

PENGARUH VARIASI JARAK DAN PANJANG *DEEP SOIL MIX* (DSM) 15% *FLY ASH* DIAMETER 3 CM BERPOLA *PANELS* TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF DI BOJONEGORO

JURNAL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ICHVAN DANNY KURNIAWAN

115060107111002

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

MALANG

2015

PENGARUH VARIASI JARAK DAN PANJANG *DEEP SOIL MIX* (DSM) 15% *FLY ASH* DIAMETER 3 CM BERPOLA *PANELS* TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF DI BOJONEGORO

Ichvan Danny Kurniawan, Zulvi Zaika, Harimurti
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: 115060107111002@mail.ub.ac.id

ABSTRAK

Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki daya dukung rendah dan kembang susut yang tinggi. Untuk memperbaiki sifat buruk pada tanah ekspansif dapat dilakukan upaya stabilisasi mekanik maupun kimiawi. Dalam penelitian ini menggunakan stabilitas kimiawi yaitu dengan cara mencampurkan bahan additive (fly ash) pada tanah dengan metode deep soil mix (DSM). Metode ini merupakan upaya perbaikan tanah dalam yang dilakukan dengan cara membuat kolom-kolom tanah dengan campuran bahan fly ash pada lokasi tanah yang diperbaiki. Dari hasil uji klasifikasi tanah dan uji konsistensi tanah, tanah dari Desa Ngasem, Kab.Bojonegoro, merupakan tanah ekspansif sehingga diperlukan upaya stabilisasi tanah. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat sampel tanah asli dalam box dengan volume tanah 50x50x20 cm³. Pada pengujian tanah Stabilisasi diberikan diameter kolom 3cm dengan variasi jarak (3cm; 3,75cm dan 4,5cm) dan panjang (5cm, 10cm dan 15cm) berpola panels. Proses pembebanan dilakukan pada tanah asli dan tanah stabilisasi. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa jarak yang semakin dekat dan panjang yang semakin panjang meningkatkan daya dukung tanah. Berdasarkan Nilai Bearing Capacity Improvement (BCI), Hasil daya dukung maksimum terjadi pada jarak terdekat (L= 3cm) dan panjang terpanjang (Df= 15cm), daya dukung meningkat 179% dari tanah asli. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh panjang terlihat lebih dominan dibanding pengaruh jarak, dibuktikan dengan rata-rata peningkatan BCI panjang lebih tinggi dibanding rata-rata peningkatan BCI jarak. Selain itu, kenaikan rasio volume DSM dalam tanah dapat mengurangi potensi pengembangan (swelling).

Kata kunci: Tanah Ekspansif, Deep Soil Mix, Jarak, Panjang, Daya Dukung, Swelling

Pendahuluan

Tanah merupakan media utama dalam pembangunan konstruksi bangunan gedung maupun konstruksi jalan. Kondisi tanah di lapangan sangat mempengaruhi jenis pondasi yang digunakan oleh konstruksi di atasnya. Untuk itu mempelajari kondisi tanah yang ada sangat diperlukan, khususnya bagi seorang insinyur Teknik Sipil. Kebanyakan masalah dalam bidang keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif seperti pada tanah ekspansif. Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang berbahaya apabila didirikan struktur bangunan di atasnya. Tanah 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, Kec. Ngasem, Kab. Bojonegoro.

Dalam penelitian ini digunakan metode *deep soil mix* (DSM) untuk mencampur fly ash dengan tanah.

Permasalahan mengenai DSM masih belum banyak diteliti di Indonesia, walaupun penelitian mengenai bahan *additive* untuk memperbaiki sifat mekanis tanah sudah banyak dilakukan. Hal tersebut mungkin terjadi karena terbatasnya informasi mengenai stabilisasi tanah dengan menggunakan DSM yang masih belum banyak diaplikasikan di Indonesia. Untuk itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh jarak dan panjang dengan menggunakan konfigurasi pola *panels* pada DSM terhadap daya dukung tanah akibat dari beban vertikal yang bekerja.

Penelitian ini memiliki tujuan yang diharapkan tercapai yaitu:

1. Untuk mengetahui adanya pengaruh variasi jarak dan panjang *Deep Soil Mix* (DSM) 15% fly ash diameter 3cm pola panels terhadap daya dukung tanah lempung ekspansif Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro.
2. Untuk mengetahui jarak dan panjang optimum *Deep Soil Mix* (DSM) 15% fly ash diameter 3cm pola panels terhadap

daya dukung tanah lempung ekspansif Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro

Tinjauan Pustaka

Tanah lempung dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis tergantung pada komposisi serta mineral pembentuknya. Ditinjau dari mineral pembentuk butiran lempung, dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Lempung ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut tanah yang tinggi yang disebabkan oleh kandungan mineral ekspansif sehingga memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi. Apabila terjadi peningkatan kadar air, lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan meningkatnya tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan. Namun ketika kadar air berkurang sampai batas susutnya akan terjadi penyusutan. Menurut Bowles (1986) tanah lempung diperkirakan akan mempunyai perubahan volume yang besar (ekspansif) apabila indeks plastisitas melebihi 20 (IP>20).

Tanah ekspansif dapat diidentifikasi berdasarkan indeks plastisitas seperti yang ditampilkan dalam tabel 1, tabel 2, tabel 3 berikut:

Tabel 1 Hubungan potensial mengembang dengan indeks plastisitas

Potensi Mengembang	Indeks Plastisitas (IP)
Rendah	0 - 15
Sedang	10 - 35
Tinggi	35 - 55
Sangat Tinggi	55 <

Sumber: Chen (1975)

Tabel 2 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI

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

Sumber: Raman (1967) dalam Tobing (2014)

Tabel 3 Klasifikasi potensi mengembang didasarkan pada *Atteberg Limit*

Batas susut Atteberg (%)	Susut linier (%)	Derajat mengembang
<10	> 8	Kritis
10 - 12	5 - 8	Sedang
> 12	0 - 8	Tidak kritis

Sumber: Altmeyer (1955) dalam hartosukma (2005)

Menurut Skempton (1953) yang disebut aktivitas dapat diketahui berdasarkan rumus beriku

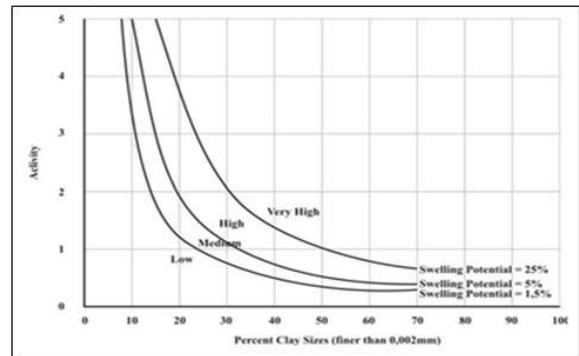
$$Activity (A) = \frac{PI}{c} \tag{1}$$

Dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Persentase lempung diameter 0,002mm

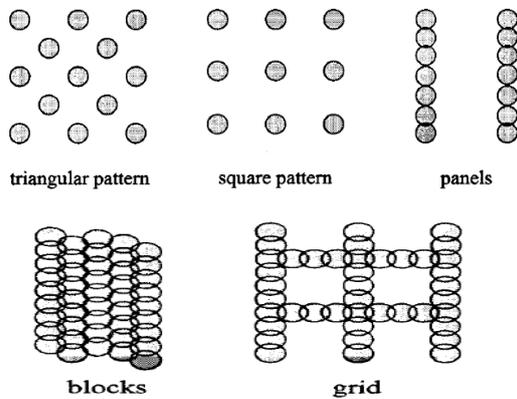


Gambar 1 Grafik klasifikasi potensi mengembang

Sumber: Seed dkk. (1962) dalam Tobing (2014)

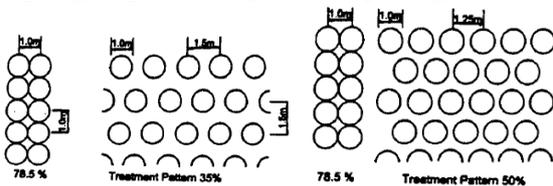
Deep Soil Mix (DSM) merupakan metode pencampuran tanah dengan bahan *additive* dengan panjang melebihi 30 m. pada metode DSM digunakan bantuan *crane* yang dilengkapi *auger* hidrolik yang dapat menyemprotkan bahan *additive* pada ujung dan sisi *auger*. Proses pencampuran diawali dengan pengeboran pada titik yang telah direncanakan pada panjang tertentu, setelah panjang yang diinginkan tercapai dilanjutkan dengan proses penyampuran bahan *additive* dengan cara menyemprotkan bahan *additive* pada *auger* dengan putaran terbalik dengan kecepatan yang lebih tinggi sambil menarik *auger* ke atas. Setelah proses pencampuran selesai dilanjutkan dengan proses pemadatan pada titik tanah daerah yang diperbaiki kondisi tanahnya.

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 2**.



Gambar 2 Pola *deep soil mix* (DSM)
Sumber: Kosche (2004)

Dalam beberapa kasus di lapangan, variasi konfigurasi dan jarak antar kolom dilakukan guna mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap peningkatan stabilitas tanah. Variasi ini pernah dilakukan pada proyek *Tomei Freeway* di Jepang, seperti yang terlihat pada **gambar 3**.



Gambar 3 Variasi Konfigurasi dan Jarak Kolom DSM
Sumber: Bruce (2000)

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Menurut Terzaghi (1943) dalam hardiyatmo (2011) daya dukung tanah dapat didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat menahan beban tanpa mengalami keruntuhan. Daya dukung dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2)$$

dengan, q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

P_u = beban ultimit (kN)

A = luas pondasi (m^2)

Metode Penelitian

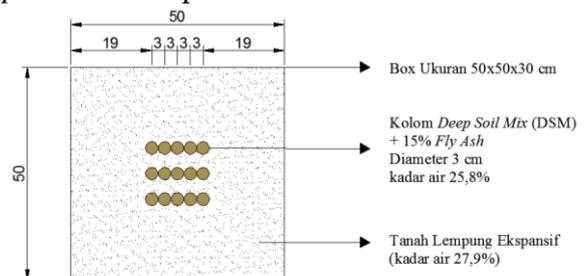
Pengujian Pendahuluan

Untuk mendukung penelitian ini maka dilakukan penelitian pendahuluan untuk memastikan kondisi tanah yang akan di uji merupakan jenis tanah lempung ekspansif. Dalam penelitian pendahuluan terdiri dari beberapa macam pengujian yaitu:

1. Pemeriksaan *specific gravity* (ASTM 1992 D 854-92);
2. Pemeriksaan batas cair, batas plastis indeks plastisitas tanah (ASTM 1984 D 4318-84);
3. Pemeriksaan batas susut (ASTM D 427-04);
4. Pengujian klasifikasi tanah metode USCS (ASTM 1992 D 2487-92);
5. Pengujian proktor standar (ASTM D-698 (Metode B))

Pengujian *Deep Soil Mix* (DSM)

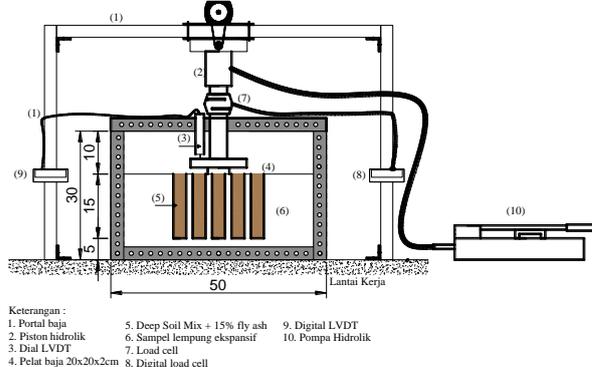
Pengujian DSM diawali dengan tahap persiapan terdiri dari persiapan alat pengujian dan bahan beserta pembuatan sampel dalam *box* dengan volume tanah $50 \times 50 \times 20 \text{ cm}^3$. Tanah yang digunakan merupakan tanah dari desa Ngasem, Kab. Bojonegoro dengan bahan *additive fly ash*. Setelah pembuatan sampel dalam *box* dilanjutkan proses pembuatan kolom-kolom DSM sesuai variasi jarak (1D, 1,25D dan 1,5D) dan panjang (1B; 2B dan 3B) DSM. D merupakan diameter DSM ($D=3\text{cm}$) dan B adalah lebar pelat uji beban ($B=5\text{cm}$) dengan jarak antar *panels* 6 cm. Berikut ini adalah pemodelan DSM pola *panels* dalam penelitian:



Gambar 4 Pemodelan DSM pola *Panels*

Proses pembebanan dilakukan pada tanah asli dan tanah stabilisasi DSM. Pada tanah asli (kondisi terganggu) langsung dilakukan pembebanan setelah pembuatan sampel namun pada tanah stabilisasi DSM, setelah proses instalasi selesai dilanjutkan proses perawatan selama 4 hari. Setelah waktu perawatan mencapai 4 hari dilanjutkan uji pembebanan. Proses pembebanan menggunakan beban vertikal berupa dongkrak hidrolis. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi pada pelat uji beban digunakan *load cell* dengan kapasitas 5 ton. *Dial LVDT* Digunakan untuk mengetahui besarnya penurunan tanah yang terjadi pada permukaan tanah karena uji beban pada pelat uji. Pelat distribusi beban memiliki ukuran permukaan 5x5 cm². Untuk mendapatkan beban maksimum dilakukan pembacaan beban hingga tiga kali sama dengan pembacaan interval LVDT 0.25 mm sehingga didapatkan daya dukung tanah.

Hasil akhir dari uji pembebanan akan diperoleh kurva Beban-penurunan tanah sehingga di dapatkan daya dukung tanah ekspansif. Berikut ini adalah gambar skema pembebanan:



Gambar 5 Skema Uji Pembebanan

Berikut ini adalah tabel rancangan perhitungan daya dukung penelitian variasi jarak dan panjang dsm:

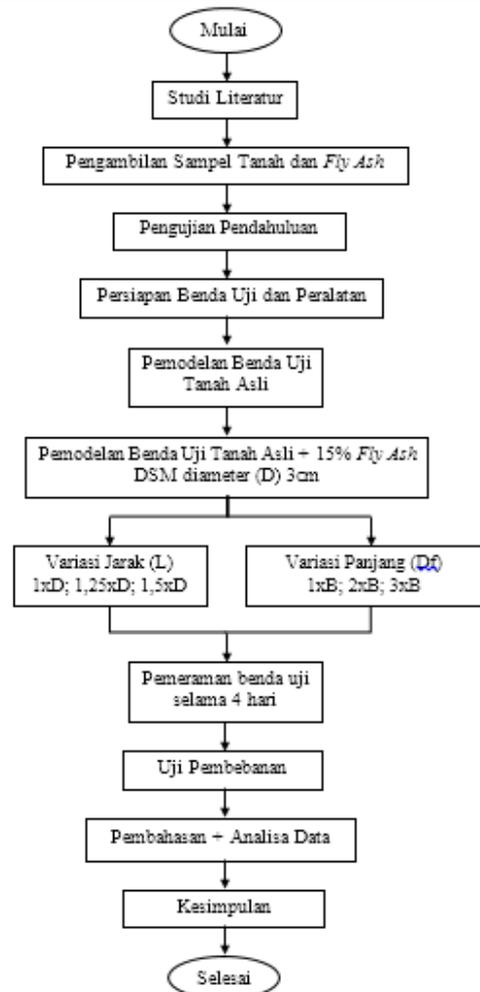
Tabel 4 Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom DSM

Jenis Sampel	Jarak DSM (cm)	Panjang DSM (cm)	Penurunan (mm)	Beban maksimum (kg)	Daya Dukung (kN/m ²)	
Tanah Asli	-	-				
Tanah + 15% Fly Ash	1 D = 3 cm	1 B = 5 cm				
		2 B = 10 cm				
		3 B = 15 cm				
	1,25 D = 3,75 cm	1 B = 5 cm				
		2 B = 10 cm				
		3 B = 15 cm				
	1,5 D = 4,5 cm	1 B = 5 cm				
		2 B = 10 cm				
		3 B = 15 cm				

Untuk mengetahui pengaruh jarak dan panjang *deep soil mix* (DSM) untuk meningkatkan daya dukung tanah dilakukan analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI). Nilai BCI dapat diperoleh dengan rumus:

$$BCI = \frac{q_u \text{ tanah dengan DSM}}{q_u \text{ tanah asli}} \times 100\% \quad (3)$$

Alur pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini:



Gambar 6 Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Pendahuluan

Specific Gravity

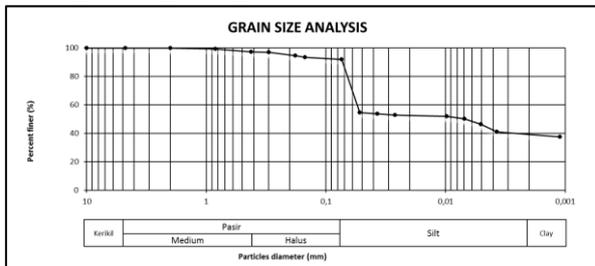
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai *specific gravity* rata-rata tanah yang digunakan adalah 2,73, sehingga Gs tanah Kabupaten Bojonegoro termasuk lempung anorganik (Gs antara 2,68 - 2,75)

Tabel 5 Specific gravity tanah Kabupaten Bojonegoro

Labu Ukur	Gs	rata-rata
1	2.713	2.730
2	2.754	
3	2.724	

Klasifikasi Tanah

Pada uji klasifikasi tanah dilakukan dua jenis pengujian yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer. Analisis saringan (*mechanical grain size*) untuk distribusi ukuran butiran tanah. Analisis hidrometer digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran untuk tanah lolos saringan no. 200. Hasil analisis yang dilakukan ditampilkan pada gambar 7 berikut ini:



Gambar 7 Analisis saringan dan Hidrometer

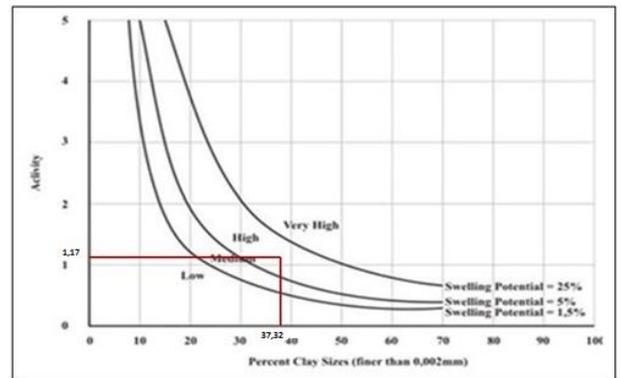
Dari gambar 7 di atas berdasarkan hasil klasifikasi tanah menurut sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*), tanah dari Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro termasuk jenis tanah berbutir halus dengan distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 91,83%.

Atterberg Limit

Hasil pemeriksaan batas-batas *Attreberg* didapatkan nilai batas cair (*liquid limit*) 73,92%, batas plastis (*plastic limit*) 30,41%, batas susut (*Shrinkage limit*) 2,8%, sehingga didapatkan Indeks Plastisitas sebesar 43,51%. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *Unified* (USCS) dan kriteria *specific gravity* (Gs), tanah lempung dari Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ini tergolong sebagai tanah CH (lempung dengan plastisitas tinggi).

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui potensi pengembangan dan derajat mengembang tanah digunakan

metode tidak langsung (*single index method*) yaitu dengan menggunakan nilai-nilai dari batas *Atterberg*. Berdasarkan rumus 1 nilai aktivitas dapat dihitung sehingga didapatkan nilai aktivitas sebesar 1,17 dan persentase tanah ukuran 0,002 adalah 37,32%. Dari nilai aktivitas dan persentase lolos saringan no. 200 diplotkan pada gambar 1 maka dapat diketahui bahwa tanah Kabupaten Bojonegoro termasuk klasifikasi tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi seperti yang ditunjukkan gambar 8 berikut:



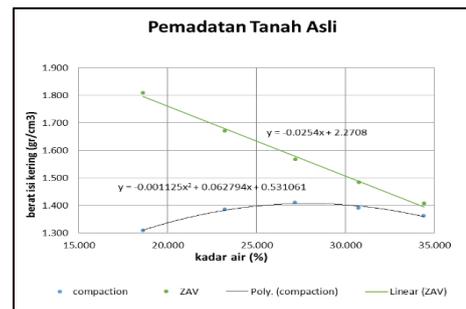
Gambar 8 Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang

Sumber: Seed dkk. (1962) dalam Tobing (2014)

Dari nilai batas-batas *Atterberg* dan nilai aktivitas juga dapat diklasifikasikan sifat ekspansif berdasarkan tabel 1, tabel 2 dan tabel 3. Dari ketiga kriteria yang ada dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan sebagai benda uji merupakan tanah ekspansif dan dapat dilanjutkan pada proses pembuatan benda uji.

Uji Pemadatan Standar

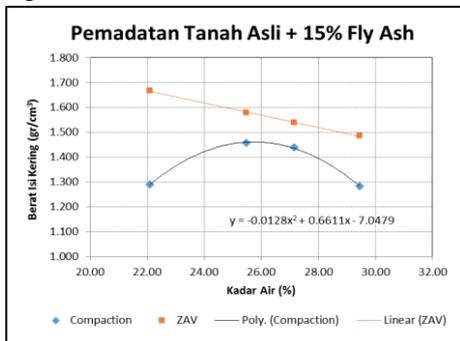
Grafik hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini:



Gambar 9 Grafik hasil pemadatan tanah asli

Dalam uji pemadatan standar yang dilakukan, didapatkan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,9% dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,407 gr/cm³, selanjutnya data tersebut digunakan untuk pembuatan benda uji dalam *box*. Setelah dilaksanakan pengujian pemadatan didapatkan berat isi kering pelaksanaan 1,28 gr/cm³ sehingga dalam penelitian ini digunakan kepadatan relatif (Rc) 90,9%.

