

TUGAS AKHIR

**KAJIAN PENGARUH PENCAMPURAN 5% SEMEN PORTLAND
DAN SILICA FUME TERHADAP STABILISASI TANAH
EKSPANSIF PADA LAPISAN TANAH PERMUKAAN JALAN
RAYA
(Studi Kasus Perumahan Sentosa Cikarang)**



Disusun Oleh :

NAMA : ANAK AGUNG SUPARDJONO

NIM : 4110401 – 006

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA**

2009

	LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS MERCU BUANA	
---	--	---

No.Dokumen	010 423 4 41 00	Distribusi				
Tgl. Efektif	7 MARET 2005					

Tugas akhir ini untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik, jenjang pendidikan Strata 1 (S-1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Mercu Buana, Jakarta.

Judul Tugas Akhir : Kajian Pengaruh Pencampuran 5% Semen Portland dan Silica Fume Terhadap Stabilisasi Tanah Ekspansif Pada Lapisan Tanah Permukaan Jalan Raya (Studi kasus Perumahan Sentosa Cikarang)

Disusun oleh :

Nama : Anak Agung Supardjono
 NIM : 4110401 - 006
 Program Studi : Teknik Sipil

Telah disetujui dan dinyatakan LULUS sebagai Sarjana Teknik Sipil Strata 1 (S-1)

Pembimbing

Ir.Desiana Vidayanti.MT.

Jakarta, 27 Maret 2009

Mengetahui,

Ketua Penguji

Ir. Sylvia Indriany, MT

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Mawardi Amin, MT

ABSTRAK

Judul : Kajian Pengaruh Pencampuran 5% Semen Portland dan Silica Fume Terhadap Stabilisasi Tanah Ekspansif Pada Lapisan Tanah Permukaan Jalan Raya (Studi kasus Perumahan Sentosa Cikarang) , Nama : Anak Agung Supardjono (4110401-006), Pembimbing : Ir.Desiana Vidayanti.MT.

Adanya tanah yang kurang baik dikarenakan tanah tersebut berperilaku mengembang pada saat kadar air bertambah dari nilai referensinya dan menyusut ketika kadar air berada di bawah nilai referensinya sampai batas susut yang biasa disebut dengan tanah ekspansif. Adanya pengembangan dan penyusutan mengakibatkan tanah ini mengalami perubahan volume yang cukup besar sehingga mempengaruhi struktur yang dibangun di atasnya.

Berdasarkan sifat-sifat tanah ekspansif yang sangat merugikan inilah sehingga perlu dilakukan usaha stabilisasi tanah. Laporan ini dibuat dengan berdasarkan studi kasus tanah ekspansif pada Proyek Jalan Raya tepatnya di lokasi Perumahan Taman Sentosa Cikarang. Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah menganalisa perubahan secara fisis yang terjadi setelah tanah ekspansif mengalami pencampuran dengan semen portland dan *silica fume*. Selain itu tugas akhir ini juga bertujuan menghitung besarnya persentase 5% semen portland dan *silica fume* yang tepat agar didapatkan daya dukung yang optimum.

Setelah analisis, ternyata didapatkan hasil bahwa campuran 5% semen dan 0% *silica fume* dengan masa curing 14 hari nilai daya dukungnya paling besar dan dapat menurunkan pengembangan tanahnya hingga 13 kali lebih kecil dari tanah asli sehingga campuran tersebut dapat dipergunakan sebagai stabilisasi tanah yang baik dan dapat dikatakan bahwa tanah ekspansif dengan mempergunakan stabilisasi dengan campuran tersebut aman dipergunakan sebagai pondasi awal pada struktur bangunan di atasnya.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	I – 1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	I – 2
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	I – 2
1.4 Metode Penelitian.....	I – 3
1.5 Sistematika Penulisan.....	I – 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanah Ekspansif.....	II – 1
2.2 Identifikasi dan Klasifikasi Tanah Ekspansif.....	II – 5
2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO.....	II – 11
2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified (USCS).....	II – 13
2.3 Reaksi Pencampuran antara Tanah dan Semen.....	II – 15
2.3.1 Portland Cement.....	II – 15
2.4 Silica Fume.....	II – 17
2.5 Stabilisasi Tanah.....	II – 18
2.6 Batas-Batas Atterberg (<i>Atterberg Limit</i>).....	II – 19

4.1.2.2	Pengujian Triaksial UU <i>(Triaxial Test Unconsolidated Undrained)</i>	IV – 8
4.1.2.3	Pengujian Kembang Bebas <i>(Free Swell Test)</i> ..	IV – 9
4.1.2.4	Pengujian CBR Terendam <i>(California Bearing Ratio Soaked)</i>	IV – 10
4.1.2.5	Analisa Ekspansifitas Tanah Asli terhadap <i>Engineering Properties</i>	IV – 12
4.2	Pengujian Tanah Yang Telah Distabilisasi	IV – 13
4.2.1	Pengujian <i>Index Properties</i> Tanah Campuran	IV – 14
4.2.1.1	Berat Jenis Tanah <i>(Specific Gravity)</i>	IV – 14
4.2.1.2	Pengujian Batas-Batas Atterberg <i>(Atterberg Limit)</i>	IV – 15
4.2.2	Pengujian <i>Engineering Properties</i> Tanah Stabilisasi.....	IV – 19
4.2.2.1	Pemadatan Standard <i>(Standard Proctor Test)</i> ...	IV – 19
4.2.2.2	Pengujian CBR Terhadap Tanah Campuran.....	IV – 20
4.2.2.3	Pengujian Kembang Bebas <i>(Free Swell Test)</i> ...	IV – 23
4.2.2.4	Pengujian Triaksial UU <i>(Triaxial Unconsolidated Undrained)</i>	IV – 24
4.3	Analisa Tanah Stabilisasi yang Optimum	IV – 25

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	V – 1
5.2	Saran.....	V – 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Mineral butir pada tanah ekspansif.....	II – 2
Tabel 2.2 Identifikasi Masalah Tanah Ekspansif.....	II – 6
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Koloid, IP, dan Shrinkage Limit.....	II – 7
Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit	II – 7
Tabel 2.5 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Prosentase Butiran Tanah yang Lolos Ayakan no. 200, Liquid Limit dan Standard Penetration Resistance.....	II – 8
Tabel 2.6 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Indeks Plastisitas	II – 8
Tabel 2.7 Shrinkage Limit and Linear Shrinkage Guide to Potential Expansion.....	II – 10
Tabel 2.8 Degree of Expansion from Swell Potential and Shrinkage Measurement.....	II – 10
Tabel 2.9 Degree of Expansion from Plasticity Index and Shrinkage Limit...II	– 11
Tabel 2.10 Derajat Ekspansif Berdasarkan Indeks Plastisitas Shrinkage Limit.....	II – 11
Tabel 2.11 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).....	II – 12
Tabel 2.12 Sistem Klasifikasi Unified (USCS)	II – 14
Tabel 2.13 Harga-harga Batas Atterberg untuk Mineral Lempung.....	II – 21
Tabel 2.14 Berat Spesifik Mineral-mineral Penting yang sering dijumpai.....	II – 22

Tabel 2.15	Klasifikasi Tanah Dasar.....	II – 31
Tabel 3.1	Standard ASTM yang digunakan dalam pengujian.....	III - 1
Tabel 3.2	Jumlah sampel yang disiapkan dari masing-masing pengujian.....	III - 2
Tabel 3.3	Jumlah tanah, semen dan <i>silica fume</i> untuk Stabilisasi.....	III - 5
Tabel 4.1	Resume Pengujian Indeks Properties	IV - 4
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Pemadatan Standard.....	IV - 7
Tabel 4.3	Resume hasil pengujian Engineering Properties.....	IV- 12
Tabel 4.4	Resume Hasil Pengujian Tanah Stabilisasi Optimal.....	IV - 25

DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

	Halaman
Gambar 2.1 Simbolisasi komposisi komponen tanah.....	II - 3
Gambar 2.2 Grafik pengembang Indeks Plastisitas	II - 6
Gambar 2.3 Batas-batas Atterberg.....	II - 19
Gambar 2.4 Prinsip pemadatan.....	II - 24
Gambar 3.1 Skematik Program Kerja dari Pengujian	III - 4
Gambar 4.1 Grafik Batas Cair (Liquid Limit).....	IV - 3
Gambar 4.2 Bagan Plastisitas	IV - 3
Gambar 4.3 Grafik Uji Pemadatan Proctor (Tanah Asli).....	IV - 8
Gambar 4.4 Lingkaran Mohr dari Pengujian Triaksial Tanah Asli.....	IV - 9
Gambar 4.5 Grafik Free Swell Tanah Asli.	IV - 10
Gambar 4.6 Grafik Swelling CBR saat Perendaman.....	IV - 10
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Mesin CBR	IV - 11
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Berat Jenis Tanah Campuran.....	IV - 14
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Batas Plastis Tanah Campuran	IV - 15
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Batas Cair Tanah Campuran	IV - 16
Gambar 4.11 Grafik Pengujian Indeks Plastisitas Tanah Campuran.....	IV - 17
Gambar 4.12 Grafik Pengujian Shrinkage Limit Tanah Campuran	IV - 18
Gambar 4.13 Grafik Pengujian Kepadatan Kering Tanah Campuran	IV - 19
Gambar 4.14 Grafik Swelling CBR tanah Campuran	IV - 20
Gambar 4.15 Grafik Pengujian CBR Tanah Campuran (Curing 7 hari)	IV - 21
Gambar 4.16 Grafik Pengujian CBR Tanah Campuran (Curing 14 hari)	IV - 22

Gambar 4.17 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran (Curing 7 dan14 hari).	IV - 22
Gambar 4.18 Grafik Pengujian Free Swell Tanah Campuran (Curing 14 hari)	IV - 23
Gambar 4.19 Gambar Lingkaran Mohr Tanah Stabilisasi (Curing 14 hari).....	IV - 24

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam melakukan konstruksi bangunan sipil, tanah merupakan hal yang sangat penting diperhatikan karena tanah berperan sebagai pendukung bangunan di atasnya. Adanya tanah yang dikarenakan tanah tersebut berperilaku mengembang pada saat kadar air bertambah dari nilai referensinya dan menyusut ketika kadar air berada di bawah nilai referensinya sampai batas susut biasa disebut sebagai tanah ekspansif.

Adanya pengembangan dan penyusutan mengakibatkan tanah ini mengalami perubahan volume yang cukup besar sehingga mempengaruhi struktur yang dibangun di atasnya. Pada musim hujan dimana banyak air yang masuk ke dalam tanah, maka tanah akan mengalami gaya angkat (*uplift force*) yang cukup besar sehingga bisa menimbulkan kerusakan-kerusakan yang cukup berarti. Sebaliknya pada musim kering dimana cukup banyak air yang menguap, mengakibatkan struktur bangunan di atasnya akan mengalami penurunan yang cukup serius.

Besar kecilnya kerusakan ini tergantung pada besarnya perubahan kadar air pada tanah ekspansif tersebut. Oleh karena itu cara-cara yang tepat perlu diambil sebagai langkah antisipasi terhadap karakteristik material tanah ekspansif yang ada.

Pada tugas akhir ini saya akan membahas tentang pengaruh penambahan semen portland dan *silica fume* terhadap sifat tanah ekspansif.

Sebagai bahan alternatif, pemakaian semen dan *silica fume* sekiranya dapat memenuhi semua kriteria diatas yaitu sebagai bahan stabilisator tanah. Di mana pada pengujian sebelumnya oleh Luis Tono Aspari (21499080) dan Sutikno Gautama (21499107), Universitas Kristen Petra di Surabaya bahwa stabilisasi tanah dengan campuran semen dan *silica fume* dapat meningkatkan daya dukung tanahnya.

Seperti yang telah diketahui, bahwa reaksi semen dan *silica fume* pada campuran beton, dapat meningkatkan kekuatan beton. Oleh karena itu dalam penelitian akan mencoba mempelajari pengaruh penambahan *silica fume* terhadap campuran tanah ekspansif dan 5% semen.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung besarnya persentase kadar *silica fume* yang optimum terhadap 5% kadar semen agar didapatkan daya dukung tanah ekspansif yang maksimum. Bila tidak didapatkan harga optimum, maka ditetapkan harga CBR yang dibutuhkan.
2. Menganalisa perubahan fisis yang terjadi pada tanah ekspansif setelah mengalami pencampuran dengan semen Portland dan *silica fume*;

Hipotesis awal : Jika tanah ekspansif dicampurkan dengan semen portland dan *silica fume* maka daya dukung tanahnya akan meningkat.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Dalam pembahasan tugas akhir ini, penulis hanya akan membahas bagaimana pengaruh pencampuran semen Portland dan *silica fume* dan menganalisa besarnya persentase yang tepat dari kedua bahan tersebut agar didapatkan daya dukung yang optimum. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel tanah ekspansif di bagian permukaan setebal 30 cm yang kemudian dicampur kedua bahan tersebut dengan komposisi sebagai berikut :

1. Tanah + semen (5 %) + *silica fume* (0 %);
2. Tanah + semen (5 %) + *silica fume* (10 % dari jumlah semen);
3. Tanah + semen (5 %) + *silica fume* (20 % dari jumlah semen);
4. Tanah + semen (5 %) + *silica fume* (30 % dari jumlah semen).

Jenis pengujian yang dilakukan adalah :

1. Sample tanah asli yang dipergunakan untuk penelitian di test *water content* (Wc), *specific gravity* (Gs), *plastic limit* (PL), *shrinkage limit* (SL) dan *liquid limit* (LL);
2. *Standard Proctor Test* (SPT);
3. *CBR Soaked*;
4. *Triaxial Tes U.U.* (hanya pada kadar campuran dan masa curing dari nilai CBR yang paling optimal);
5. *Free Swell Test* (hanya pada kadar campuran dan masa curing dari nilai CBR yang paling optimal).

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan Standard ASTM (American Society for Testing and Material).

I.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah untuk memperoleh hasil dari *research* atau penelitian di laboratorium. Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis memiliki berbagai sumber atau pedoman yang dapat dijadikan pegangan antara lain :

a. Studi kepustakaan

Penulis dapat menggunakan referensi dari buku-buku panduan dan modul-modul kuliah dan data-data dari internet yang sesuai dengan pembahasan tugas akhir ini.

b. Data tanah

Data tanah yang digunakan penulis dalam tugas akhir ini didapat langsung dari Departemen Pekerjaan Umum.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Bab I, Pendahuluan, membahas latar belakang masalah, tujuan, ruang lingkup, dan batasan masalah, metode penelitian serta sistematika penulisan tugas akhir.

Bab II, Tinjauan Pustaka, berisi tentang uraian teori mengenai tanah ekspansif beserta karakteristiknya dan uraian tentang teori yang mendasari masalah yang berkaitan dengan stabilisasi tanah dengan menggunakan semen Portland dan *silica fume*.

Bab III, Metode Penelitian, berisi tentang prosedur penelitian di laboratorium dan berbagai peralatan yang digunakan.

Bab IV, Analisa Hasil Pengujian, berisi tentang hasil penelitian yang disajikan dalam tabel-tabel, gambar-gambar dan berbagai perhitungan serta analisa terhadap tabel, gambar dan perhitungan tersebut.

Bab V, Penutup, berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.[]

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ekspansif

Pelapukan akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok pertikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung. Menurut Hary Christady Hardiyatmo (1991), terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung tetapi hanya 4 kelompok mineral yang sering dijumpai, yaitu:

a. Kelompok *Kaolinite*

Adalah kelompok yang stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengan-lempengannya untuk menghasilkan pengembangan atau penyusutan pada sel satuannya.

b. Kelompok *Halloysite*

Adalah kelompok yang bila dipanasi akan mengalami penyusutan karena lapisan tunggal molekul air dapat dipisahkan lalu menguap.

c. Kelompok *Illite*

Adalah kelompok yang sedikit bersifat ekspansif karena ikatan-ikatan dengan ion kalium (K⁺) lebih lemah daripada ikatan *hydrogen* yang mengikat satuan kristal *kaolinite*, tetapi lebih kuat daripada ikatan *ionic* yang membentuk kristal *montmorillonite*.

d. Kelompok *montmorillonite*

Adalah kelompok yang sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air karena adanya ikatan *Van der Waals* yang lemah diantara ujung lembaran *silica* dan ikatan *ionic* yang lemah.

Selanjutnya kelompok ini disebut tanah ekspansif. Menurut Kezdi (1974), tanah ekspansif memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Memiliki gaya *cohesive* yang besar ketika tanah dalam keadaan kering;
- b. Memiliki ketahanan tanah yang sangat besar dalam keadaan kering;
- c. Permeabilitas yang rendah;

- d. Ketika keadaan basah (kadar air tinggi) ketahanan tanah dan gaya *cohesive* rendah;
- e. Mudah mengembang ketika kadar air bertambah dan menyusut ketika kadar air berkurang.

Menurut Ir. Syarifuddin Nasution, M. Eng. (1991) mineral–mineral yang terkandung di dalam tanah endapan seperti tanah ekspansif umumnya mengandung tiga mineral utama yang dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Mineral butir pada tanah ekspansif.

JENIS	FORMULA	KUALITAS
Kaolinite	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$	Cukup baik, $w_p = 32$, $w_L = 53$, $PI = 21$
Illite	$Al_4(Si_6Al_2)O_{20} \cdot K_2(OH)_4$	Sedang, $w_p = 53$, $w_L = 120$, $PI = 67$
Montmorillonite	$Al_4(Si_8O_{20}) \cdot (OH)_4 \cdot nH_2O$	Kurang baik, banyak kandungan air, $w_p = 54$, $w_L = 710$, $PI = 656$

Sumber : Catatan kuliah Perbaikan Tanah

Mineral di atas juga kadang didapat pada tanah residual dan juga nama beberapa jenis mineral penting lainnya seperti :

- a. Halloysite;
- b. Allophane;
- c. Sesquioxide.

Sebagai benda alam lain seperti gas, air, batu, kayu dan besi maka tanah adalah benda yang umumnya terbentuk dari proses waktu, ruang dan tempat. Bahwa tanah adalah kombinasi dari proses waktu yang sangat lama dan kompleks. Walaupun secara visual semua tanah secara penampilannya sama namun akan kelihatan berbeda secara pola struktur dan komposisinya. Di samping pengaruh dengan sistem proses di atas tanah juga tergantung pula pada faktor “alam” lainnya, misalnya hujan, panas, banjir, gempa, angin maupun faktor flora dan fauna.

Oleh karena itu dikenal berbagai macam tipe dan macam tanah, antara lain misalnya tanah lempung lunak anorganik atau iorganik, tanah pasir lepas, tanah berawa, tanah endapan, tanah abu gunung, tanah alluvial, tanah kapur, tanah laterite, tanah gambut dan sebagainya.

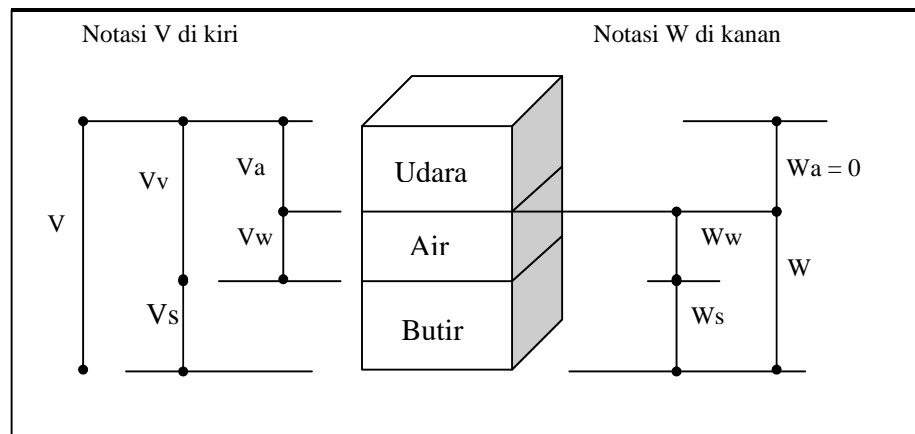
Montmorillonite sebagai kandungan utama yang paling menentukan keekspansifan suatu tanah terbentuk sebagai hasil pelapukan mineral-mineral

ferromagnesian, Calciofeldsper, dan material vulkanik. Kandungan montmorillonite sering terjadi di daerah berlingkungan basa yang mengandung ion magnesium yang cukup dan drainase yang buruk.

Tanah pada umumnya terdiri dari tiga unsur utama sebagai bahan dasar alam yang tetap yaitu :

- a. Butir (yang disimbolkan dengan “s” kecil untuk gambar), merupakan kumpulan butir partikel berupa susunan mineral yang adalah gumpalan komponen dari unsur-unsur kimiawi alam. Bentuk butir biasanya adalah bulat tipis atau pipih untuk yang halus, sampai agak membulat bersudut pada yang ukuran kasar.
- b. Air (yang disimbolkan dengan “w” kecil untuk gambar), yang umum terdapat di antara sela butir-butir yang berkumpul yang disebut rongga pori. Rongga pori berisi air ini hampir selalu ada pada sela lapisan tanah atau setidaknya sebagai bagian dari butir itu sendiri dengan unsur H_2O .
- c. Udara (yang disimbolkan dengan “a” kecil untuk gambar), yang juga terdapat di antara sela-sela butir yaitu sela rongga pori. Udara ini biasanya jarang ada atau sedikit saja kecuali untuk tanah berbutir kasar atau jika tanah berada dekat di permukaan tanah.

Simbolisasi pada gambar dan juga pada perhitungan komponen lapisan tanah dibuat secara baku sebagai terlihat pada Gambar 2.1 di bawah ini, dan untuk memudahkan dalam analisis perbandingan banyaknya komponen butir padat, komponen air dan komponen udara yang dikandung suatu massa tanah.



Gambar 2.1. Simbolisasi komposisi komponen tanah
(modul kuliah MPT)

Kemudian didefinisikan sebagai perbandingan antara berat (W), berat isi (γ), berat airnya (W_w), berat butirnya (W_s), dan sebagainya.

Rumus-rumus yang berhubungan dengan berbagai simbolisasi tersebut adalah sebagai berikut :

$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \%$	$\gamma = \frac{W}{V} \text{ t/m}^3$	$e = \frac{V_v}{V_s}$
$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$	$S_r = w \cdot \frac{G_s}{e} \times 100 \%$	$n = \frac{V_v}{V}$

Menurut Dr. Ir. Hendra Jitno, MASC. (1996) tanah ekspansif dipengaruhi oleh 6 faktor utama, yaitu sebagai berikut :

1. Macam dan jumlah kandungan mineral:
 - a. Kaolinite : tidak ekspansif
 - b. Illite : bisa ekspansif
 - c. Montmorillonite : sangat ekspansif
2. Kadar air tanah awal :
 - a. Tanah dengan kadar air tetap relatif stabil;
 - b. Tanah dengan kadar air naik-turun mempunyai sifat tidak stabil, perubahan terjadi (retak-retak kalau kering) dan mengembang kalau terkena air;
 - c. Tanah yang dipadatkan dengan kadar air awal yang rendah akan mengembang lebih banyak saat terkena air dibandingkan dengan tanah dengan kadar air awal tinggi.
3. Tekanan di permukaan tanah :

Tekanan permukaan yang tinggi akan membuat tanah lebih stabil (kurang ekspansif).
4. Kepadatan tanah :
 - a. Tanah ekspansif padat akan mempunyai potensi mengembang yang lebih besar dari tanah yang kurang padat;

- b. Tanah ekspansif yang dipadatkan pada kadar air yang lebih besar (kadar air optimum) akan mempunyai potensi mengembang yang lebih kecil.
5. Suplai air :
Terpengaruh oleh hujan, irigasi dan drainase permukaan.
 6. Evaporasi dan transpirasi
 - a. Tergantung iklim dan vegetasi dan drainase permukaan;
 - b. Adanya retakan-retakan di permukaan tanah sehingga memudahkan penetrasi air ke dalam tanah;
 - c. Adanya lapisan pasir dan gravel pada stratigrafi bawah permukaan sehingga memudahkan air merembes ke bagian atas/bawah lapisan ini.
- Zona aktif dari tanah ekspansif di jelaskan menjadi sebagai berikut :
1. Kadar air tanah di lapisan tanah dekat permukaan tanah berubah-ubah tergantung cuaca. Kedalaman maksimum di mana perubahan kadar air ini terjadi disebut zona aktif;
 2. Daerah yang terletak pada zona aktif ini menderita proses kembang-susut yang paling parah. Di bawah zona aktif, kadar air tanah relatif konstan sehingga tidak ada bahaya kembang-susut tanah.
 3. Semakin besar kedalaman zona aktif ini, semakin parah kerusakan yang ditimbulkannya.

2.2. Identifikasi dan Klasifikasi Tanah Ekspansif

Identifikasi tanah ekspansif pada awal penyelidikan tanah diperlukan untuk melakukan metode pengujian yang lebih tepat di laboratorium.

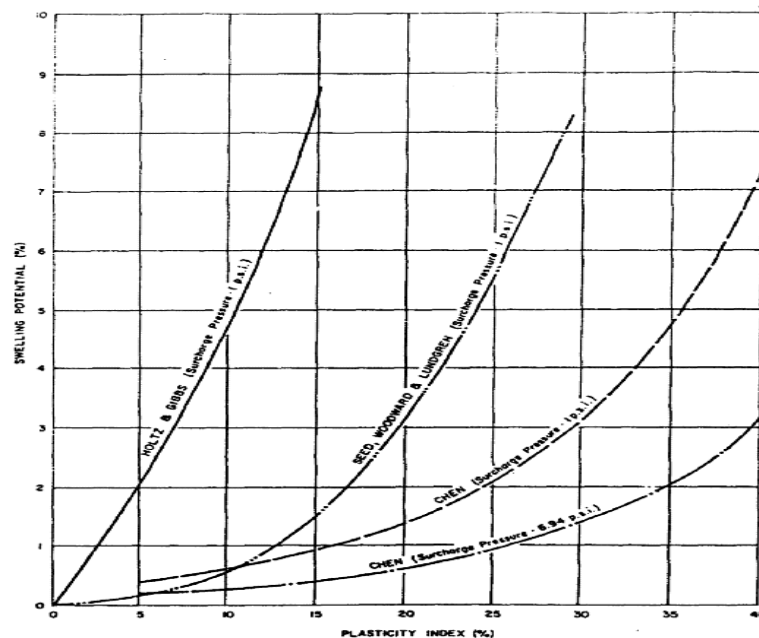
Klasifikasi yang didasarkan pada *index properties* tanah seperti kandungan lempung dan plastisitas adalah yang paling umum diterapkan dalam praktik untuk mengidentifikasi tanah ekspansif.

Index plastisitas (PI) adalah parameter yang paling sering digunakan karena karakteristik plastisitas dan sifat perubahan volume tanah berkaitan erat. Identifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan mencocokkan nilai indeks plastisitas, batas susut, dan *free swell* tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Identifikasi Masalah Tanah Ekspansif (Wiscman, 1985).

Jenis Pengujian	Umumnya tidak ekspansif	Ada masalah ekspansif
<i>Index Plastisitas (PI)</i>	<20	>32
<i>Batas Susut (SL)</i>	>13	<10
<i>Free Swell</i>	<50	>100

Untuk memprediksi potensi pengembangan dari nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Grafik 2.2.



Gambar 2.2 Grafik pengembang Indeks Plastisitas
(Braja M. Das,1990).

Dari kurva di tunjukan ada beda *swelling potensial* yang cukup drastis dengan nilai indeks plastisitas yang sama. Hal ini karena kondisi sampel dan kadar air dari percobaan tiap penelitian tidak sama. Kriteria dari Holtz dan Gibbs (1959) didasarkan pada 38 sampel yang dibiarkan mengembang dari kondisi kering udara hingga ke kondisi jenuh. Kriteria dari Seed (1962) berdasarkan pada tanah yang

dikompaksi, sedangkan Chen (1988) dari tanah asli (*undisturbed sample*) di mana kondisi awal tanah memiliki kadar air alami.

Pemakaian nilai *Atterberg limit* guna memprediksi *Swell* potensial mungkin merupakan metode paling populer disamping pemakaian kadar lempung dari suatu jenis tanah. Holtz dan Gibbs (1956). Klasifikasi tanah ekspansif menurut Holtz dan Gibbs dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Koloid, IP, dan Shrinkage Limit (Holtz dan Gibbs, 1956).

Kadar Koloid (% 0.0001 mm)	IP	Shrinkage limit	% Perubahan volume total	Derajat ekspansif
>28	>35	<11	>30	Sangat tinggi
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Medium
<15	<18	<15	<10	Rendah

Altmeyer (1955) mengabaikan pemakaian prosentase kadar lempung, karena banyak laboratorium tidak menyertakan analisa hidrolisis dalam program test mereka. Altmeyer menyarankan pemakaian nilai shrinkage limit sebagai acuan untuk menentukan derajat ekspansif dari suatu jenis tanah. Klasifikasi tanah ekspansif menurut Altmeyer disajikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit (Altmeyer, 1955).

Linear shrinkage	SL (%)	Swel (%)	Derajat Ekspansif
< 5	> 12	< 0,5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
> 8	< 10	> 1,5	Critical

Chen (1965) mengembangkan korelasi antara prosentase butiran tanah yang lolos ayakan no. 200, *liquid limit* dan jumlah pukulan dari *standard penetration test*

untuk menentukan *swell potential* suatu jenis tanah. Klasifikasi tanah ekspansif menurut Chen (1965) dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Prosentase Butiran Tanah yang Lolos Ayakan no. 200, Liquid Limit dan Standard Penetration Resistance. (Chen, 1965).

% Butiran tanah yang lolos ayakan No.200	Liquid Limit (%)	Standard Penetration Resistant (blow ft)	% Perubahan Volume tanah	Derajat ekspansif
> 95	> 60	> 30	> 10	Sangat tinggi
60 – 95	40 – 60	20 – 30	3 – 10	Tinggi
30 – 60	30 – 40	10 – 20	1 – 5	Sedang
< 30	< 30	< 10	< 1	Rendah

Chen (1988) juga mengemukakan metode *single indeks* untuk mengidentifikasi derajat ekspansif dari suatu jenis tanah berdasarkan indeks plastisitasnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Indeks Plastisitas. (Chen, 1988).

Swell potensial / Derajat Pengembangan	Index Plastisitas	Persentase Liquid Limit	Swelling Pressure (ksf)
Rendah	0 – 15	< 30	1
Medium	10 – 35	34 – 40	3 – 5
Tinggi	20 – 55	40 – 60	5 – 20
Sangat tinggi	> 35	> 60	> 20

Identifikasi tanah ekspansif pada awal penyelidikan tanah diperlukan untuk melakukan metode pengujian yang lebih tepat di laboratorium. Menurut Ir. Hendra

Jitno, MASc.,PhD (1996), identifikasi awal untuk tanah ekspansif antara lain sebagai berikut :

1. Karakteristik Tanah

- a. Mempunyai kadar lempung yang tinggi. Biasanya termasuk tanah liat dengan plastisitas tinggi (CH). Sekalipun demikian, tanah yang termasuk CL (tanah lempung dengan plastisitas rendah) dan MH (lanau dengan plastisitas tinggi) bisa juga ekspansif;
- b. Pada kondisi kering, tanahnya retak-retak dengan retakan lebar dan dalam;
- c. Kuat saat kering, tapi jadi bubur saat basah;
- d. Lengket dan susah dilewati kendaraan saat basah;
- e. Mengandung serpihan-serpihan dan slickensides (permukaan yang licin).

2. Geologi dan Topografi

- a. *hummocky topography* (bukit-lembah dataran rendah);
- b. permeabilitas tanah rendah atau sistim drainase tidak baik.

Identifikasi secara kualitatif dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Berdasarkan korelasi antara *Atterberg Limit* atau persentase koloid dengan *swelling potential*;
2. Hanya bersifat perkiraan, tapi sangat berguna untuk identifikasi awal.

Sedangkan identifikasi secara kuantitatif dapat dilakukan dengan melakukan pengujian di laboratorium dengan beberapa jenis pengujian sebagai berikut :

- a. *Consolidation – swell test*;
- b. *Constant – volume consolidation test*;
- c. *Double – oedometer and simplified oedometer test*.

Klasifikasi yang didasarkan pada *index properties* tanah seperti kandungan lempung dan plastisitas adalah yang paling umum diterapkan dalam praktek untuk mengidentifikasi tanah ekspansif *Plasticity Index* (PI) adalah parameter yang paling sering digunakan karena karakteristik plastisitas dan sifat perubahan volume tanah berkaitan erat.

Berdasarkan data dari penelitian yang dilakukan oleh Ir. Hendra Jitno, MAsc.,PhD (1996), tingkat keekspansifan suatu tanah dapat disajikan menjadi Tabel 2.7, 2.8 dan 2.9, sebagai berikut:

Tabel 2.7 Shrinkage Limit and Linear Shrinkage Guide to Potential Expansion. (Seminar Nasional Geoteknik,1996).

<i>Shrinkage Limit (%)</i>	<i>Linear Shrinkage (%)</i>	<i>Degree of expansion</i>
< 10	> 8	<i>Critical</i>
10 – 12	5 -8	<i>Marginal</i>
> 12	0 -4	<i>Noncritical</i>

Tabel 2.8 Degree of Expansion from Swell Potential and Shrinkage Measurement. (Seminar Nasional Geoteknik, 1996).

<i>Swell Potential (%)</i>	<i>Total Expansion (6,9 kPa load) air dry to saturated</i>	<i>Shrinkage index, SI = LL - SL</i>	<i>Degree of expansion</i>
0 – 1,5	0 - 10	0 - 20	<i>Low</i>
1,5 – 5	10 - 20	20 - 30	<i>Medium</i>
5 - 25	20 - 35	30 - 60	<i>High</i>
> 25	> 35	> 60	<i>Very high</i>

Tabel 2.9 Degree of Expansion from Plasticity Index and Shrinkage Limit, Data from Index Test (based on vertical loading of 6,9 kPa). (Seminar Nasional Geoteknik,1996).

<i>Colloid Content</i>	<i>Plasticity Index (PI)</i>	<i>Shrinkage Limit</i>	<i>Probable expansion (% total vol change)</i>	<i>Degree of expansion</i>
> 28	> 35	< 11	> 30	<i>very high</i>
20-31	25-41	7-12	20-30	<i>high</i>
13-23	15-28	10-16	10-20	<i>Medium</i>
< 15	< 18	> 15	< 10	<i>low</i>

Raman (1967) mengemukakan derajat ekspansif sebagai fungsi dari indeks plastisitas dan shrinkage limit. Klasifikasi tanah ekspansif menurut Raman (1967) disajikan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Derajat Ekspansif Berdasarkan Indeks Plastisitas Shrinkage Limit. (Raman, 1967).

Indeks Plastisitas (%)	Shrinkage Indeks (%)	Derajat ekspansif
< 12	< 15	Rendah
12 – 23	15 – 30	Medium
23 – 32	30 – 40	Tinggi
> 32	> 40	Sangat tinggi

2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*.

Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan; versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M145).

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasi tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 2.11 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

Tabel 2.11 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO). (Braja M. Das, 1990).

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (%) lolos No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah , kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

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

* Untuk A - 7 - 5, $PI \leq LL - 30$

** Untuk A - 7 - 6, $PI > LL - 30$

2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified (USCS)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II.

Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan.

Sistem klasifikasi Unified diberikan dalam Tabel 2.12. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-

organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Tabel 2.12 Sistem Klasifikasi Unified (USCS). (Braja M. Das, 1990).

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Umum	
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan ayakan No. 200	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No.4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200**	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays).
OL				Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
MH			Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.		

	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays)
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

* Menurut ASTM (1982)

** Berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)

2.3 Reaksi Pencampuran antara Tanah dan Semen

2.3.1 Portland Cement

Partikel *portland cement* terdiri dari kristal-kristal kecil yang komposisi utamanya adalah sebagai berikut:

- a. *Tricalcium silicate* (3 CaO SiO_3) sering disebut C_3S
- b. *Dicalcium silicate* (2 CaO SiO_3) sering disebut C_2S
- c. *Tricalcium aluminate* ($3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$) sering disebut C_3A
- d. *Tetracalcium aluminate* ($4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}^2\text{O}_3$) sering disebut C_4AF

Selain itu terdapat juga komposisi kimia lain seperti MgO , Na_2O , K_2O dalam jumlah kecil. Apabila dicampur dengan air maka semen akan terjadi reaksi kimia sehingga mengeras dan membentuk perkuatan. Efek perkuatan tergantung dari:

- a. Semakin banyak bahan C_3S dan C_2S .
- b. Makin halus partikel semen maka luas bidang kontak semakin besar sehingga makin sempurna proses hidrasi.

Stabilisasi tanah dengan semen biasa digunakan untuk pembuatan jalan. Telah terbukti bahwa semen merupakan bahan stabilisator yang baik sebab mampu membuat lapisan tanah menjadi keras dan kecil kembang susutnya oleh karena perubahan kadar air. Adapun reaksi atau proses penyemenan adalah sebagai berikut:

A. Proses utama, meliputi:

1. Proses hidrasi semen yang menghasilkan hasil-hasil hidrasi yang biasa timbul yaitu *silicate hidrat* dan *aluminate hydrate* serta Ca(OH)_2 . Kristal *calcium aluminate hidrai* yang dihasilkan dari proses hidrasi C_3A dan *calcium silicate hidrat* ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) yang dihasilkan dari proses hidrasi C_2S dan C_3S yang berbentuk gel akan segera mengalami proses *setting* dan *hardening*.

Setting = perubahan dari cair ke padat.

Hardening = perkembangan kekuatan atau pengerasan.

Proses tersebut di atas sering disebut penyemenan utama (*primary cementing*). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan di sini akan bereaksi jauh lebih kuat daripada kapur biasa dan akan sangat berpengaruh pada proses sekunder.

2. PH air naik Kenaikan PH air akan memudahkan larutnya silikat-silikat dan aluminataluminat. Hal ini akan berguna sekali pada proses sekunder.

B. Proses Sekunder, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan dalam proses utama akan bereaksi dengan mineral-mineral lempung. Reaksi ini meliputi 2 proses, yaitu:

1. Reaksi seketika (pergantian ion dan flokulasi)

a. Pertukaran kation (*Cation exchange*), dalam penambahan kapur pada tanah, maka akan terjadi Ca^{2+} yang akan mengakibatkan *depression* sistim *double layer* dari partikel tanah liat, setelah reaksi yang pertama ini terjadi maka akan terjadi reaksi berikutnya yaitu flokulasi;

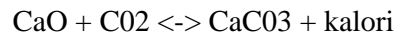
b. Flokulasi (*Flocculation*), flokulasi ini terjadi karena timbulnya gaya tarik antara partikel tanah yang lebih besar daripada gaya tolakan. Dengan teriadinya flokulasi ini maka akan terjadi pula agglomerasi yaitu pembentukan agregat yang lebih besar. Butiran-butiran kasar yang terbentuk ini dengan sendirinya akan menurunkan plastisitas tanah.

2. Reaksi lambat (reaksi *puzzolanic* dan karbonasi)

a. Reaksi *puzzolanic*, reaksi ini dapat dikatakan sebagai reaksi yang terjadi antara kapur dengan silikat atau aluminat sehingga membentuk "*cementing agent* calsium silikat dan calsium aluminat. *Cementing agent* tersebut merupakan suatu masa yang keras dan kaku. Sumber dari silikat dan aluminat adalah lempung itu sendiri. Dengan penambahan kapur pada tanah maka Ph tanah akan naik, dan dengan Ph yang tinggi maka kelarutan silikat dan aluminat bertambah sehingga *cementing agent* dapat dengan mudah terbentuk. Kecepatan reaksi *puzzolanic* tidak hanya tergantung dengan waktu, tetapi juga dipengaruhi oleh konsentrasi bahan-bahan yang bereaksi dan temperatur. Makin tinggi temperatur maka kelarutan dari $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berkurang tetapi kelarutan *silikat dioksida* (SiC^2) bertambah. Sedangkan kecepatan reaksi keseluruhan lebih

dipengaruhi oleh efektifitas konsentrasi silikat daripada konsentrasi Ca_2Oph).

- b. Karbonasi, reaksi karbonasi adalah sebagai berikut :



Selain sementasi butiran-butiran lempung (hasil flokulasi) pada titik kontakannya oleh reaksi *pozzolanic*, dalam proses sekunder ini terjadi pula ikatan-ikatan yang lebih kuat yang dihasilkan antara pasta semen dan partikel-partikel lempung yang menyelimutinya yaitu "kerangka semen *clay*". Hal ini terjadi karena partikel-partikel semen sangat besar dibandingkan dengan partikel-partikel lempung. Kerangka semen *clay* ini kemudian akan dihubungkan dengan partikel-partikel yang bersebelahan dengannya oleh bahan-bahan penyemen tambahan yang dihasilkan oleh reaksi *pozzolanic*.

2.4 Silica Fume

Silica fume yang digunakan adalah berbentuk partikel pasir yang halus. *Silica Fume* merupakan bahan *admixture* dalam pembuatan beton mutu tinggi. Pada penggunaan *Silica fume* untuk beton mutu tinggi tidak ada aturan persentase penggunaan *Silica fume* terhadap campuran semen yang digunakan. Adapun karakteristik dari *silica fume* ketika dicampur dalam beton yaitu:

1. Sebagai partikel pengisi. Karena ukurannya yang kecil yaitu sebesar kurang dari 0.1 mm, maka dapat mengisi rongga yang terbentuk dalam partikel semen.
2. Sebagai *pozzolan* Reaksi kimia dalam beton adalah untuk memperbanyak jumlah *silicate hydrate gel* yang memberi pengaruh memperkuat kekuatan beton dan mengurangi permeabilitas dari beton. Kegunaan *Silica Fume* dalam beton mutu tinggi adalah :
 - a. Meningkatkan kuat tekan beton;
 - b. Meningkatkan kuat geser beton;
 - c. Mengurangi permeabilitas;
 - d. Meningkatkan *durability* beton;
 - e. Meningkatkan ketahanan terhadap serangan kimia;

- f. Meningkatkan ketahanan terhadap erosi atau abrasi. Dalam campuran beton penggunaan yang dianjurkan adalah sebesar 5% sampai 15% dari kadar semen.

2.5 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha perbaikan tanah untuk memperoleh karakteristik tanah yang lebih baik. Perbaikan karakteristik tanah yang lebih baik mencakup:

- a. Stabilitas volumetrik dimana besar kembang susut tanah menjadi berkurang;
- b. Peningkatan kekuatan tanah;
- c. Penurunan permeabilitas tanah untuk mereduksi intrusi air ke dalam tanah yang menyebabkan pengembangan tanah dan penurunan kekuatan tanah;
- d. Penurunan kompresibilitas tanah;
- e. Peningkatan durabilitas tanah terhadap perubahan suhu/cuaca.

Proses stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan berbagai macam cara baik dengan cara mekanis dengan pemadatan tanah dengan menggunakan alat berat, pemberian beban "*preloading*", pembuatan drainase tempat keluarnya air berupa "*vertical drain*" elektroosmosis, dan pemberian bahan aditif maupun kombinasi dari cara-cara tersebut.

Stabilisasi dengan menggunakan bahan kimia dapat dibedakan atas jenis stabilisatornya yakni stabilisator organik dan stabilisator anorganik. Stabilisator anorganik dapat dibagi lagi menjadi stabilisator yang berupa senyawa alkali, stabilisator yang bersifat asam maupun netral.

Stabilisator yang berupa senyawa alkali dan yang bersifat asam bekerja dengan cara bereaksi dengan komponen yang ada di dalam tanah terutama mineral tanah dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat mengikat. Stabilisator yang bersifat netral mengubah karakteristik fisik tanah seperti berat jenis tanah.

Mayoritas masalah yang terjadi pada tanah disebabkan karena interaksi antara air dengan tanah yang tidak diinginkan. Pada umumnya tanah dengan kadar air yang tinggi mempunyai kekuatan yang lebih rendah dan lebih mudah mengalami deformasi dari pada tanah yang sama dengan kadar air yang lebih rendah.

Meningkatnya kadar air pada tanah akan menimbulkan banyak kerugian seperti penurunan kekuatan tanah, pengembangan tanah, penyusutan tanah dikemudian hari

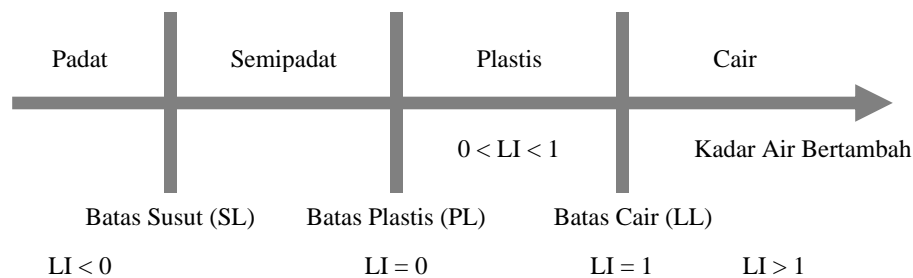
dan sebagainya. Stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan kimia dilakukan dengan tujuan memodifikasi interaksi antara air dengan tanah.

Stabilisasi dengan semen mempunyai manfaat yang sama seperti stabilisasi dengan kapur yaitu menurunkan batas cair (LL), Plastisitas Indeks (PI) dan potensi perubahan volume.

Untuk tanah plastis, stabilisasi dengan semen mempunyai kekurangan dalam hal efektifitasnya dibandingkan stabilisasi dengan kapur. Biasanya stabilisasi dengan menggunakan bahan semen dipakai untuk tanah yang mempunyai reaksi yang jelek terhadap kapur, yaitu tanah berbutir kasar (permeabilitas tinggi, sehingga air bebas mudah diikat).

2.6 Batas – Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat, semi padat, plastis, dan cair, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Batas-batas Atterberg (Braja, 1990).

Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*).

Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas

Atterberg (*Atterberg limits*). Pengujiannya terbagi menjadi tiga jenis pengujian, yaitu sebagai berikut :

1. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis ialah kadar air minimum di mana suatu tanah masih dalam keadaan plastis. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis. Untuk batas plastis yang harus diketahui antara lain sebagai berikut :

- a. Kurang lebih panjang 3 cm terputus dengan diameter 3 mm, maka tanah adalah tipe lempung pekat;
- b. Kurang lebih panjang 3 cm dan kurang atau lebih diameter 3 mm, maka tanah adalah tipe lempung dengan lanau;
- c. Panjang lebih dari 3 cm dan ada retak-retak dengan diameter 3 mm, maka tanah adalah tipe lanau;
- d. Panjang kurang dari 3 cm dengan diameter 3 mm, maka tipe tanah adalah lanau agak berpasir.

2. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair ialah kadar air batas di mana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair.

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut ialah batas di mana tidak akan terjadi perubahan volume pada massa tanah, apabila kadar airnya dikurangi. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mencari kadar air pada batas susut suatu contoh tanah.

Perlu diperhatikan dalam pengujian *Atterberg Limit*, yaitu :

- a. Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (*Plastisitas Indeks (PI) = Liquid Limit (LL) – Plastic Limit (PL)*)
- b. Contoh tanah dinyatakan tidak plastis (*Non Plastis = NP*) bila :
 1. Batas cair atau batas plastis tidak dapat ditentukan;
 2. Batas plastis lebih besar dari pada batas cair ($PL > LL$).

Rumus-rumus yang akan digunakan dalam perhitungan *Atterberg Limit* adalah sebagai berikut :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering}} \times 100 \%$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{Berat}}{\text{Berat Jenis}}$$

$$\text{Shrinkage Limit (SL)} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

Di mana :

W_w = Berat tanah basah

W_d = Berat tanah kering

$$V_w = \text{Volume tanah basah} = \text{Volume air raksa} = \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{Berat Jenis air raksa}}$$

V_s = Volume tanah kering

$$= \text{Volume air raksa yang tumpah} = \frac{W_{hg\ 1} - W_{hg\ 2}}{\text{Berat Jenis air raksa}}$$

ρ_w = Berat volume air = 1 gram/cm³

$$\text{Shrinkage Ratio (SR)} = \frac{W_d}{V_d}$$

Angka-angka batas Atterberg untuk beberapa macam mineral lempung yang paling sering ditemui (menurut Mitchell, 1976) diberikan dalam Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Harga-harga Batas Atterberg untuk Mineral Lempung. (Braja, 1990).

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
Montmorrillonite	100-900	50-100	8,5-15
Halloysite	35-55	30-45	-
Illite	60-120	35-60	15-17
Kaolinite	30-110	25-40	25-29

2.7 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan nomor 4 dengan menggunakan piknometer.

Harga berat spesifik dari butiran tanah (bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga itu dapat ditentukan secara akurat di laboratorium. Tabel 2.14 menunjukkan harga-harga berat spesifik beberapa mineral yang umum terdapat pada tanah.

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan nomor 4 dengan menggunakan piknometer.

Perhitungan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

a. Hitung berat jenis contoh dengan rumus di bawah ini :

$$\text{Specific Gravity (Gs)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Di mana :

W_1 = Berat piknometer (gram)

W_2 = