

Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% Fly Ash

Benny Christian L. Tobing, Suroso, Yulvi Zaika

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: bennytobing22@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung yang ekspansif merupakan tanah yang memiliki daya dukung rendah dan kembang susut yang tinggi, oleh karena itu diperlukan suatu upaya stabilisasi agar nilai CBR dan swelling menjadi lebih baik sehingga dapat digunakan sebagai tanah dasar dalam suatu konstruksi. Tanah dari daerah Bojonegoro menjadi bahan uji dalam penelitian ini. Dari hasil pengujian fisik tanah diketahui bahwa tanah di daerah Bojonegoro merupakan tanah lempung ekspansif dengan nilai CBR 3,909% dan nilai swelling 3,982%, oleh karena itu tanah tersebut memerlukan upaya stabilisasi. Upaya stabilisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pencampuran bahan aditif berupa fly ash. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pendahuluan dengan pencampuran kadar fly ash 5%, 10%, 15%, dan 20%. Berdasarkan hasil dari pengujian pendahuluan, kadar optimum fly ash yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi adalah 15%. Pencampuran tanah lempung ekspansif dengan 15% fly ash menghasilkan nilai CBR sebesar 7,892% dan nilai swelling 1,018%. Dengan melakukan curing pada campuran tanah lempung ekspansif dengan 15% fly ash, dapat menghasilkan nilai CBR dan swelling yang lebih baik. Waktu curing untuk menghasilkan CBR terbesar dan swelling terkecil adalah 28 hari. Curing selama 28 hari menghasilkan nilai CBR terbesar yaitu 16,948% dan nilai swelling terkecil yaitu 0,381%. Curing selama 28 hari dapat meningkatkan nilai CBR sebesar 433,6% dan nilai swelling turun hingga 1045,1%.

Kata kunci: Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Fly Ash, CBR, Swelling, Curing

Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif mempunyai tingkat sensitifitas tinggi 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.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan sifat tanah yang lebih stabil pada tanah ekspansif dengan cara mencampur tanah ekspansif dengan zat aditif. Zat aditif yang digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif dapat berupa bahan industrial seperti kapur, semen, dan gypsum. Selain itu zat aditif dapat berupa limbah suatu proses produksi seperti *coal fly ash*, *coal bottom ash*, *steel fly ash*, *rice husk fly ash* (abu sekam padi).

Penelitian ini menggunakan *fly ash* sebagai zat aditif dengan kadar 15% untuk stabilisasi tanah, yang akan dicampur dengan

tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. Proses *curing* dilakukan dalam penelitian ini sebagai upaya untuk semakin meningkatkan nilai CBR dan menurunkan *swelling* tanah lempung ekspansif.

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui adanya pengaruh pemeraman (*curing*) terhadap daya dukung (CBR) dan *swelling* pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro yang telah di campur zat aditif berupa *fly ash*.
2. Untuk mengetahui lama waktu pemeraman (*curing*) untuk menghasilkan daya dukung (CBR) terbesar dan *swelling* terkecil pada tanah lempung ekspansif di Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro yang telah di campur zat aditif berupa *fly ash*.

Tinjauan Pustaka

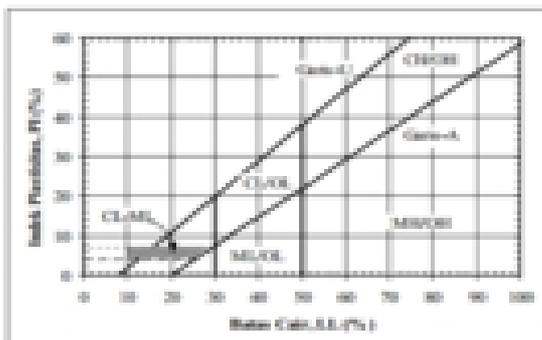
Pengertian tanah lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang memiliki ukuran mikronis sampai dengan submikronis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering. Permeabilitas lempung sangat rendah sehingga tanah lempung bersifat plastis.

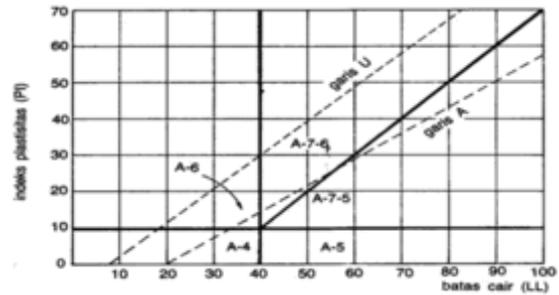
Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr,1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Dari kelompok mineral tersebut, tanah lempung ekspansif dapat dibagi menjadi lempung ekspansif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

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah dapat Berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)* dan atau berdasarkan AASHTO



Gambar 1 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS



Gambar 2 Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

Menurut para ahli, Klasifikasi tanah lempung dapat 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 Potential
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 aktivitas dalam rumus sebagai berikut:

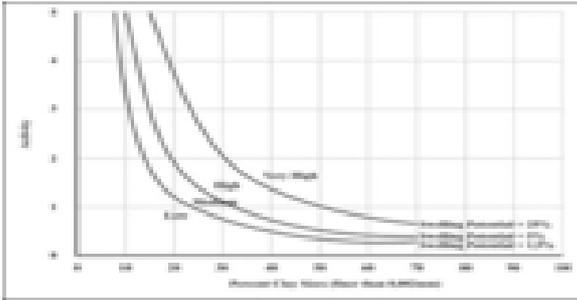
$$\text{Activity (A)} = \frac{PI}{c} \quad (1)$$

Dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung <0,002mm



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

Pada penelitian ini, usaha stabilisasi tanah yang digunakan adalah dengan penambahan zat aditif. Zat aditif yang digunakan yaitu *fly ash*. Kandungan *fly ash* adalah seperti yang ditampilkan tabel 4.

Tabel 4 Kandungan *fly ash* PLTU Paiton

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm ³	1.43
2	Kadar Air	% Berat	0.2
3	Hilang Pijar	% Berat	0.43
4	SiO ₂	% Berat	62.49
5	Al ₂ O ₃	% Berat	6.39
6	Fe ₂ O ₃	% Berat	16.71
7	CaO	% Berat	5.09
8	MgO	% Berat	0.79
9	S(SO ₄)	% Berat	7.93

Sumber : Rahmi (2006)

Atterberg Limit

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Cara menentukannya dapat menggunakan alat Cassagrande. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar air berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik tersebut dapat dibaca kadar air pada pukulan tertentu.

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inch). Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada pelat kaca hingga

diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inch. Ketika tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inch, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.

Batas susut (*shrinkage limit*) menunjukkan kadar air atau batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering tidak akan menyusut lagi, meskipun dikeringkan terus atau batas dimana sesudah kehilangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah.

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah.

Jika tanah memiliki PI tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering.

California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban pada percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) pada penetrasi yang sama dan dinyatakan dalam persen. Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Penetrasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

- Penetrasi 0,1" (2,5 mm)

$$CBR = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (2)$$

- Penetrasi 0,2" (5 mm)

$$CBR = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (3)$$

Percobaan CBR dilakukan dengan menggunakan dongkrak mekanis yang dimana sebuah piston penetrasi ditekan agar masuk ke tanah dengan kecepatan 0,05 inchi/menit. Luas piston itu 3 inchi². Untuk menentukan beban yang bekerja pada piston dipakai sebuah *proving ring* yang terpasang antara piston dan dongkrak. Pada nilai penetrasi tertentu beban yang bekerja pada piston tercatat sehingga kemudian dapat dibuat grafik beban terhadap penetrasi.

Harga CBR dihitung pada harga penetrasi 0,1 dan 0,2 inchi, dengan cara membagi beban pada penetrasi ini masing-masing dengan beban sebesar 3000 dan 4500 pound (Wesley 1997, 171). Beban ini adalah beban standard. Jadi harga CBR adalah perbandingan antara kekuatan tanah yang bersangkutan dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standard (Wesley 1997, 174).

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.

Uji *swelling* dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang dibutuhkan untuk pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk ke dalam tanah, karena tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika berinteraksi dengan air. Beberapa penelitian melakukan pengujian ini selama 2 jam dan menunggu sampai kecepatan mengembang mencapai kecepatan tertentu (0,001"/jam), sehingga memerlukan waktu beberapa hari.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai swell akibat adanya beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang masuk ke pori-pori tanah dan menyebabkan perubahan isi pori tanah sehingga tekanan vertikal berkerja pada tanah tersebut.

Tekanan ke tanah sangat mempengaruhi proses terjadinya pengembangan pada tanah. Tekanan

pengembangan yang mencegah tanah mengembang disebut tekanan pengembangan (*swelling pressure*).

Metode Penelitian

Metode dalam penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Berat Jenis (ASTM 1989 D 854-83)
2. Pemeriksaan Batas Konsistensi (ASTM 1989 D 4318)
3. Pengujian Proktor Standart (ASTM D-698 (Metode B))
4. Pengujian CBR (ASTM D-1883)
5. Pengujian Swelling (ASTM D-4546-90)

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

Pengujian tanah asli dalam keadaan terganggu (*disturbed*) dengan penambahan 5%, 10%, 15% dan 20% *fly ash* di laboratorium yang dilakukan adalah *specific gravity*, *atterberg limit*, dan *compaction test*. Pengujian tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai OMC tanah. Dari nilai OMC tersebut akan diperoleh kadar penambahan air optimum yang digunakan untuk pengujian CBR dan *swelling*. Pengujian dengan beberapa kadar *fly ash* ini dilakukan untuk memberikan data pendukung bahwa 15% *fly ash* merupakan kadar optimum.

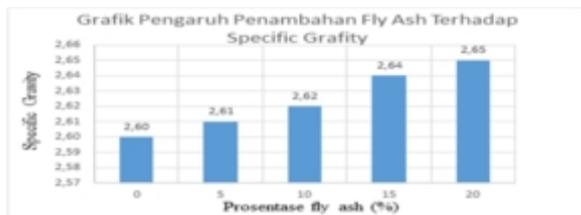
Perlakuan penelitian dengan campuran tanah asli dan 15% *fly ash* adalah dengan melakukan proses pemeraman (*curing*) terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian CBR dan *swelling*. Dalam penelitian ini dilakukan tiga kali perlakuan sebelum dilakukan uji CBR dan *swelling*. Perlakuan yang dilakukan pada tanah asli dalam keadaan terganggu (*disturbed*) dengan penambahan 15% *fly ash* adalah lama waktu pemeraman (*curing*) yaitu selama 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Metode pemeraman (*curing*) yang dilakukan adalah dengan meletakkan sampel tanah dengan cetakan di dalam kotak dan ditutup dengan karung goni basah pada bagian atas. Hal ini dilakukan untuk menjaga sampel agar tetap pada keadaan suhu kamar sehingga tidak terjadi kehilangan air.

Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Specific Gravity

Nilai specific gravity fly ash adalah 2,73. Penambahan fly ash dapat meningkatkan *specific gravity*. Hasil dari pemeriksaan *specific gravity* ditampilkan dalam gambar 4.



Gambar 4 Grafik Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap *Specific Gravity*

Klasifikasi Tanah

Analisis saringan dan hidrometer

Analisis saringan (*mechanical grain size*) untuk menentukan pembagian butiran kasar dan butiran halus yang tertahan pada saringan no. 200. Analisis hidrometer untuk mengetahui distribusi ukuran butiran untuk tanah yang berada di pan atau dengan kata lain lolos saringan no. 200. Hasil analisis saringan dan hidrometer dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Grafik Hasil Analisis Saringan dan Hidrometer

Dari hasil analisis, tanah dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ini memiliki persentase distribusi lolos

saringan no. 200 sebesar 95,30% dan menurut sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk jenis tanah berbutir halus.

Pemeriksaan Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Hasil dari pengujian batas-batas Atterberg ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Batas-batas Atterberg

KOMPOSISI TANAH	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah Asli	104	44,41	2,8	59,59
Tanah Asli + 5% Fly Ash	86,5	40,68	3,4	45,82
Tanah Asli + 10% Fly Ash	82	39,15	4,1	42,85
Tanah Asli + 15% Fly Ash	74,5	38,12	4,6	36,38
Tanah Asli + 20% Fly Ash	73	37,04	5,2	35,96

Dengan adanya penambahan stabilisasi berupa *fly ash* indeks plastisitas menurun seiring dengan penambahan kadar campuran bahan tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan reaksi pertukaran ion yang terjadi sehingga mengakibatkan perubahan ion Ca^{+} untuk mengurangi ekspansifitas pada tanah lempung tersebut.

Sistem Klasifikasi Tanah Sistem Unified

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem unified, melihat dari hasil analisis butiran dan dari batas-batas atterberg, maka tanah sampel tergolong sebagai tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi) atau OH (lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi).