Untuk data pemadatan tanah yang dicampur 15% *fly ash* merupakan data yang diperoleh dari penelitian Tobing (2014) yang nantinya digunakan sebagai bahan stabilisasi DSM. Grafik hasil pemadatan tanah ditambah 15% *fly ash* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Grafik hasil pemadatan tanah asli + 15% *fly ash*
Sumber: Tobing (2014)

Dari penelitian yang dilakukan Tobing (2014) didapatkan berat isi kering maksimum tanah dengan stabilisasi 15% *fly ash* (γ_d maks) sebesar 1,488 gr/cm³ dengan kadar air optimum (OMC) adalah 25,8%.

Hasil Uji Pembebanan

Uji Tanah Asli

Pengujian benda uji diawali dengan pengujian tanah asli. Yang dimaksud tanah asli dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif tanpa stabilisasi DSM. Tanah ekspansif yang diuji memiliki data sebagai berikut:

$$\text{Berat isi kering tanah } (\gamma_d) = 1,280 \text{ gr/cm}^3$$

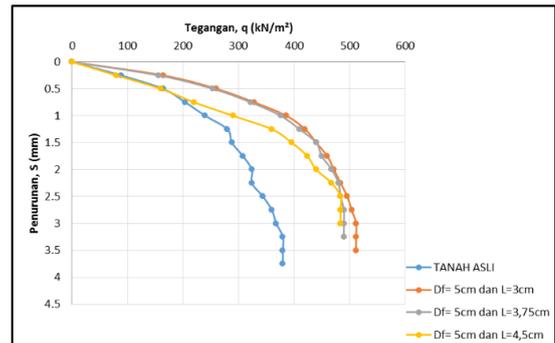
$$\text{Luas pelat beban uji} = 25\text{cm}^2$$

Dari data tersebut didapatkan hasil pengujian besar beban maksimum yang dapat ditahan tanah (P_u) sebesar 95 kg dengan penurunan maksimum yang terjadi 3,75mm.

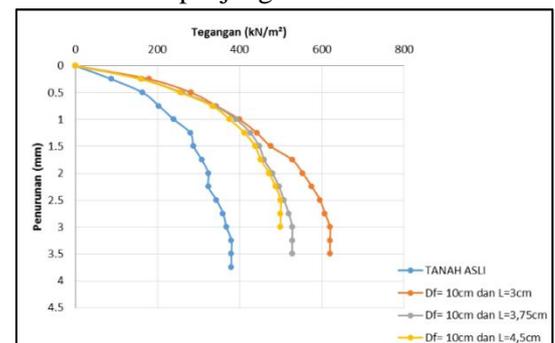
Uji Tanah Stabilisasi 15% *Fly Ash* DSM

Tabel 6 Daya Dukung dengan Variasi Jarak DSM (L)

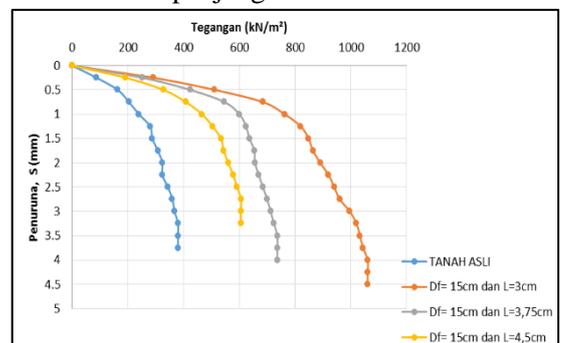
No	Kedalaman DSM (Df)	Jarak DSM (L)	Penurunan, S (mm)	Beban Maksimum, P_u (kg)	Daya dukung, q_u (kN/m ²)
1	1B= 5cm	1D= 3cm	3.5	128	512
2		1,25D= 3,75cm	3.25	122.5	490
3		1,5D= 4,5cm	3	121	484
4	2B= 10cm	1D= 3cm	3.5	155	620
5		1,25D= 3,75cm	3.5	132	528
6		1,5D= 4,5cm	3	125	500
7	3B= 15cm	1D= 3cm	4.5	265	1060
8		1,25D= 3,75cm	4	184	736
9		1,5D= 4,5cm	3.25	151.5	606



Gambar 11 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan DSM pada variasi jarak dengan panjang 1B= 5cm



Gambar 12 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan DSM pada variasi jarak dengan panjang 2B= 10cm



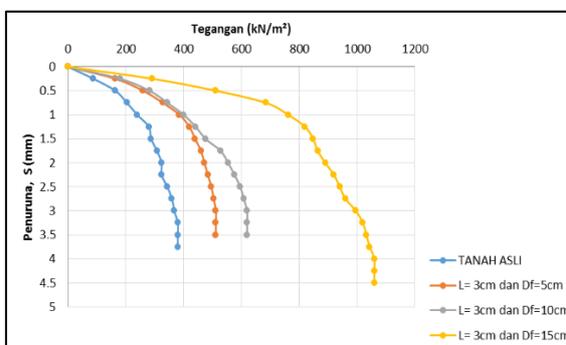
Gambar 13 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan DSM pada variasi jarak dengan panjang 3B= 15cm

Dari ketiga hasil analisis yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa jarak DSM

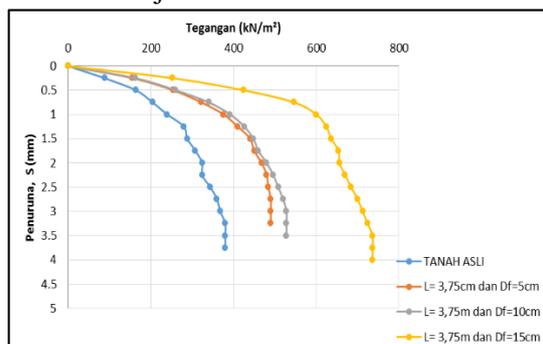
(L) memiliki pengaruh terhadap daya dukung tanah Kabupaten Bojonegoro. Berdasarkan hasil pengolahan data, terjadi peningkatan daya dukung yang terlihat dari rentang daya dukung yang semakin lebar pada variasi jarak DSM antara 1D dengan 1,25D dibanding rentang daya dukung antara variasi jarak 1,25D dan 1,5D. Hal tersebut menunjukkan jarak DSM (L) yang semakin dekat memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap daya dukung tanah dibanding jarak DSM yang semakin jauh. Pada analisis variasi jarak, nilai daya dukung tertinggi terjadi pada jarak DSM 1D= 3cm pada panjang DSM 15cm yaitu sebesar 1060kN/m² dengan penurunan 4,5cm.

Tabel 7 Daya Dukung dengan Variasi Panjang DSM (Df)

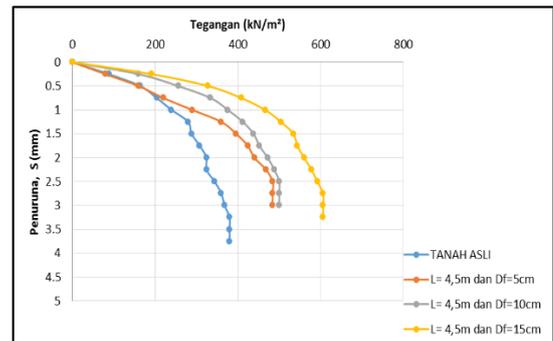
No	Jarak DSM (L)	Kedalaman DSM (Df)	Penurunan, S (mm)	Beban Maksimum, Pu (kg)	Daya dukung, qu (kN/m ²)
1	1D= 3cm	1B= 5cm	3.5	128	512
2		2B= 10cm	3.5	155	620
3		3B= 15cm	4.5	265	1060
4	1,25D= 3,75cm	1B= 5cm	3.25	122.5	490
5		2B= 10cm	3.5	132	528
6	1,5D= 4,5cm	3B= 15cm	4	184	736
7		1B= 5cm	3	121	484
8		2B= 10cm	3	125	500
9		3B= 15cm	3.25	151.5	606



Gambar 14 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan DSM pada variasi panjang dengan jarak DSM 1B= 3cm



Gambar 15 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan DSM pada variasi panjang dengan jarak DSM 1,25B= 3,75cm



Gambar 16 Grafik hubungan daya dukung dan penurunan DSM pada variasi panjang dengan jarak DSM 1,5B= 4,5cm

Dari ketiga hasil analisis yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa Panjang DSM (Df) memiliki pengaruh terhadap daya dukung tanah Kabupaten Bojonegoro. Berdasarkan hasil pengolahan data, terjadi peningkatan daya dukung yang terlihat dari rentang daya dukung yang semakin lebar pada variasi panjang DSM antara 3B dengan 2B dibanding rentang daya dukung antara variasi jarak 2B dan 1B. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin panjang DSM (Df) akan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap daya dukung tanah dibanding panjang DSM yang lebih pendek. Pada analisis variasi panjang, daya dukung terbesar terjadi pada panjang 3B atau 15cm dengan jarak DSM 3cm yaitu sebesar 1060kN/m² dengan penurunan 4,5mm. Pengaruh panjang DSM terhadap daya dukung tanah dapat disebabkan karena kepadatan tanah DSM lebih padat dibanding tanah asli di sekitar DSM karena pada panjang DSM yang lebih panjang memiliki volume DSM dan kepadatan yang lebih besar dari tanah asli.

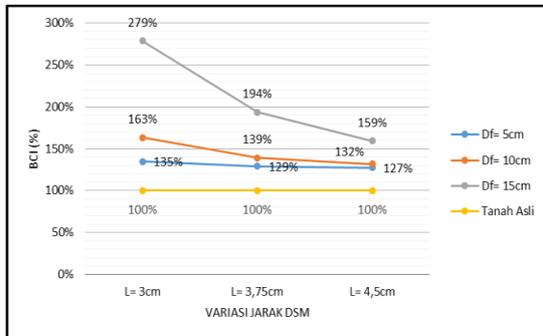
Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI)

Analisis BCI pada Variasi Jarak DSM (L)

Untuk analisis BCI digunakan rumus 3 untuk mengetahui besar peningkatan daya dukung akibat variasi jarak DSM (L). Jarak DSM yang digunakan adalah 1D= 5cm; 1,25D= 3,75cm; dan 1,5D= 4,4cm. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 8 dan untuk melihat pengaruh jarak DSM terhadap peningkatan daya dukung tanah dapat dilihat pada gambar 17.

Tabel 8 Nilai BCI untuk variasi jarak DSM (L)

No	Panjang DSM (Df)	Jarak DSM (L)	qu tanah asli (kN/m ²)	qu dengan DSM (kN/m ²)	BCI (%)	Peningkatan Daya Dukung (%)	Peningkatan BCI (%)
1	1B= 5cm	1D= 3cm	380	512	135%	35%	4%
2		1,25D= 3,75cm		490	129%	29%	
3		1,5D= 4,5cm		484	127%	27%	
4	2B= 10cm	1D= 3cm		620	163%	63%	17%
5		1,25D= 3,75cm		528	139%	39%	
6		1,5D= 4,5cm		500	132%	32%	
7	3B= 15cm	1D= 3cm		1060	279%	179%	44%
8		1,25D= 3,75cm		736	194%	94%	
9		1,5D= 4,5cm		606	159%	59%	



Gambar 17 Grafik perbandingan peningkatan BCI pada variasi jarak DSM (L)

Dari tabel 8 dan gambar 17 terlihat bahwa terjadi penurunan daya dukung pada tanah ketika DSM terletak semakin jauh. Pada jarak DSM yang semakin dekat terjadi peningkatan nilai BCI, seperti yang tampak pada panjang DSM 15cm. Pada jarak 4,5cm terjadi peningkatan daya dukung sebesar 59% dari tanah asli, data tersebut meningkat pada variasi 3,75cm terjadi peningkatan daya dukung sebesar 94% dari tanah asli. Hasil BCI maksimum terjadi pada variasi jarak 3cm, yaitu terjadi peningkatan daya dukung sebesar 179% dari tanah asli. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, jarak DSM yang semakin dekat dapat meningkatkan daya dukung tanah lebih besar dibanding dengan jarak DSM yang terletak berjauhan dan jarak DSM maksimum untuk meningkatkan daya dukung tanah Kabupaten Bojonegoro dalam penelitian ini terjadi terletak pada jarak DSM 3cm, dengan peningkatan daya dukung terbesar yaitu 179% dari tanah asli.

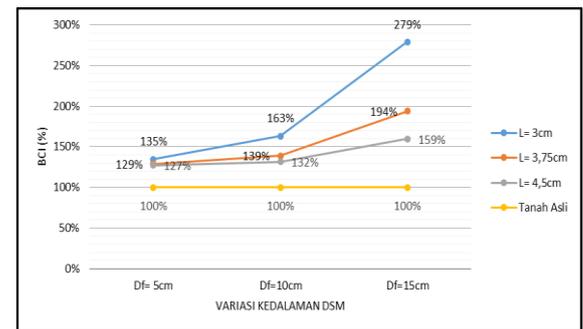
Analisis BCI pada Variasi Panjang DSM (Df)

Untuk analisis BCI digunakan rumus 3. untuk mengetahui besar peningkatan daya dukung akibat variasi Panjang DSM (Df). Jarak DSM yang digunakan adalah 1B= 5cm; 2B= 10cm; dan 3B= 15cm, B lebar pelat uji yaitu 5cm. Hasil analisis

dapat dilihat pada tabel 9 dan untuk melihat pengaruh jarak DSM terhadap peningkatan daya dukung tanah dapat dilihat pada gambar 18.

Tabel 9 Nilai BCI untuk variasi panjang DSM (Df)

No	Jarak DSM (L)	Panjang DSM (Df)	qu tanah asli (kN/m ²)	qu dengan DSM (kN/m ²)	BCI (%)	Peningkatan Daya Dukung (%)	Peningkatan BCI (%)
1	1D= 3cm	1B= 5cm	380	512	135%	35%	21%
2		2B= 10cm		620	163%	63%	
3		3B= 15cm		1060	279%	179%	
4	1,25D= 3,75cm	1B= 5cm		490	129%	29%	8%
5		2B= 10cm		528	139%	39%	
6		3B= 15cm		736	194%	94%	
7	1,5D= 4,5cm	1B= 5cm		484	127%	27%	3%
8		2B= 10cm		500	132%	32%	
9		3B= 15cm		606	159%	59%	



Gambar 18 Grafik perbandingan peningkatan BCI pada variasi panjang DSM (Df)

Dari tabel 9 dan gambar 18 terlihat bahwa terjadi peningkatan daya dukung pada tanah ketika DSM semakin panjang. Pada panjang DSM yang semakin panjang terjadi peningkatan nilai BCI, seperti yang tampak pada jarak DSM 3cm. Pada variasi panjang 5cm terjadi peningkatan daya dukung sebesar 35% dari tanah asli, data tersebut meningkat pada variasi panjang 10cm terjadi peningkatan daya dukung sebesar 63% dari tanah asli. Hasil BCI terbesar terjadi pada variasi panjang 15cm, yaitu terjadi peningkatan daya dukung sebesar 179% dari tanah asli. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, semakin panjang DSM dapat meningkatkan daya dukung tanah lebih besar dibanding dengan panjang DSM yang lebih pendek dan panjang DSM maksimum untuk meningkatkan daya dukung tanah Kabupaten Bojonegoro dalam penelitian ini terjadi terletak pada panjang DSM 15cm dengan peningkatan daya dukung terbesar yaitu 179% dari tanah asli.

Analisis Pengembangan (Swelling)

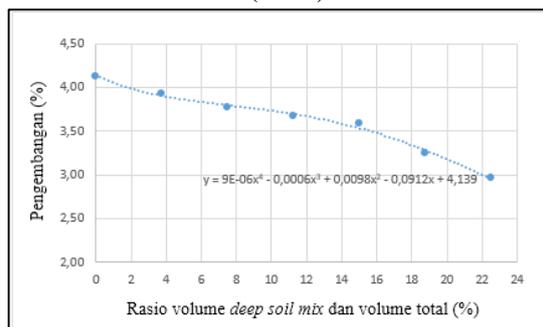
Walaupun dalam penelitian ini tidak dilakukan uji pengembangan, namun

pengembangan tanah dalam *box* dapat diperkirakan berdasarkan rasio volume tanah yang distabilisasi dengan DSM dalam *box*. Setelah rasio volume DSM diketahui, data dapat diplot pada grafik pengaruh *deep soil mix* (DSM) terhadap potensi pengembangan gambar 19. yang telah diteliti Rahmawati (2015). Uji pengembangan tidak dilakukan di dalam *box*, melainkan dilakukan dalam mold sesuai dengan variasi persentase volume DSM dalam mold. Berikut ini adalah hasil penelitian *deep soil mix* (DSM) terhadap pengembangan Rahmawati (2015):

