

**PENGARUH PERBAIKAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
DENGAN METODE DEEP SOIL MIXING PADA BERBAGAI
KADAR AIR LAPANGAN TANAH ASLI TERHADAP NILAI CBR
DAN PENGEMBANGAN**

**NASKAH TERPUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MADE DWIKA HUTAMA PUTRA
NIM. 125060107111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

PENGARUH PERBAIKAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN METODE DEEP SOIL MIXING PADA BERBAGAI KADAR AIR LAPANGAN TANAH ASLI TERHADAP NILAI CBR DAN PENGEMBANGAN

Made Dwika Hutama Putra, Yulvi Zaika, Arief Rachamansyah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia

Email: dwika_hutama@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tanah merupakan bagian terpenting pada pekerjaan konstruksi. Kondisi tanah sangat berpengaruh terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Oleh karena itu kondisi tanah dan sifat fisiknya harus diketahui terlebih dahulu sebelum melakukan pembangunan konstruksi di atasnya. Untuk dapat memperbaiki tanah hal yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan zat aditif. zat aditif yang digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif dapat berupa limbah suatu proses produksi seperti *coal flyash*, *coal bottom ash*, *steel fly ash*, *rice husk ash* (abu sekam padi). Pada penelitian ini zat aditif yang digunakan adalah *fly ash*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kadar air lapangan terhadap nilai CBR dan nilai pengembangan. Pada penelitian ini objek yang digunakan adalah tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro. Campuran zat aditif yang ditambahkan adalah *fly ash* dengan kadar 10%, 15%, dan 20%. Kadar air yang digunakan adalah 14%, 21%, dan 28%. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah uji kekuatan CBR dan uji swelling. Percobaan CBR ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu percobaan CBR terendam (soaked) dan percobaan CBR tak terendam (unsoaked). Hasil dari penelitian ini adalah Kadar air lapangan pada kondisi lebih kering dan lebih basah mempengaruhi nilai CBR. Nilai CBR mengalami penurunan pada kondisi tersebut, namun penurunan nilai CBR lebih besar pada kondisi kadar air lebih kering karena pada kondisi ini tanah tidak dapat bereaksi secara optimum dengan *fly ash*. Nilai pengembangan (*swelling*) mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar *fly ash* dan kadar air lapangan. Ini dikarenakan tanah telah mengalami pengembangan pada proses curing dan mengalami reaksi sementasi antara *fly ash* dengan tanah, sehingga bertambahnya kadar *fly ash* mengurangi potensi pengembangan tanah.

Kata kunci: tanah lempung, *fly ash*, kadar air, swelling, CBR

ABSTRACT

Soil is the most important part of the construction work. Soil conditions are very influential on the construction to be built on it. Therefore, the soil conditions and the physical properties should be known in advance before doing construction on it. In order to improve the land for things to do is to add additives. additives used for stabilization of expansive soil can be a waste of a production process such as coal flyash, coal bottom ash, steel fly ash, rice husk ash (rice husk ash). In this study, the additives used are fly ash. The purpose of this study was to determine the effect of water content terhadap field CBR value and development value. In this study, the object used is expansive clay in daerah Ngasem, Bojonegoro. The mixture of additives added is fly ash with levels of 10%, 15% and 20%. Yan water content is 14%, 21% and 28%. Laboratory testing conducted is a test of strength CBR and swelling test. CBR experiments can be done in two ways, namely trial CBR submerged (soaked) and the experiment was submerged CBR (unsoaked). The results of this research field is the water content in the drier conditions and more wet affect the value of CBR. CBR value decreased in these conditions, but the CBR greater impairment on the condition of the water content of the drier because this time the soil is not able to react optimally with fly ash. Value development (swelling) decreased with the addition of fly ash content and moisture content field. This is because the land has undergone development in the curing process and experiencing the cementation reaction between fly ash with soil, so that the increased levels of fly ash reduces the potential for land development.

Keywords: clay, fly ash, water content, swelling, CBR

PENDAHULUAN

Tanah merupakan bagian terpenting pada pekerjaan konstruksi. Kondisi tanah sangat berpengaruh terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya, baik konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan raya karena jika terjadi kerusakan pada tanah akan sangat fatal akibatnya terhadap konstruksi yang berada di atasnya. Oleh karena itu kondisi tanah dan sifat fisiknya harus diketahui terlebih dahulu sebelum melakukan pembangunan konstruksi di atasnya.

