

PENGARUH KADAR AIR DILAPANGAN DAN RATIO AIR – FLY ASH TERHADAP KEKUATAN DAN PENGEMBANGAN TANAH EKSPANSIF UNTUK METODE DSM (DEEP SOIL MIXING)

M. Akbar Al Imam, Yulvi Zaika, Suroso

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, JawaTimur, Indonesia

Email: akbaralimam@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung tanah yang rendah pada kondisi muka air yang tinggi, sifat kembang susut (*swelling*) yang besar dan plastisitas yang tinggi. Selain itu, karena sifat kembang susut yang cukup besar pada tanah lempung ekspansif mengakibatkan terjadinya penurunan (*deformasi*) yang sering kali tidak dapat dipikul oleh kekokohan struktur di atasnya. Salah satu metode stabilisasi tanah yang digunakan dalam upaya untuk memperbaiki mutu tanah yang kurang baik antara lain yaitu stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara menambahkan *stabilizing agents* pada tanah dasar yang akan ditingkatkan mutunya. *Stabilizing agents* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash*. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu, untuk mengetahui nilai kuat geser terbesar yang diberikan variasi pada kadar air.

Pada penelitian ini objek yang diamati adalah, tanah lempung ekspansif dengan penambahan 15% *fly ash* dan variasi kadar air. Variasi kadar air yang diberikan pada campuran tanah lempung dengan *fly ash* adalah 25,8%, 22,8%, 18,8%, 14,8%, 10,8% dari berat isi kering tanah. Pada penelitian ini sampel yang telah dibuat akan di uji pengembangan (*swelling*), dan *unconfined compression test*.

Dari hasil pengujian benda uji, didapatkan pada sampel tanah lempung ekspansif dengan 15% *fly ash* dan kadar air 18,8% memiliki nilai kuat tekan dan kuat geser terbesar dibandingkan dengan variasi kadar air yang lainnya. Nilai kuat tekan bebas (*qu*) dan kuat geser (*cu*) tanah kondisi unsoaked dan soaked mengalami peningkatan pada penambahan *fly ash* 15% dengan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai *qu* dan *cu* pada pengurangan kadar air dibawah 18,8%, semakin besar penambahan kadar air maka semakin kecil nilai pengembangan (*swelling*).

Kata - kata kunci : Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, *Fly Ash*, *Unconfined Compression Test*, *Swelling*.

ABSTRACT

Expansive clay has low soil bearing capacity on condition that the high water level, the nature and development of swelling were large and high plasticity. In addition, because of the nature and development of sizeable losses on expansive clay resulting in deformation which often cannot be shouldered by the robustness of the structure above. One method of stabilization of the soil used in an attempt to improve the quality of the soil is poor, among others, chemical stabilization. Chemical stabilization is done by adding stabilizing agents on the basis of land that will be upgraded. Stabilizing agents used in this study are fly ash. The purpose of this study is to identify the largest value of shear strength given variations in water content.

In this study, the object being observed is, expansive clay with the addition of 15% fly ash and moisture content variations. Variations in water levels are given on a mixture of clay with fly ash was 25,8%, 22,8%, 18,8%, 14,8%, and 10,8% of the dry weight of the soil. In this study the samples that have been made will be in test swelling, and the unconfined compression test.

The results of the test specimen, obtained on a sample of expansive clay with 15% fly ash and water content of 18,8% has the compressive strength and shear strength compared to the largest variety of other water content. The unconfined compressive strength (*qu*) and shear strength (*cu*) soil conditions unsoaked and soaked an increase in the addition of fly ash 15% to a moisture content of 18,8%, then impaired *qu* and *cu* on the reduction of the moisture content below 18,8%, the larger extra water content, the smaller the value of swelling.

Keywords : Expansive Clay Soil, Soil Stabilization, Fly ash, Unconfined compression test, Swelling.

