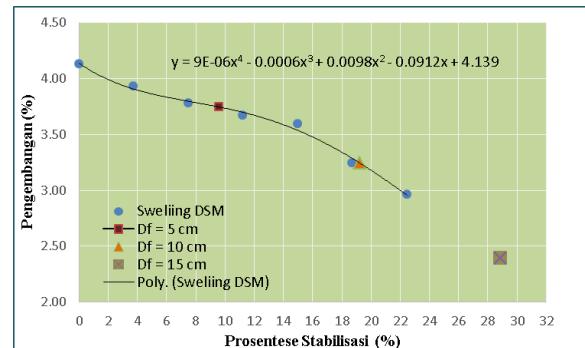
dukung tanah meningkat. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai BCI perkuatan yang lebih besar daripada nilai BCI tanah asli. Dari tabel 6 terlihat bahwa nilai BCI akan bertambah apabila panjang kolom bertambah. Seiring dengan bertambahnya panjang kolom, akan memberikan peningkatan daya dukung tanah. Dengan begitu, bisa disimpulkan bahwa dengan bertambahnya panjang kolom, akan meningkatkan daya dukung tanah.

Pemeriksaan Swelling

Pengujian swelling pada tanah lempung ekspansif yang menggunakan metode *deep soil mixing* dilakukan oleh Ika Meisy Rachmawati (2015). Pada penelitian tersebut dilakukan uji *swelling* pada tanah dengan kadar air OMC dan kepadatan 1,28 gr/cm³ dengan memberikan variasi jumlah kolom *deep soil mix*. Hasilnya, didapatkan pengaruh prosentase rasio tanah yang distabilisasi dari kolom DSM dengan tanah asli terhadap potensi pengembangan tanah. Dengan menggunakan data dari penelitian tersebut, penurunan nilai pengembangan dapat terlihat pada tabel 7 dan gambar 14.

Tabel 7 Pengaruh prosentase tanah yang distabilisasi terhadap potensi pengembangan tanah lempung ekspansif (Meisy, 2015)

Jenis Benda Uji	Variabel	Volume Tanah Asli (A)	Volume Kolom DSM	Prosentase Stabilisasi	Pengembangan
		cm ³	cm ³	%	%
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	Df = 5 cm	8000	769.3	9.61625	3.745135
	Df = 5 cm		1538.6	19.2325	3.24482
	Df = 5 cm		2307.9	28.84875	2.39154



Gambar 14 Pengaruh prosentase tanah yang distabilisasi terhadap potensi pengembangan tanah lempung ekspansif (Meisy, 2015)

Nilai pengembangan (swelling) pada tanah asli adalah 4,283 %. Pada saat di diberikan kolom *deep soil mix*, nilai *swelling* berkurang. Dengan memberikan tambahan panjang kolom *deep soil mix* akan memberikan penurunan nilai *swelling* pada tanah lempung ekspansif. Hal ini dikarenakan dengan memberikan tambahan panjang akan menaikkan volume tanah yang distabilisasi.

Adanya *fly ash* juga memberikan pengaruh terhadap menurunnya pengembangan tanah lempung ekspansif karena *fly ash* memiliki sifat *pozzolanic* yaitu mengeras ketika bertemu dengan air. Sehingga tanah akan tertahan untuk tidak mengembang.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisa dan pembahasan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar jarak antar kolom *deep soil mix* (DSM), maka daya dukung tanah akan semakin menurun.
2. Semakin besar panjang pada kolom DSM, maka daya dukung tanah akan semakin meningkat.
3. Pengaruh jarak antar kolom DSM (L) terhadap perubahan nilai daya dukung tanah lebih dominan dibanding pengaruh panjang kolom DSM (Df).

4. Daya dukung maksimal dihasilkan dari variasi jarak antar kolom DSM paling kecil dan panjang kolom DSM paling besar.
5. Dari volume tanah terstabilisasi yang ada dapat menurunkan nilai pengembangan (*swelling*) pada tanah tersebut.
- Setelah melakukan analisa dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:
1. Untuk mendapatkan data yang akurat, penelitian harus dilakukan dengan hati-hati, teliti dan tidak terburu-buru. Setiap pekerjaan harus dikontrol dengan baik dan selalu memperhatikan perubahan yang ada.
 2. Perlu dilakukan analisis lebih detail mengenai usaha pemanatan dalam box sehingga berat isi kering maksimum dalam box dapat memenuhi kriteria berat isi kering maksimum berdasarkan uji proktor standar.
 3. Operator pembebanan vertikal harus selalu membawa stopwatch, agar penurunan yang dihasilkan dari pembacaan beban dapat berjalan konstan, karena dalam penelitian ini pembebanan masih dilakukan secara manual.
 4. Memperbanyak variasi jarak dan panjang untuk mengetahui jarak dan panjang paling optimum pada DSM diameter 2 cm pola single square. Dalam penelitian ini pengaruh jarak dan panjang masih terlihat signifikan sehingga diperlukan tambahan variasi jarak dan panjang untuk mengetahui batas pengaruh jarak dan panjang DSM sehingga didapatkan grafik di titik puncak kurva.
 5. Diperlukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan nilai kohesi (*c*) dan sudut geser (ϕ) pada tanah yang di stabilisasi deep soil mix (DSM), sehingga dapat dibandingkan nilai daya dukung hasil pengujian dengan daya dukung hasil perhitungan matematis.
 6. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi bahan additive jenis lain untuk mengetahui pengaruh campuran bahan pada deep soil mix (DSM).
 7. Menggunakan alat dengan kondisi yang baik, keakuratan pembacaan alat sangat mempengaruhi hasil dari pengujian. Untuk itu diperlukan kontrol untuk menjaga kondisi alat yang digunakan.
 8. Sebelum proses penjenuhan tanah dengan air, sebaiknya diperiksa kadar airnya terlebih dahulu. Apabila terpaut jauh pada masing-masing kadar air, sebaiknya dibuat seragam terlebih dahulu, karena kadar air pada tanah lempung ekspansif akan sangat mempengaruhi teksturnya.

Daftar Pustaka

- 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.
- Braja M. Das. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Braja M. Das. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. United States of America: Publisher Cengage Learning.
- Budi, et al. 2003. Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Journal of Civil Engineering Dimension Volume 5 Nomor 1*. Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kristen Petra.
- Bowles, J.E. 1986. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*

- Edisi Kedua.* Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chen, F.H. 1975. *Foundations on Expansive Soils*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company
- 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 diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hartosukma, Endang Widorowati. 2005. Perilaku Tanah Lempung Ekspansif Karangawen Demak Akibat Penambahan Semen dan Fly Ash sebagai Stabilizing Agents. *Tesis Terpublikasi: Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.*
- Muntohar, Agus Setyo. 2009. *Uji Model Kuat Dukung dan Karakteristik Beban-Penurunan Dengan Perkuatan Kolom Kapur di Laboratorium*. Dinamika Teknik Sipil, Akreditasi BAN DIKTI No: 110/DIKTI/Kep/2009. Univeristas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sulistiyowati, Tri. 2006. Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Fly Ash Terhadap Nilai Daya Dukung CBR. *Jurnal Volume 2 Nomor 1. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.*
- Teng, Paul. 2000. *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications. Publication No. FHWA-RD-99-138.*
- Wardani, Sri Pribandiyani Retno. 2008. *Pemanfaatn Limbah Batubara (fly ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Pidato pengukuhan Upacara penerimaan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.