Di Indonesia sendiri banyak daerah yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif, hampir 20% tanah di Jawa dan kurang lebih 25% tanah di Indonesia merupakan jenis tanah ekspansif. Hal ini menghadapkan kita pada suatu pilihan untuk mendirikan bangunan pada kondisi tanah yang kurang menguntungkan jika ditinjau dari segi geotekniknya, seperti pada tanah lempung ekspansif. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan sifat tanah yang lebih stabil pada tanah ekspansif dengan cara mencampurkan zat adiktif. Zat adiktif yang digunakan dapat berupa bahan industrial seperti kapur, semen, dan gypsum. Selain itu zat aditif yang digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif dapat berupa limbah suatu proses produksi seperti *coal fly ash*, *coal bottom ash*, *steel fly ash*, *rice husk ash* (abu sekam padi).

Maka untuk penelitian uji kadar air lapangan untuk mengetahui kekuatan digunakan campuran tanah asli sebesar 10%, 15%, 20% kemudian tanah yang telah dicampur dengan fly ash tersebut dilakukan uji kadar air lapangan menggunakan kadar air 14%, 21%, dan 28% yang akan dicari pada penelitian ini. Pengujian yang dilakukan adalah uji swelling, dan CBR untuk mengetahui kadar air lapangan serta kekuatan tanah dilapangan pada kadar air yang konsisten.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kadar air lapangan terhadap nilai CBR dan pengembangan pada tanah lempung di kecamatan ngasem Kabupaten Bojonegoro

Tanah

Definisi tanah sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi atau terikat secara kimia dengan satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat

cair dan gas yang mengisi ruang kosong antara partikel pada tersebut. Tanah merupakan bagian sangat penting sebagai bahan dalam pekerjaan pembangunan yang dibutuhkan dalam bidang keteknika sipil. Tanah terdiri dari berbagai macam partikel diantaranya batuan ukuran besar (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (*colloids*).

Lempung atau *clay* terdiri dari partikel yang berbentuk lempeng pipih merupakan mineral lempung dan partikel-partikel mika serta mineral lainnya. Tiga jenis mineral lempung yang sudah dikenal yaitu:

- Kaolinit (*Koolinite*) merupakan jenis mineral lempung yang tidak aktif. Dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif dan bisa juga terbentuk karena pelapukan batuan
- Illit (*Illite*) mineral ini mempunyai bentuk susunan dasar hampir sama dengan montmorillonite terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedral yang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedral, pembedanya pada ikatan dalam lembaran oktahedral yang terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedral terdapat pada substitusi silikon oleh aluminium.
- Montmorilonit (*Montmorillonite*) bisa disebut juga sebagai smectite dalam satu lapis, tersusun dari dua lembar silika mengapit satu lembar alumina (*gibbsite*). Ujung tetrahedral tercampur dengan hidroksil dari ujung oktahedral sehingga ikatan menjadi menyatu.

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.

Sifat-sifat tanah lempung pada umumnya terdiri dari (Hardiyatmo, 1999):

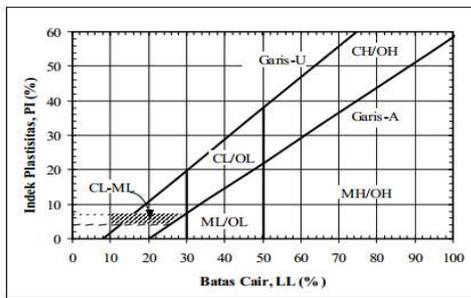
1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi

4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)

Dalam USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse – grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).



Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria klasifikasi
Kerikil, pasir kasar, lebih dari 50% dari keseluruhan	GW	Kerikil gradasi baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlemas, campuran pasir-kerikil-lemas (berada di bawah garis-A)	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$
	GC	Kerikil berlemas, campuran pasir-kerikil-lemas (berada di atas garis-A)	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 4\%$
Pasir, lebih dari 50% dari keseluruhan	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	SP	Pasir gradasi buruk, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	SM	Pasir berlemas, campuran pasir-lemas (berada di bawah garis-A)	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$
	SC	Pasir berlemas, campuran pasir-lemas (berada di atas garis-A)	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 4\%$

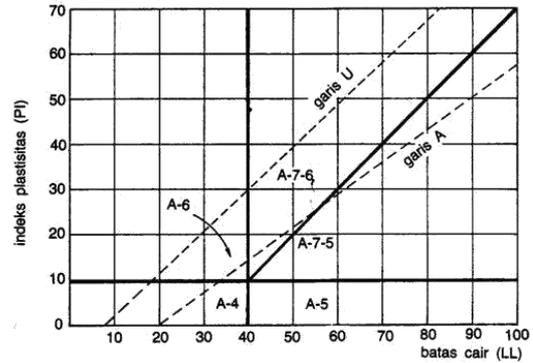
*1) Tanah berbutir kasar bila 50% atau lebih lolos saringan pada saringan No.200 (F_{200})

Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

1. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
2. Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok tertentu, misal tanah A-6(3) lebih buruk dari tanah A-6(1).

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Klasifikasi kelompok				
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200				
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Min 36 Maks 10	Min 36 Maks 10	Min 36 Maks 40 Min 11	Min 36 Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			



Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut Chen (1975), cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Identifikasi Mineralogi.
- Cara tidak langsung (*single index method*).
- Cara pengukuran langsung

Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogy sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*).
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorption*).
- Penurunan Panas (*Differential Thermal Analysis*).
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*).
- *Electron Microscope Resolution*.

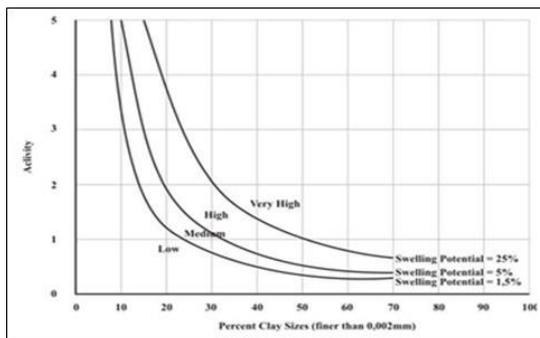
Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas Atterberg, linear shrinkage test (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid. Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana yang dikutip Chen (1975), secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji

Atterberg. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal bahwa swelling pada tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASTHO, setelah contoh direndam dengan 1 psi. Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

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

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



Cara Pengukuran Langsung

Cara pengukuran langsung yaitu suatu metode untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan Oedometer Terzaghi. Contoh tanah berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan beban

yang diijinkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah contoh tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah tinggi pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

Stabilisasi Tanah Lempung

Sifat kembang susut tanah lempung yang tinggi menimbulkan permasalahan pada bidang konstruksi seperti terjadinya gelombang-gelombang pada permukaan jalan, terjadinya retak-retak (*cracking*) pada bangunan dan lain sebagainya, maka dari itu perlu dilakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat berupa peningkatan kerapatan tanah, penambahan material yang tidak adiktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul, penambahan bahan untuk menyebabkan perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah, dan mengganti tanah yang buruk (Bowles, 1993, Viktor 2010).

Menurut Bowles, J.E (1986) stabilisasi di lapangan dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan:

1. Secara mekanis

Stabilisasi tanah secara mekanis dapat dilakukan dengan proses pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.

2. Secara Kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi dapat dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan pencampur (*additives*) tergantung dari jenis tanah tersebut. Bahan pencampur kimiawi yang sering digunakan adalah semen portland, kapur, abu batu bara, semen aspal dan lain sebagainya. Stabilisasi jenis ini dapat mengurangi sifat plastis tanah

Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Fly Ash

Fly Ash adalah partikel halus pembakaran batubara yang dikumpulkan dengan alat elektro presipirator. *Fly ash* merupakan limbah yang

mempunyai potensi tinggi digunakan dalam konstruksi. *Fly ash* memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga abu batubara (*fly ash*) memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan. Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzonic* yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah sehingga menghasilkan massa yang keras dan kaku (Budi,2003).

Menurut ASTM C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas C dan Kelas F. Perbedaan utama dari kedua *ash* tersebut adalah banyaknya calcium, silika, alumunium dan kadar besi di *ash* tersebut.

1. *Fly Ash* kelas C : mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat *self-cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur (CaO) > 20%.
2. *Fly Ash* kelas F : mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime, hydrated lime, atau semen. *Fly ash* tipe ini kadar kapur nya (CaO) < 10% Untuk kandungan *fly ash* sendiri yang di ambil dari beberapa sumber adalah sebagai berikut:

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_2O_3	% Berat	6.39
6	Fe_2O_3	% Berat	16.71
7	CaO	% Berat	5.09
8	MgO	% Berat	0.79
9	S(SO ₄)	% Berat	7.93

Analisis Saringan dan Hidrometer

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah.

Analisa ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada suatu saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. (Hardiyatmo, 2010).

Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

- a. Analisis ayakan, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,0075 mm.
- b. Analisis hidrometer, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,0075 mm.

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui suatu set ayakan dimana lubang-lubang tersebut makin kecil secara berurutan. (Braja M. Das, 1985). Standart di Amerika Serikat nomor ayakan : 4, 20, 40, 50, 60, 80, 100,200, dan pan.

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran-butiran tanah dalam air. Di laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (=457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml.

Kadar Air Tanah (*Water Content*)

Pemeriksaan kadar air tanah (*water content*) dilakukan untuk menentukan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah dinyatakan dalam persen.

Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah (*Specific Gravity*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperatur 4°C. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan pada tabel 2.9 berikut ini :

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Batas-batas Atterberg (*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.