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 di lapangan 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 (*Kaolinite*) 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, besi, dan dalam lembaran tetrahedral terdapat pada substitusi silikon oleh aluminium.
- Montmorillonit (*Montmorillonite*) bisa disebut juga sebagai smectile dalam satu lapis, tersusun dari dua lembar silika mengapit satu lembar alumina (*gibbsite*). Ujung terahedral tercampuri 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):

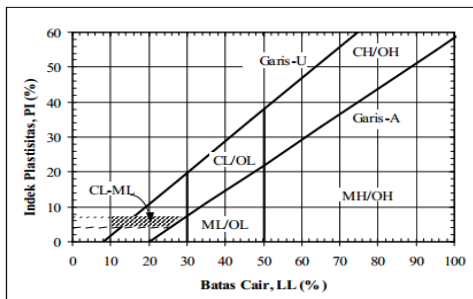
1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah

- Kenaikan air kapiler tinggi
- Sangat kohesif
- Kadar kembang susut tinggi
- Proses konsolidasi lambat

Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)

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

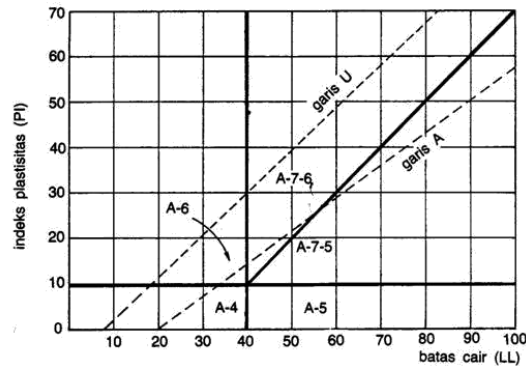
- Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$).
- Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).



Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Kerikil 50% atau lebih atau fraksi lebih dari 50% pasir kasar	GW	Kerikil gradasi baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} < 3$
	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 SW
	GM	Kerikil berbutir, campuran kerikil-pasir (berada di bawah garis-A)	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis-A)
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} < 3$
	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 berlempung, campuran pasir-lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis-A)

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

Klasifikasi umum	Tanah lempung - 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^
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 41	Min 36 Maks 40 Min 11	Min 36 Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlempung		Tanah berlempung dominan	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			



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.

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 Diffracton*).
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorbsion*).
- Penurunan Panas (*Differential Thermal Analysis*).
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*).
- Electron Microscope Resolution*.

Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

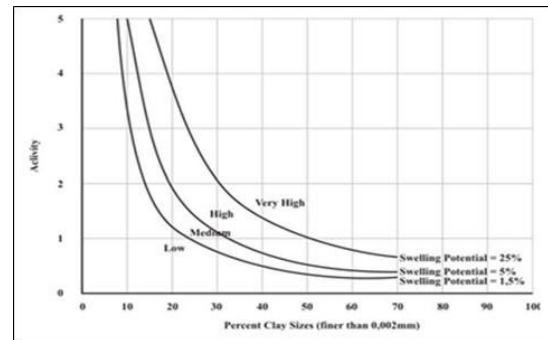
- Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
- Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok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

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

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 SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ 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 *fly ash* tersebut adalah banyaknya calsium, 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 strenght 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 cementitius 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 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

Analisis Saringan dan Hidrometer

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 (Spesific Gravity)

Berat jenis tanah (*Spesific 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 berikut ini :

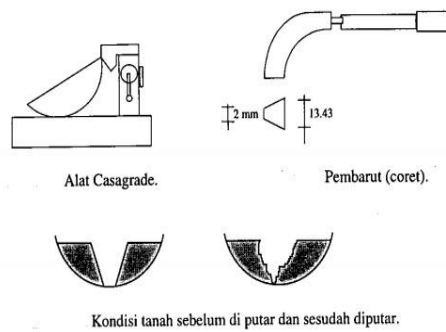
Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Batas-batas Atterberg (Atteberg Limit)

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, dan batas susut.

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.



Gambar 2.9 Skema Uji batas Cair

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.



Gambar 2.10 Gulungan tanah pada uji 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.



Gambar 2.11 Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven

$$SL = \left[\left(\frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) - \left(\frac{\text{Volume Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) \right] \times 100\% \quad (2-2)$$

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih

bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah.

$$PI = LL - PL$$

(2-3)

Dimana : PI = Plastis indeks (%) ; LL = Liquid Limit (%) ; PL=Plastis Limit (%).