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah AASHTO, melihat nilai *Liquid Limit* (LL) dan Indeks Plastisitas (PI), maka tanah sampel tergolong tanah kelompok A-7-5 yaitu $PI \leq LL - 30$.

Sifat Ekspansifitas

Berdasarkan rumus 1, maka nilai aktivitas tanah tanpa campuran adalah 0,63 dan telah diketahui dari hasil analisis saringan dan hidrometer bahwa persentase

tanah dengan ukuran 0,002 mm adalah 54,01%. Setelah itu nilai aktivitas dan persentase ukuran tanah tersebut diplotkan kedalam gambar 3 maka diketahui bahwa tanah tersebut termasuk klasifikasi tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi.

Melihat dari nilai batas-batas atterberg dari tanah asli maupun dari tanah yang telah distabilisasi dengan *fly ash*, dapat diklasifikasikan sifat ekspansifitasnya menurut tabel 1, tabel 2, dan tabel 3. Hasil dari pengklasifikasian disajikan pada tabel 6

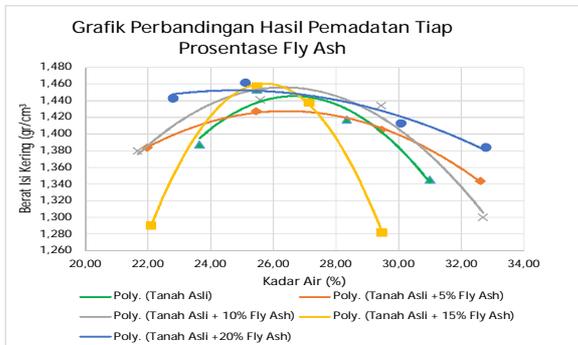
Tabel 6 Klasifikasi Tanah Lempung Ekspansif.

KOMPOSISI TANAH	DEGREE OF EXPANSION		
	(Chen)	(Raman)	(Altmeyer)
Tanah Asli	Very High	Very High	Critical
Tanah Asli + 5% <i>Fly Ash</i>	High	Very High	Critical
Tanah Asli + 10% <i>Fly Ash</i>	High	Very High	Critical
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	High	Very High	Critical
Tanah Asli + 20% <i>Fly Ash</i>	High	Very High	Critical

Secara keseluruhan penambahan *fly ash* tidak berpengaruh signifikan dalam klasifikasi ekspansifitas tanah lempung bila dilihat dari nilai batas-batas atterberg.

Pemeriksaan Pemadatan Standar

Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi berupa *fly ash* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Grafik Perbandingan Hasil Pemadatan Tiap Persentase *Fly Ash*

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standar

KOMPOSISI TANAH	KADAR AIR OPTIMUM	BERAT ISI KERING MAKSIMUM
	(%)	(gr/cm ³)
Tanah Asli	26,891	1,479
Tanah Asli + 5% <i>Fly Ash</i>	26,523	1,434
Tanah Asli + 10% <i>Fly Ash</i>	26,446	1,473
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	25,824	1,488
Tanah Asli + 20% <i>Fly Ash</i>	25,636	1,476

Bahan stabilisasi berupa *fly ash* memiliki sifat *pozzolanic* yaitu sifat yang dapat mengeras sendiri apabila dicampur dengan air dan juga *fly ash* memiliki kandungan CaO yang cukup besar sebagai salah satu ikatan kimia yang mendukung reaksi *pozzolanic*. Oleh karena itu, pada pengujian pemadatan standar, tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* akan menjadi keras dan kaku dikarenakan reaksi *pozzolanic*. Hal tersebut mengakibatkan kadar air optimum tanah menjadi turun, sedangkan berat isi kering maksimum tanah tersebut meningkat seiring penambahan kadar *fly ash* dalam tanah.



Gambar 7 Grafik Hubungan Penambahan *Fly Ash* terhadap Berat Isi Kering Maksimum dan Kadar Air Optimum (OMC)

Berat isi kering tanah tanpa campuran lebih besar dari pada tanah dengan campuran *fly ash*, hal ini dikarenakan perubahan gradasi tanah. Namun, perubahan nilai berat isi kering setelah penambahan *fly ash* tidak signifikan.