Tabel 10 Potensi pengembangan (*Swelling*) berdasarkan rasio volume *deep soil mix* (DSM) dalam mold

Sampel	Volume sampel (cm ³)	Volume DSM (cm ³)	Rasio volume DSM (%)	Pengembangan (%)	Penurunan nilai pengembangan (%)
tanah asli		0	0	4,133	-
dsm 1	2131,138	79,835	3,746	3,929	-5
dsm 2		159,669	7,492	3,779	-9
dsm 3		239,504	11,238	3,673	-11
dsm 4		319,338	14,984	3,593	-13
dsm 5		399,173	18,730	3,248	-21
dsm 6		479,007	22,477	2,965	-28

Sumber: Rahmawati (2015)



Gambar 19 Perbandingan hasil *swelling* terhadap rasio volume *deep soil mix* dan volume total

Sumber: Rahmawati (2015)

Tabel 11 Potensi pengembangan (*Swelling*) berdasarkan rasio volume *deep soil mix* (DSM) dalam *box*

Jarak	Panjang	Rasio Volume DSM	Pengembangan
cm	cm	%	%
3	5	6.623	3.80785
	10	13.247	3.53299
	15	19.870	2.89194
3,75	5	6.623	3.80785
	10	13.247	3.53299
	15	19.870	2.89194
4,5	5	6.336	3.81645
	10	12.673	3.56810
	15	19.009	3.00036

Dari gambar 19 dapat diperkirakan besar potensi pengembangan (*Swelling*) pada rasio volume DSM terkecil atau

6,336% memiliki potensi pengembangan sebesar 3,816% dan pada rasio volume DSM terbesar atau 19,870% terjadi pengembangan sebesar 2,892%. Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa persentase volume DSM dapat mempengaruhi potensi pengembangan walaupun perubahannya sangatlah kecil. Hal tersebut dapat terjadi karena kepadatan pada tanah yang memiliki volume DSM lebih besar memiliki kepadatan yang tinggi dan volume kadar *fly ash* juga lebih tinggi sehingga dapat mengurangi potensi pengembangan. Jadi, semakin besar rasio volume DSM dalam tanah mengurangi potensi pengembangan.

Kesimpulan

Deep soil mix (DSM) merupakan metode stabilisasi yang dilakukan dengan cara membuat kolom campuran tanah dengan bahan *additive* yang dipadatkan dengan harapan meningkatkan daya dukung tanah pada lokasi yang diperbaiki. Berdasarkan hasil penelitian pengaruh variasi jarak dan panjang *deep soil mix* (DSM) 15% *fly ash* diameter 3cm pola *panels* terhadap daya dukung tanah ekspansif Kabupaten Bojonegoro dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin dekat jarak dan semakin panjang DSM dapat meningkatkan daya dukung tanah.
2. Berdasarkan nilai BCI, jarak dan panjang dengan daya dukung maksimum terjadi pada DSM terdekat ($L= 3\text{cm}$) dan terpanjang ($D_f= 15\text{cm}$). Pada penelitian ini pengaruh panjang DSM terlihat lebih dominan dibanding pengaruh jarak DSM.
3. Rasio volume DSM dalam tanah dapat mempengaruhi potensi pengembangan. Rasio volume DSM yang semakin besar akan mengurangi potensi pengembangan (*Swelling*).

Saran

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan dalam penelitian ini, masih terdapat banyak kelemahan yang perlu diperhatikan. Untuk itu agar penelitian selanjutnya kelemahan-kelemahan yang terjadi dapat diminimalisir maka diperlukan

beberapa upaya untuk menghindari kesalahan dalam penelitian, diantaranya:

1. Memperbanyak variasi jarak dan panjang untuk mengetahui jarak dan panjang paling optimum pada DSM diameter 3cm pola *panel*. 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 (optimum).
2. 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.
3. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi bahan *additive* jenis lain untuk mengetahui pengaruh campuran bahan pada *deep soil mix* (DSM).

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Bruce, Donald A. 2000. Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Application. *Report Document No. FHWA-RD-99-138*. Virginia: U.S. Departement of commerce
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amterdam: Esvier Scientific
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Muntohar, Agus Setyo. 2010. Uji Model Kuat dan Karakteristik Beban-Penurunan Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom Kapur di Laboratorium. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil Vol. 10/No. 3*. Universitas Muhamadiyah Yogyakarta.
- Kitazume, Masaki dan Masaki Terashi. 2013. *The Deep Mixing Method*. London: CRC Press.
- Nur, Ailin J.O., dkk. 2011. Study of Bearing Capacity of Lime-Cemen Columns with Pulverized Fuel Ash for Soil Stabilization Using Laboratory Model. *Jurnal Bund. H, Vol. 16 (2011)*. Universitas Teknologi MARA Malaysia.
- Panjaitan, Surta Ria N. 2010. Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Mengembang yang Distabilisasi dengan Fly Ash. *Seminar Nasional ISBN No. 978-602-96473-0-3*. Institut Teknologi Medan.
- Rahmawati, Ika Meisy P. 2015. *Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro dengan Stabilisasi Menggunakan 15% Fly Ash dengan Metode Deep Soil Mix*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Malang: Universitas Brawijaya.
- Tobing, Benny Christian L. 2014. *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.