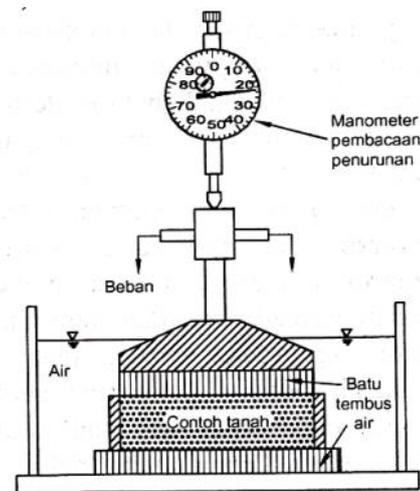
Pengembangan (*Swelling*)

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

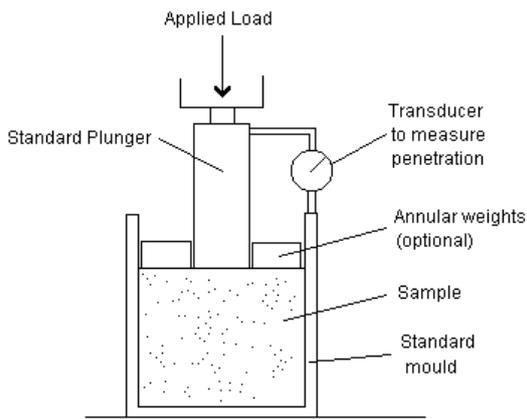
4. Konsentrasi garam dalam air pori
5. Sementasi
6. Kandungan bahan organik, dll.

Uji *swelling* dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang di butuhkan untuk pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam 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.



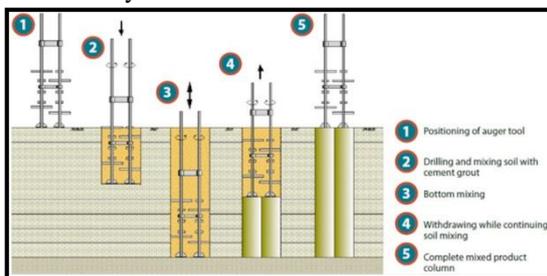
CBR (*California Bearing Ratio*)

California Bearing Ratio (CBR) adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada sampel tanah standar berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 inchi) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah. Alat serta cara melakukan percobaan CBR dapat dilihat pada Gambar dengan mempergunakan dongkrak mekanis sebuah piston penetrasi ditekan supaya masuk tanah dengan kecepatan 0,05 inci per menit.



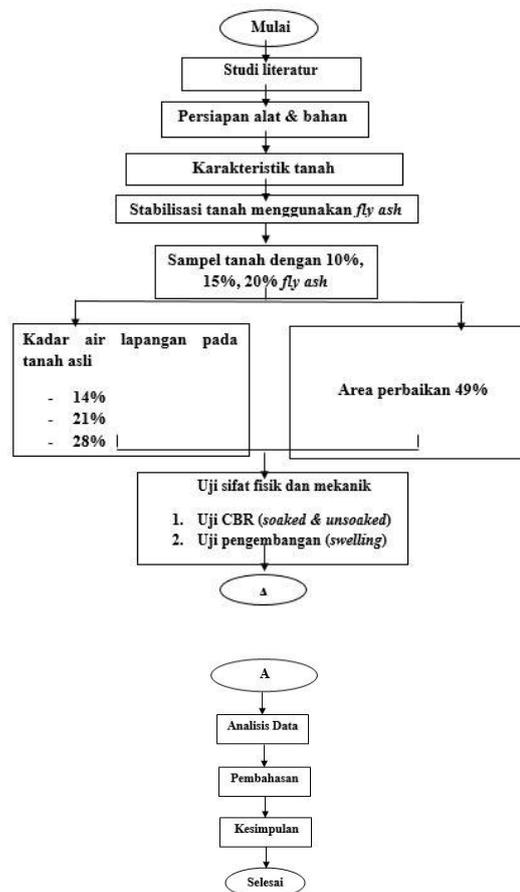
Deep Soil Mixing

Deep Soil Mixing (DSM) adalah sebuah teknologi perbaikan tanah di lapangan langsung (*in situ soil treatment technology*) dimana tanah dicampur dengan bahan reagen semen dan/atau bahan lainnya. Proses stabilisasi menggunakan campuran material tersebut dapat dilakukan dalam bentuk kering (*dry method*) atau bentuk cair (*slurry*). *Deep soil mixing "dry method"* yang mana pencampurannya menggunakan serbuk kering dari bahan semen, kapur (*quick lime*), *fly ash*, *gypsum*, *bentonite*, dan lain-lain atau bisa dikombinasikan. Untuk memulai proses reaksi perlu ditambahkan air. Tanah perlu kadar air lebih besar dari 20% untuk dapat bereaksi dengan bahan campuran. Kandungan kadar air tanah yang kurang dari 20% perlu penambahan air untuk membantu proses instalasi. *Deep soil mixing "dry method"* terbagi dalam dua kelompok yaitu *column installation* dan *mass stabilization*. Pemasangan kolom (*column installation*) dapat menggunakan seperti *single columns* atau *interlocking columns*. Sedangkan *mass stabilization* adalah stabilisasi secara menyeluruh.



METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Metode Pengujian

Ada dua pengujian yang akan dilakukan yaitu:

1. Uji CBR (*soaked & unsoaked*) : ASTM D- 1883-73
2. Uji Swelling: ASTM D 4546-86

Masing-masing benda uji langsung diuji sesuai dengan pembagian yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya. Saat pelaksanaan pengujian juga dilakukan pengambilan data

untuk selanjutnya dilakukan proses pengolahan data.

Tabel 3.2 Hasil Penelitian CBR

tanah + fly ash 10%		
kadar air	unsoaked	soaked
14%		
21%		
28%		

tanah + fly ash 15%		
kadar air	unsoaked	soaked
14%		
21%		
28%		

tanah + fly ash 20%		
kadar air	unsoaked	soaked
14%		
21%		
28%		

Tabel 3.3 Hasil Penelitian *swelling*

Sampel		Volume sampel	pengembangan (%)
Tanah asli	0%		
Fly Ash 10%	14%		
	21%		
	28%		
Fly Ash 15%	14%		
	21%		
	28%		
Fly Ash 20%	14%		
	21%		
	28%		

HASIL DAN PEMBAHASAN

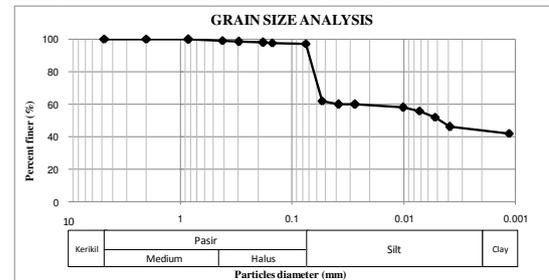
Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk menentukan sifat dan jenis tanah yang akan digunakan sebagai benda uji. Pengujian pendahuluan terdiri dari uji klasifikasi tanah, *specific gravity*, uji Indeks plastisitas, uji batas susut dan uji proktor standar.

Karakteristik Tanah

Untuk mengetahui klasifikasi tanah pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer. Analisis

saringan (mechanical grain size) bertujuan untuk menentukan butiran kasar dan halus yang tertahan pada saringan no. 200 sedangkan analisis hidrometer digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang lolos saringan no. 200 atau berada di pan. Hasil analisis yang dilakukan dapat dilihat pada gambar



Pemeriksaan *Specific gravity*

Specific gravity (Gs) atau berat spesifik adalah perbandingan kerapatan suatu benda yang dibandingkan dengan kerapatan benda yang digunakan sebagai acuan. Dari hasil pemeriksaan ini didapatkan nilai *specific gravity* rata-rata tanah yang digunakan adalah 2,685 (Abeng,2016).

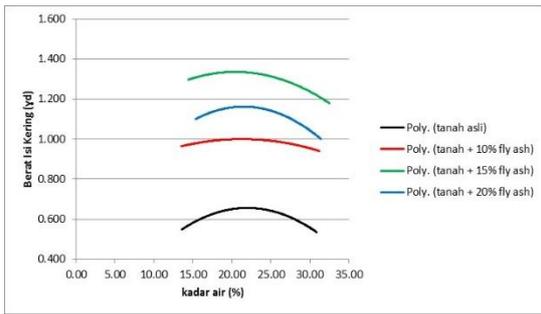
BAHAN	SPECIFIC GRAVITY
Tanah Asli	2,68
Tanah Asli + 10% Fly Ash	2,70
Tanah Asli + 15% Fly Ash	2,72
Tanah Asli + 20% Fly Ash	2,73

Atterberg Limit

Pengujian batas-batas atterberg merupakan suatu metode untuk mengetahui keadaan konsistensi dari tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jenis tanah yang digunakan sebagai benda uji. Pengujian batas-batas atterberg terdiri dari pengujian batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Bahan uji yang digunakan adalah tanah asli tanpa dicampur dengan bahan stabilisasi berupa *fly ash* dan tanah asli yang telah distabilisasi dengan *fly ash*. Hasil dari pengujian ditampilkan pada table

KOMPOSISI TANAH	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah Asli	104	44,41	2,8	59,59
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

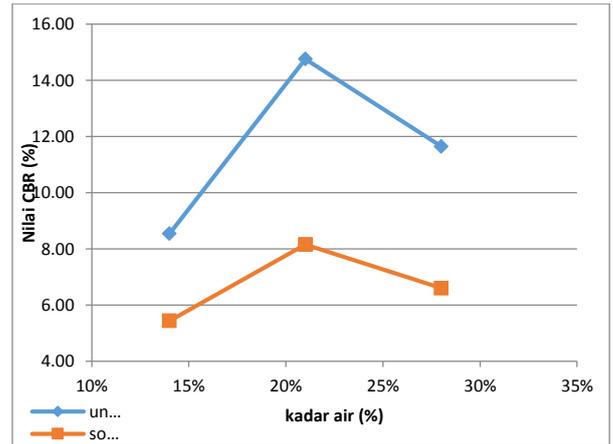
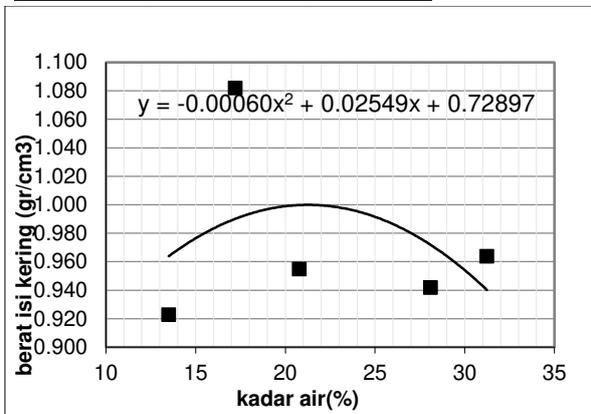
Pemeriksaan Pematatan Standar



Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai kadar air optimum tanah asli adalah sebesar 21,944% dengan berat isi kering maksimum 0,819 gr/cm³. Dari gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa tanah yang dicampur dengan 15% fly ash memiliki berat isi kering maksimum yang paling besar yaitu 1,337 gr/cm³. 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 pematatan 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.

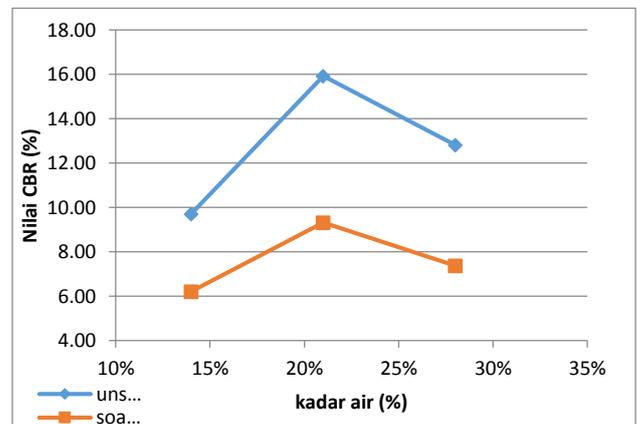
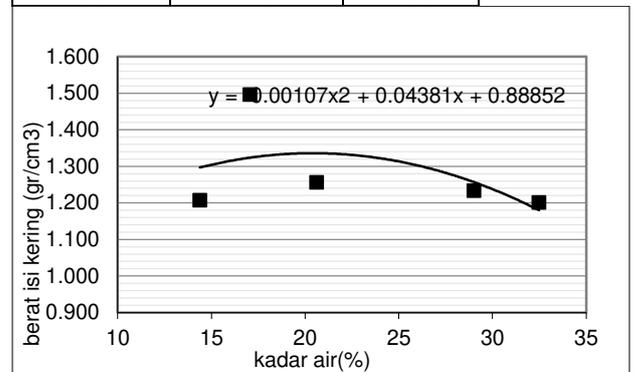
Pengujian CBR (California Bearing Ratio)

Tanah + fly ash 10%		
kadar air	unsoaked	soaked
14%	8.54	5.44
21%	14.76	8.16
28%	11.65	6.60



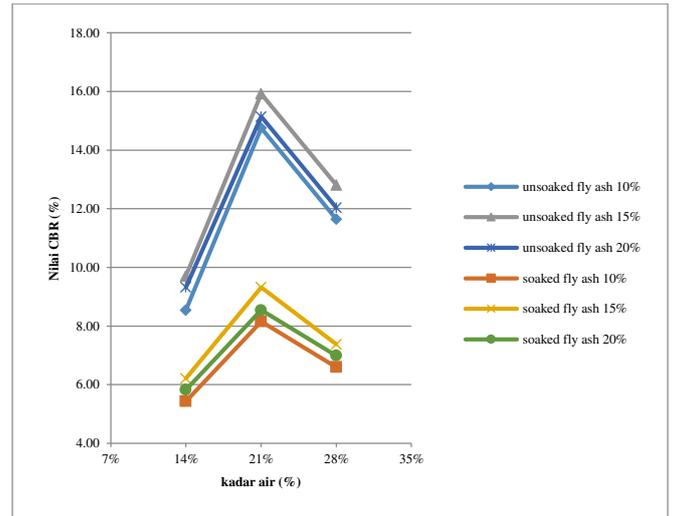
Penambahan fly ash sebesar 10% pada kadar air 21% memberikan harga CBR tertinggi. Pada saat kadar air dikurangi dan juga ditambahkan sebesar 7% dari kadar air optimum harga CBR mengalami penurunan. Penurunan harga CBR ini disebabkan karena pada kondisi tanah lebih kering dan lebih basah tanah tidak dapat bereaksi secara optimum dengan fly ash.

Tanah + fly ash 15%		
kadar air	unsoaked	soaked
14%	9.71	6.21
21%	15.92	9.32
28%	12.82	7.38



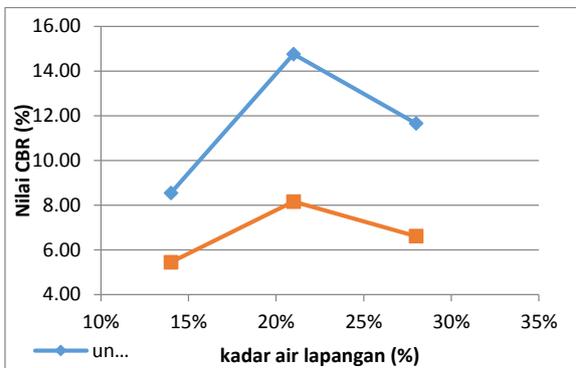
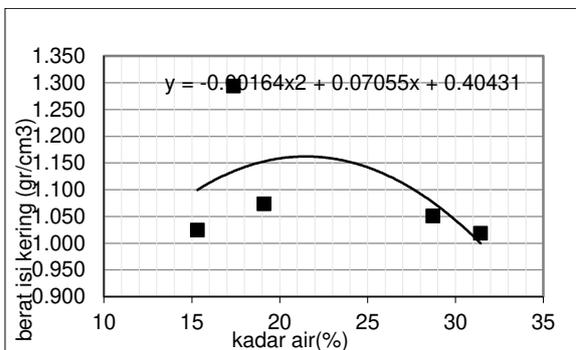
Penambahan *fly ash* sebesar 15% pada kadar air 21% memberikan harga CBR tertinggi. Pada saat kadar air dikurangi dan juga ditambahkan sebesar 7% dari kadar air optimum harga CBR mengalami penurunan. Penurunan harga CBR ini disebabkan karena pada kondisi tanah lebih kering dan lebih basah tanah tidak dapat bereaksi secara optimum dengan *fly ash*.

tanah + fly ash 20%		
kadar air	unsoaked	soaked
14%	9.32	5.83
21%	15.15	8.54
28%	12.04	6.99



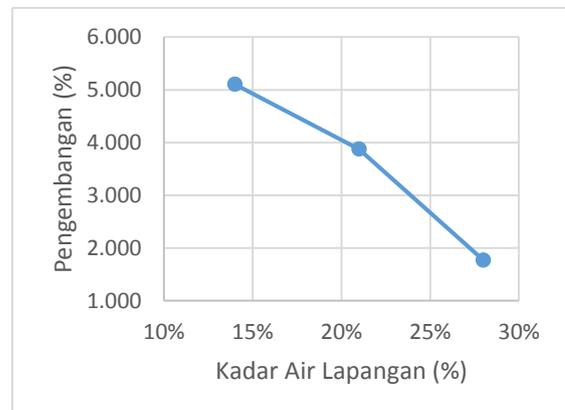
Dapat dilihat pada kondisi tidak terendam nilai CBR lebih tinggi dari pada kondisi terendam. Ini dikarenakan pada kondisi kering, tanah mampu menahan beban penetrasi secara lebih baik dari pada kondisi basah.

Pengujian Tingkat Pengembangan Tanah (Swelling)



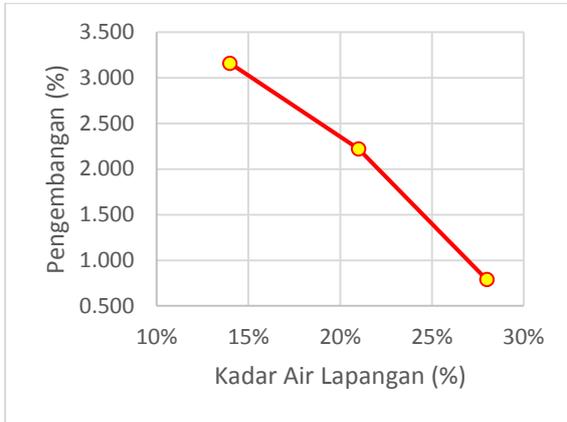
Sampel		Volume sampel	pengembangan (%)
Tanah asli	0%	2131.137625	5.509
Fly Ash 10%	14%		5.106
	21%		3.876
	28%		1.770
Fly Ash 15%	14%		3.159
	21%		2.221
	28%		0.788
Fly Ash 20%	14%		2.381
	21%		1.549
	28%	0.398	

Penambahan *fly ash* sebesar 20% pada kadar air 21% memberikan harga CBR tertinggi. Pada saat kadar air dikurangi dan juga ditambahkan sebesar 7% dari kadar air optimum harga CBR mengalami penurunan. Penurunan harga CBR ini disebabkan karena pada kondisi tanah lebih kering dan lebih basah tanah tidak dapat bereaksi secara optimum dengan *fly ash*.

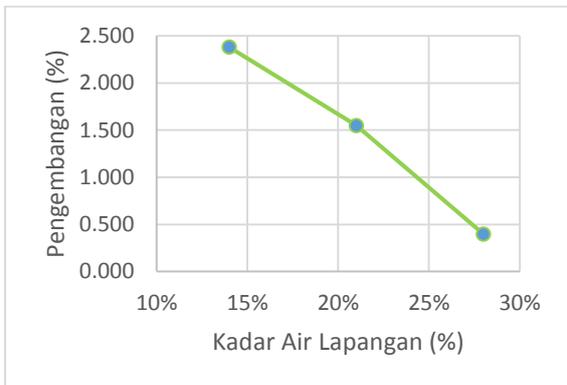


Penambahan *fly ash* sebesar 10% pada kadar air 28% memberikan nilai pengembangan (swelling)

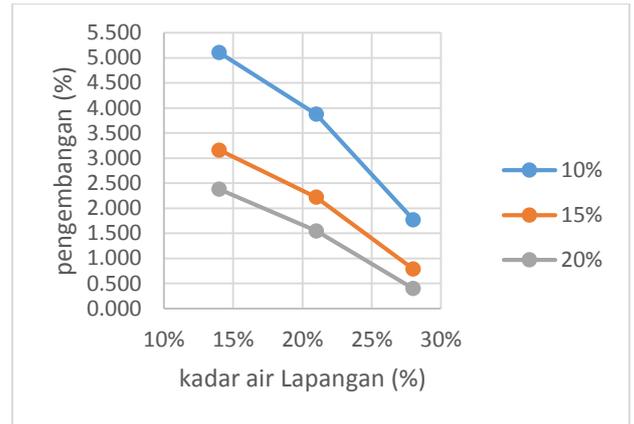
terendah. Semakin tinggi kadar air, semakin kecil nilai pengembangannya. Ini dikarenakan tanah telah mengalami pengembangan ketika proses curing, sehingga ketika dilakukan pengujian pada kadar air tertinggi akan didapatkan nilai pengembangan yang paling kecil nilainya.



Penambahan *fly ash* sebesar 15% pada kadar air 28% memberikan nilai pengembangan (*swelling*) terendah. Semakin tinggi kadar air, semakin kecil nilai pengembangannya. Ini dikarenakan tanah telah mengalami pengembangan ketika proses curing, sehingga ketika dilakukan pengujian pada kadar air tertinggi akan didapatkan nilai pengembangan yang paling kecil nilainya.



Penambahan *fly ash* sebesar 20% pada kadar air 28% memberikan nilai pengembangan (*swelling*) terendah. Semakin tinggi kadar air, semakin kecil nilai pengembangannya. Ini dikarenakan tanah telah mengalami pengembangan ketika proses curing, sehingga ketika dilakukan pengujian pada kadar air tertinggi akan didapatkan nilai pengembangan yang paling kecil nilainya.



dapat dilihat bahwa penambahan kadar *fly ash* mempengaruhi nilai pengembangan. Hal ini dikarenakan reaksi sementasi yang terjadi antara *fly ash* dengan tanah. Dengan bertambahnya kadar *fly ash* potensi mengembang semakin kecil

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan berdasarkan sifat fisik dan mekanis tanah dengan lama pemeraman 4 hari, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kadar air pemadatan di lapangan mempengaruhi nilai CBR. Penurunan Nilai CBR lebih besar pada pemadatan kurang dari OMC karena pada kondisi ini tanah tidak dapat bereaksi secara optimum dengan *fly ash*.
2. Nilai pengembangan (*swelling*) mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar *fly ash* dan kadar air lapangan. Hal ini dikarenakan tanah telah mengalami pengembangan pada proses curing/perawatan, sehingga bertambahnya kadar *fly ash* mengurangi potensi pengembangan tanah.
3. Perbaikan tanah lebih baik dilakukan pada kondisi kadar air optimum dan pada kondisi lebih basah. Ini dikarenakan nilai CBR dan *swelling* pada kondisi ini lebih basah dari pada kondisi kadar air lapangan lebih kering.

Saran

Setelahe 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 kapur.
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.

Wesley. 1997. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoroi, 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.
- Bowlese. 1986. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Diterjemahkan oleh Johan K. Hainin. Jakarta: Erlangga.
- Budi, 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 1 (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 1*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. *Mekanika tanah 1*. Malang: Bargie Media.
- Santoso, Budi, 1998. *Mekanika Tanah Lanjutan*. Jakarta: Gunadarma.