Pada campuran tanah dengan 20% *fly ash* nilai berat isi kering turun dari kadar campuran tanah asli dengan 15% *fly ash*, penurunan ini disebabkan penambahan *fly ash* yang berlebih merenggangkan kerapatan antar butiran tanah yang terisi oleh *fly ash* tersebut, sehingga menurunkan kepadatan tanah.

Pemeriksaan CBR Laboratorium

Pada penelitian ini pengujian CBR dibedakan menjadi dua yaitu CBR tak terendam (*unsoaked*) dan CBR terendam (*soaked*). Hasil dari pengujian CBR dapat dilihat pada tabel 8 dan tabel 9.

Tabel 8 Hasil Pengujian CBR tak terendam (*unsoaked*)

KOMPOSISI TANAH	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR UNSOAKED (%)
Tanah Asli	28,195	1,485	3,909
Tanah Asli + 5% <i>Fly Ash</i>	26,043	1,436	5,726
Tanah Asli + 10% <i>Fly Ash</i>	26,188	1,471	7,755
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	26,875	1,478	7,892
Tanah Asli + 20% <i>Fly Ash</i>	24,865	1,464	6,700

Tabel 9 Hasil Pengujian CBR Terendam (*Soaked*)

KOMPOSISI TANAH	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR SOAKED (%)
Tanah Asli	31,841	1,422	2,385
Tanah Asli + 5% <i>Fly Ash</i>	30,333	1,417	3,397
Tanah Asli + 10% <i>Fly Ash</i>	30,663	1,428	4,793
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	29,936	1,436	4,818
Tanah Asli + 20% <i>Fly Ash</i>	29,461	1,456	6,237

Pengaruh pencampuran *fly ash* terhadap nilai CBR dikarenakan reaksi *pozzolanic*, Reaksi ini mengakibatkan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah sehingga membentuk tanah yang lebih keras dan kaku, keadaan tanah yang seperti ini lah

yang menjadikan nilai CBR yang lebih besar dibandingkan tanah asli tanpa penambahan bahan stabilisasi (*fly ash*).

Pada campuran tanah asli dengan 20% *fly ash* nilai CBR lebih kecil daripada saat kadar *fly ash* 15%. Hal ini dikarenakan, terlalu banyak nya kadar *fly ash* sebagai bahan adiktif atau dengan kata lain, berlebihnya kandungan kalsium sebagai pengikat sedangkan kandungan alumina dan silikat menjadi lebih sedikit sehingga ikatan yang terbentuk antar butiran tanah dan butiran *fly ash* tidak kuat. Keadaan ini mengakibatkan daya dukung tanah menjadi lebih kecil.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

Nilai CBR tak terendam lebih besar daripada nilai CBR terendam. Hal ini merupakan akibat dari peningkatan kadar air pada sampel tanah saat terendam yang menyebabkan semakin lemahnya daya dukung tanah. Penurunan nilai CBR terendam dibandingkan dengan CBR tak terendam dikarenakan kadar air berlebih pada sampel sehingga saat pembebanan air tersebut keluar dan nilai CBR yang terjadi lebih rendah.

Nilai CBR terbesar adalah 7,892% yaitu pada saat kadar *fly ash* 15% dan dalam keadaan tak terendam. Sehingga kadar *fly ash* yang optimum untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif adalah 15%.

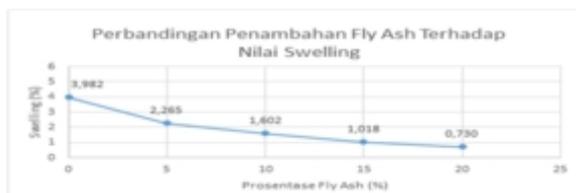
Pemeriksaan Pengembangan (*Swelling*)

Pengujian pengembangan (*swelling*) terhadap sampel tanah dimaksudkan untuk mengetahui persentase pengembangan sampel tanah saat terendam air selama 52 jam. Hasil pengujian pengembangan ini dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10 Hasil Pengujian *Swelling* (Pembembangan)

KOMPOSISI TANAH	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	SWELLING (%)
Tanah Asli	31,841	1,422	3,982
Tanah Asli + 5% Fly Ash	30,333	1,417	2,265
Tanah Asli + 10% Fly Ash	30,663	1,428	1,602
Tanah Asli + 15% Fly Ash	29,936	1,436	1,018
Tanah Asli + 20% Fly Ash	29,461	1,456	0,730

Nilai *swelling* berbanding lurus dengan kadar air yang diserap sampel tanah, semakin banyak kadar air yang diserap tanah maka nilai pengembangan menjadi semakin besar.



Gambar 9 Grafik Pengaruh Penambahan Kadar Fly Ash Terhadap Nilai Pengembangan (*Swelling*)

Stabilisasi tanah dengan menggunakan *fly ash* dapat menurunkan nilai *swelling* dikarenakan reaksi *pozzolanic* yang ditimbulkan oleh *fly ash* yang semakin memperkuat ikatan antar butiran tanah sehingga penyerapan air yang terjadi menjadi lebih sedikit, oleh karena itu nilai persentase pengembangan sampel tanah menjadi semakin kecil seiring penambahan kadar *fly ash*.

Pengaruh Curing Terhadap Nilai CBR Laboratorium

Pada penelitian ini, sampel tanah yang digunakan untuk pengujian dengan menggunakan perawatan (*curing*) terlebih dahulu sebelum pengujian CBR adalah stabilisasi dengan campuran optimum yaitu tanah asli dengan campuran 15% *fly ash*. Hasil dari pengujian CBR dengan *curing* dapat dilihat pada tabel 11 dan tabel 12.

Tabel 11 Hasil Pengujian CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) Dengan *Curing*

KOMPOSISI TANAH	CURING (Hari)	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR UNSOAKED (%)
Tanah Asli + 15% Fly Ash	0	26,875	1,478	7,892
Tanah Asli + 15% Fly Ash	7	24,865	1,479	9,230
Tanah Asli + 15% Fly Ash	14	23,785	1,485	15,102
Tanah Asli + 15% Fly Ash	28	22,360	1,487	16,948

Tabel 12 Hasil Pengujian CBR Terendam (*Soaked*) Dengan *Curing*

KOMPOSISI TANAH	CURING (Hari)	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR SOAKED (%)
Tanah Asli + 15% Fly Ash	0	29,936	1,436	4,818
Tanah Asli + 15% Fly Ash	7	31,799	1,451	6,145
Tanah Asli + 15% Fly Ash	14	28,670	1,479	8,089
Tanah Asli + 15% Fly Ash	28	27,470	1,483	8,190

Lama waktu *curing* berpengaruh untuk meningkatkan CBR baik tak terendam maupun terendam. Selama waktu *curing* (pemeraman), proses *pozzolanic* yang terjadi pada tanah akibat pencampuran dengan *fly ash* semakin sempurna sehingga semakin lama waktu pemeraman maka tanah akan semakin keras dan kaku. Keadaan tanah seperti ini mampu meningkatkan nilai CBR.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Lama Waktu *Curing* Terhadap Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

Nilai CBR maksimum adalah pada saat sampel tanah telah melalui proses *curing* selama 28 hari yaitu 16,948% untuk CBR tak terendam dan 8,190% untuk CBR terendam.

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa waktu yang dinyatakan cukup untuk *curing* adalah 14 hari yaitu 15,102% untuk CBR tak terendam dan 8,089% untuk CBR terendam. Hal ini menimbang bahwa nilai CBR yang meningkat secara signifikan dibandingkan nilai CBR setelah *curing* 7 hari dan peningkatan nilai CBR setelah *curing* 28 hari tidak signifikan pada saat *curing* 14 hari.

Pengaruh Curing terhadap Nilai Pengembangan (Swelling)

Hasil dari pengujian pengaruh *curing* terhadap nilai pengembangan dapat dilihat pada tabel 13.

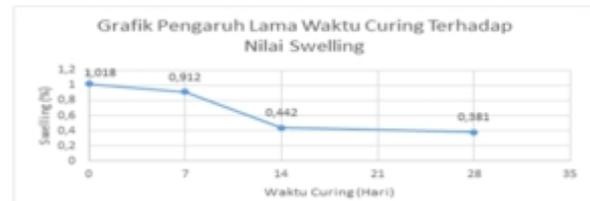
Tabel 13 Hasil Pengujian Pengembangan (*Swelling*) Dengan *Curing*

KOMPOSISI TANAH	CURING (Hari)	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	SWELLING (%)
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	0	29,936	1,436	1,018
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	7	31,799	1,451	0,912
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	14	28,670	1,479	0,442
Tanah Asli + 15% <i>Fly Ash</i>	28	27,470	1,483	0,381

Nilai pengembangan tanah menjadi lebih kecil setelah di *curing*, dan nilai pengembangan semakin kecil seiring lamanya waktu *curing*. Nilai pengembangan yang terkecil adalah 0,381% yaitu setelah melalui proses *curing* selama 28 hari.

Perawatan (*curing*) berpengaruh dalam memperkecil nilai pengembangan dikarenakan selama proses *curing*, reaksi *pozzolanic* menjadi lebih sempurna sehingga membentuk ikatan antar butiran tanah yang semakin kuat. Dalam keadaan tersebut, persentasi air yang dapat masuk ke rongga pori tanah semakin kecil sehingga

pengembangan yang terjadi semakin kecil pula.



Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Lama Waktu *Curing* Terhadap Nilai Pengembangan (*Swelling*)

Nilai curing berkurang signifikan setelah *curing* 14 hari yaitu menjadi 0,442, sehingga waktu yang dinyatakan cukup untuk mendapatkan nilai pengembangan yang baik adalah waktu *curing* 14 hari. Hal ini melihat hasil pengembangan setelah *curing* selama 28 hari tidak jauh berbeda dengan hasil *curing* selama 14 hari.

Kesimpulan dan Saran

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

1. *Fly ash* dapat meningkatkan nilai CBR *unsoaked* maupun CBR *soaked* dan dapat menurunkan nilai *swelling* apabila digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif. Kadar optimum *fly ash* saat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif adalah 15%.
2. Waktu *curing* berpengaruh dalam meningkatkan nilai CBR *unsoaked* maupun CBR *soaked*. Pengaruh waktu *curing* berbanding lurus dengan peningkatan nilai CBR yaitu semakin lama waktu *curing* maka nilai CBR akan semakin besar. Waktu *curing* juga berpengaruh dalam menurunkan nilai *swelling*. Pengaruh waktu *curing* berbanding lurus dengan penurunan nilai *swelling* yaitu semakin lama waktu *curing* maka nilai *swelling* akan semakin kecil.
3. Pencampuran tanah lempung ekspansif dengan 15% *fly ash* dengan waktu *curing* selama 28 hari

menghasilkan nilai CBR terbesar yaitu 16,948% dan menghasilkan nilai *swelling* terkecil yaitu 0,381%. Dengan kata lain, pencampuran tanah lempung ekspansif dengan 15% *fly ash* dengan waktu *curing* selama 28 hari dapat meningkatkan nilai CBR tanah lempung ekspansif sebesar 433,6%, sedangkan untuk nilai *swelling* tanah lempung ekspansif turun hingga 1045,1%.

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. Perlu dilakukan variasi waktu dalam pengujian *swelling* untuk mendapatkan waktu yang diperlukan untuk tanah benar-benar dalam keadaan jenuh air setelah di stabilisasi dengan *fly ash*.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan bahan limbah yang lebih bervariasi untuk mengurangi masalah lingkungan.
3. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.

Daftar Pustaka

- Anggoro, Rio. 2013. Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro Terhadap Nilai CBR dan Swelling. *Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*. Malang.
- Bowles. 1986. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Diterjemahkan oleh Johan K. Hainin. Jakarta: Erlangga.
- Budi, et al. 2003. Pengaruh Fly Ash Terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Journal of Civil Engineering Dimension*. Volume 5, No. 1, 20-24, ISSN 1410-9530, March 2003.
- Craig, R.F. 1989. *Mekanika Tanah. Edisi ke empat*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah I (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Diterjemahkan oleh Noor Endah, dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. *Mekanika tanah I*. Malang: Bargie Media.
- Prasetyo, Rendra. 2013. Pengaruh Penambahan Campuran Slag Baja dan Fly Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro Terhadap Nilai CBR dan Swelling. *Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*. Malang.
- Santoso, Budi dkk. 1998. *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma.
- Santoso, Budi dkk. 1998. *Mekanika Tanah Lanjutan*. Jakarta: Gunadarma.
- Sulistiyowati, Tri. 2006. Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Fly Ash Terhadap Nilai Daya Dukung CBR. *Jurnal Spektrum Sipil*. Volume 2, No. 1, April 2006.
- Wesley. 1997. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Pekerjaan Umum.
- Yuliet, Rina dkk. 2011. Uji Potensi Mengembang Pada Tanah Lempung Dengan Metoda Free Swell Test. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Volume 7, No. 1, ISSN 1858-2133, Februari 2011.