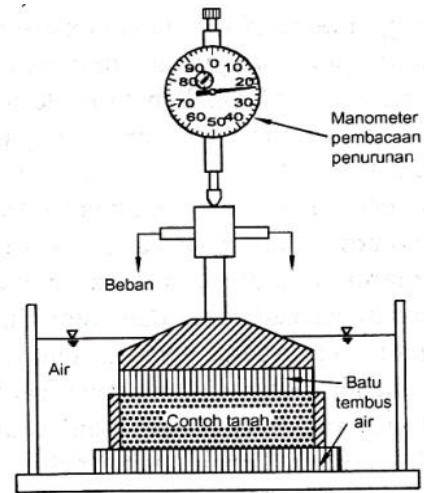
Jika tanah memiliki PI tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg

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:

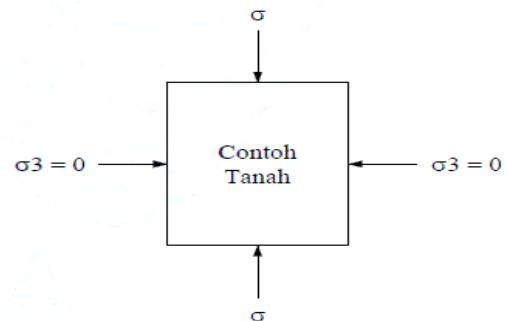
1. Tipe dan jumlah mineral di dalam tanah
2. Kadar air
3. Susunan tanah
4. Konsentrasi garam dalam air pori
5. Sementasi
6. Kandungan bahan organik, dll.

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.



Uji Tekan Bebas (*unconfined*)

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%. Percobaan *unconfined* terutama dilakukan pada tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*). Bila lempung mempunyai derajat kejenuhan 100%, maka kekuatan gesernya dapat ditentukan langsung dari nilai kekuatan *unconfined*.



Gambar 2.13 Sistem pengujian kuat tekan bebas.

Pada pengujian kuat tekan bebas, tegangan penyekap σ_3 adalah nol. Tegangan aksial dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat sampai tanah mengalami keruntuhan. Pada titik keruntuhan, harga tegangan total utama kecil (*total minor principal stress*) adalah nol dan tegangan total utama besar adalah σ_1 . Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, dimana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda ujinya. Pada lempung jenuh, tekanan air pori dalam benda uji pada awal pengujian negative (tegangan kapiler). Pada saat keruntuhan, karena $\sigma_3=0$, maka:

$$\sigma_1 = \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u$$

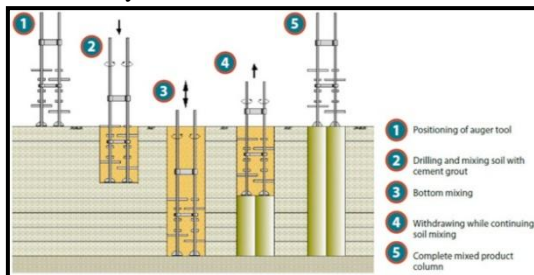
Dengan q_u adalah kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) pada pengujian tekan bebas. Secara teoritis, nilai dari $\Delta\sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *unconsolidated-undrained* dengan benda uji yang sama. Jadi,

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2}$$

Dimana S_u atau C_u adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya.

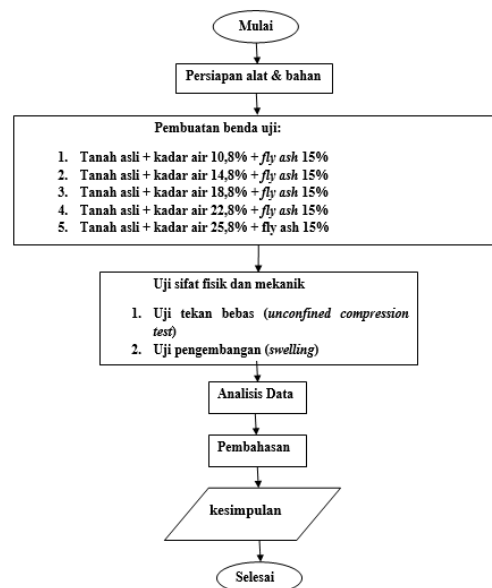
Deep Soil Mixing

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 Tekan bebas (*Unconfined compression test*): ASTM D- 21668-85
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 *swelling*

Jenis Sample	kadar air (%)	Volume sampel	pengembangan (%)
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%		
	kadar air 14,8%		
	kadar air 18,8%		
	kadar air 22,8%		
	kadar air 25,8%		

Jenis Sample	Pengembangan Tanah+OMC (%)	pengembangan (%)	Penurunan (%)
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%		
	kadar air 14,8%		
	kadar air 18,8%		
	kadar air 22,8%		

Tabel 3.3 hasil penelitian unconfined

No.	kadar air campuran	Ratio kadar air - fly ash	Sampel	kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	regangan (%)
1	10,8%	10,8% - 15%	1			
			2			
			3			
2	14,8%	14,8% - 15%	1			
			2			
			3			
3	18,8%	18,8% - 15%	1			
			2			
			3			
4	22,8%	22,8% - 15%	1			
			2			
			3			
5	25,8%	25,8% - 15%	1			
			2			
			3			
6	21,9% tanpa perbaikan	21,8% - 0%	1			
			2			
			3			
7	undisturbed	42% - 0%	1			
			2			

Tabel 3.4 Hasil penelitian unconfined setelah *swelling*

No.	kadar air campuran	Ratio kadar air - fly ash	Sampel	kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	regangan (%)
1	10,8%	10,8% - 15%	1			
			2			
			3			
2	14,8%	14,8% - 15%	1			
			2			
			3			
3	18,8%	18,8% - 15%	1			
			2			
			3			
4	22,8%	22,8% - 15%	1			
			2			
			3			
5	25,8%	25,8% - 15%	1			
			2			
			3			
6	21,9% tanpa perbaikan	21,8% - 0%	1			
			2			
			3			
7	undisturbed	42% - 0%	1			
			2			

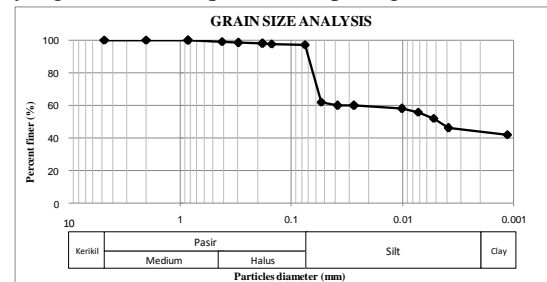
HASIL DAN PEMBAHASAN

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

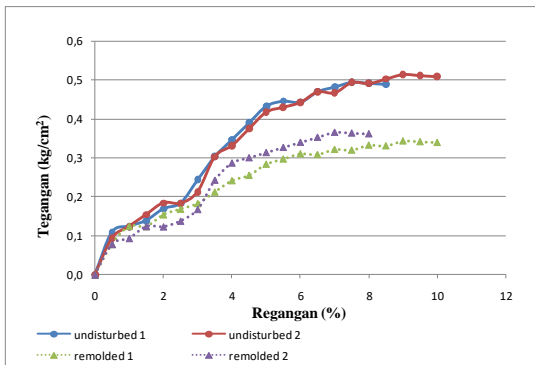
Untuk mengetahui klasifikasi tanah pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer. Analisis saringan (mechanical grain size) bertujuan untuk menentukan butiran kasar dan halus yang tertahan pada saringan no. 200 sedangkan analisis hidrometer digunakan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



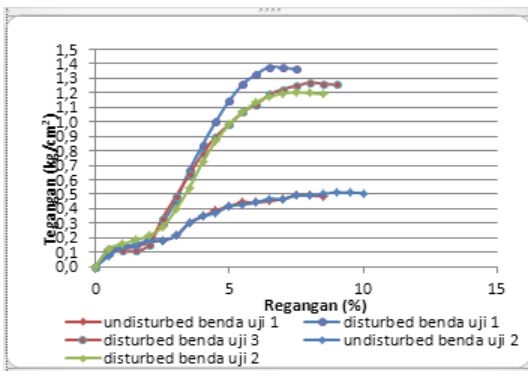
Atterberg Limit

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

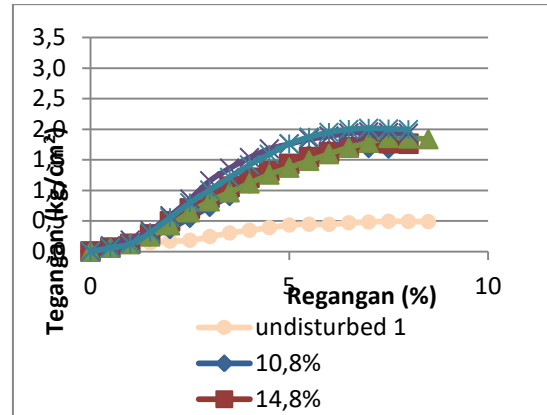
Pengujian Kuat Bebas Tanah (*Unconfined*)



Hasil pengujian *unconfined* seperti terlihat pada gambar diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum untuk tanah ekspansif Bojonegoro pada kondisi *undisturbed* lebih besar daripada tegangan maksimum untuk tanah *remolded*. Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum rata rata sebesar 0,50422 kg/cm² sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 0,35408 kg/cm².



Berbeda dengan tanah *remolded* dari tanah asli yang berbeda kadar airnya dengan tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC), nilai tegangan maksimum akan semakin besar dibandingkan dengan *undisturbed*. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu sebesar 1,286 kg/cm² lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki qu rata-rata sebesar 0,50422 kg/cm². Hal ini dikarenakan pemadatan dapat mengakibatkan perubahan struktur pada tanah salah satunya yaitu meningkatkan kekuatan tanah, dimana kekuatan tanah lempung yang dipadatkan akan bergantung pada pemadatan, jenis tanah, kondisi tanah, serta kadar air pada saat tanah dipadatkan.



menunjukkan bahwa tegangan maksimum tanah ekspansif *undisturbed* mempunyai nilai terkecil, hal ini dikarenakan tanah *undisturbed* memiliki kadar air yang lebih tinggi serta belum dilakukan perbaikan terhadap sifat tanah lempung tersebut.

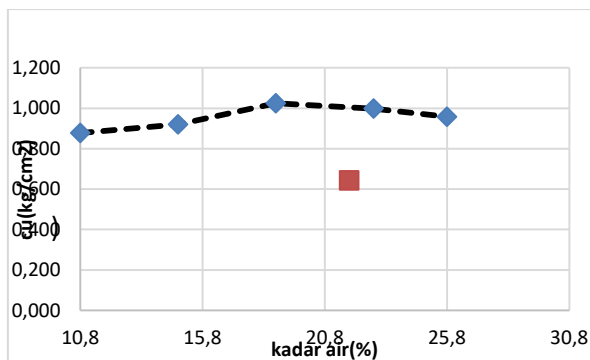
Kemudian untuk tanah *remolded* dengan OMC, memiliki tegangan maksimum lebih kecil daripada tanah yang dengan OMC serta diberi tambahan kadar air. Hal ini sesuai bahwa tanah yang diperbaiki dengan zat aditif serta diberi kadar air yang sesuai akan memiliki tegangan yang lebih besar.

Pengaruh pencampuran *Fly ash* terhadap nilai qu dikarenakan reaksi kimia pada tanah, reaksi ini mengakibatkan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah sehingga membentuk tanah yang lebih keras dan kaku, setelah dilakukan pemeraman selama 3 hari. Keadaan ini menjadikan nilai tegangan yang lebih besar dibandingkan tanah asli tanpa penambahan *fly ash* serta kadar air.

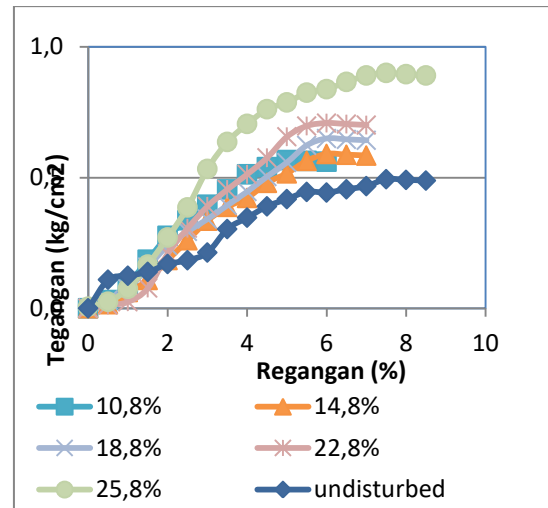
Benda uji yang diperbaiki dengan *fly ash* 15% serta di variasikan kadar airnya sangat berpengaruh pada nilai qu pada tanah tersebut. Kadar air yang pas, akan membuat nilai qu tersebut menjadi lebih tinggi daripada tanpa diberi kadar air. Namun bila kadar air yang diberi rendah, maka bisa menaikkan nilai qu tanah tersebut, tetapi apabila kadar air dikurangi terlalu banyak makan akan membuat tanah tersebut sangat kering dan kaku.

No.	Kadar air campuran	kuat tekan bebas (qu) tanah asli (kg/cm ²)	kuat tekan bebas (qu) (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	10,8%	0,504	1,756	248
2	14,8%		1,841	265
3	18,8%		2,049	307
4	22,8%		1,997	296
5	25,8%		1,916	280
6	21,9% tanpa perbaikan		1,286	155

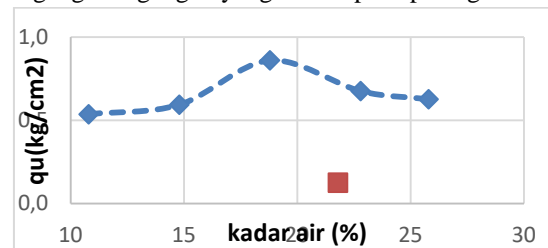
Pengaruh kadar air terhadap nilai qu dan nilai qu tanah asli (*undisturbed*) ditunjukkan pada gambar 4.9, untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan qu dengan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,504 kg/cm². Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai qu 1,286 kg/cm² dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai qu akibat pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 155% dari tanah asli (*undisturbed*) seperti pada tabel 4.3. Untuk variasi kadar air dari gambar 4.9 terlihat bahwa peningkatan qu terbesar terjadi pada penambahan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai qu pada saat kadar air 14,8% dan 10,8%



Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah (*Unconfined*) Setelah Pengembangan (*Swelling*)

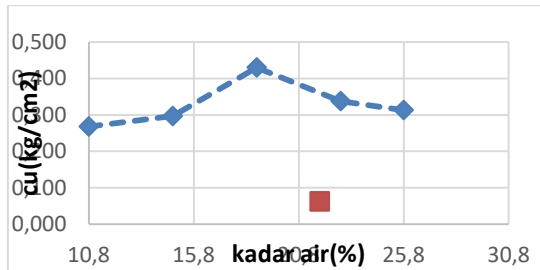


Bisa dilihat pada gambar, hubungan tegangan dan regangan yang baik setelah perendaman terjadi pada campuran *fly ash* dengan kadar air sebesar 18,8% dengan kata lain apabila tanah campuran diberi air lebih dari 18,8% maka tanah tersebut akan menjadi lembek dan sebaliknya jika diberi kadar air kurang dari 18,8% maka tanah campuran tersebut akan menjadi lebih getas. Nilai hubungan tegangan dan regangan berbanding lurus dengan nilai qu, semakin besar nilai qu maka semakin besar pula nilai kohesi dalam tanah tersebut, semakin besar nilai kohesi maka semakin besar pula tanah tersebut dapat menahan tegangan dari luar. Oleh karena itu tanah campuran dengan kadar air 18,8% memiliki nilai qu tertinggi dan hubungan tegangan regangan yang baik seperti pada grafik.

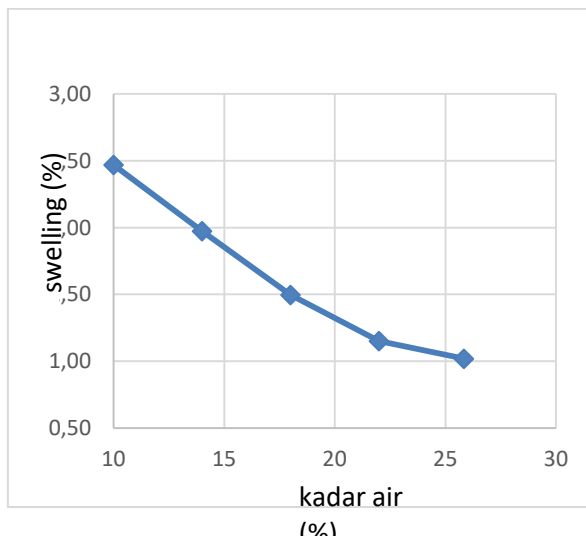


Pengaruh kadar air terhadap nilai qu dan nilai qu tanah asli (*undisturbed*) setelah swelling ditunjukkan pada gambar 4.12, untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan qu dengan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,069 kg/cm². Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai qu 0,125 kg/cm² dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai qu akibat pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 81% dari tanah asli (*undisturbed*) seperti pada tabel 4.3. Untuk variasi kadar air dari

gambar 4.12 terlihat bahwa peningkatan q_u terbesar terjadi pada penambahan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai q_u pada saat penambahan kadar air 14,8% dan 10,8% .

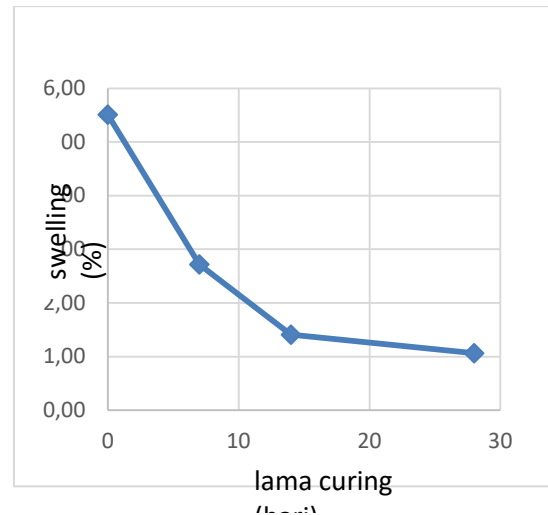


Pengujian Pengembangan (Swelling)



Menunjukkan bahwa semakin kecil kadar air yang diberikan pada benda uji, maka pengembangannya akan semakin besar. Pengembangan terbesar yaitu pada tanah asli sebesar 5,509%. Untuk sampel dengan perbaikan dengan menggunakan *fly ash* setelah diberi variasi kadar air, dapat menurunkan pengembangan hingga 81% dari tanah asli.

Uji pengembangan (*swelling*) dengan perbaikan 29% dari volume mold dengan menggunakan pipa diameter 5 cm dan diameter 2 cm dengan cara memberikan tanah perbaikan pada lubang pipa yang diberi kadar campuran *fly ash* 15% dan kadar air optimum serta lama waktu curing



Kesimpulan

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

1. Nilai kuat tekan (q_u) dan kuat geser (c_u) tanah kondisi *unsoaked* dan *soaked* mengalami peningkatan pada penambahan *fly ash* 15% dengan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai q_u dan c_u pada pengurangan kadar air dibawah 18,8%, semakin besar penambahan kadar air maka semakin kecil nilai pengembangan (*swelling*).
2. Nilai q_u , c_u tanah *unsoaked* dan *soaked* terbesar diperoleh pada kadar air sebesar 18,8% oleh karena itu penambahan kadar air yang paling baik untuk tanah campuran *fly ash* 15% adalah sebesar 18,8%.

Saran

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah

1. Perlu diadakan pengulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.
2. Perlu dilakukan *swelling* dengan lama waktu yang lebih lama agar benar benar terendam

DAFTAR PUSTAKA

Anggoroi, Rio. 2013. Pengaruh Penambahan Fly Ash Paada 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 Fisiis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Diterjemahkan oleh Johan K . Hainin. Jakarta: Erlangga.
- Budi, 2003. Pengaruh Fly Ash Terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Journal of Civiil 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-Prinsiip Rekayaasa Geoteknis)*. Diterjemahkan oleh Noor Endah, dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Hardiiyatmo, H.C. 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan* . Yogyakarta: Gajah Mada University Press .
- Hardiyaatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. *Mekanika tanah I*. Malang: Bargie Media.
- Santoso, Budi, 1998. *Mekanika Tanah Lanjutan*. Jakarta: Gunadarma.
- Wesley. 1997. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

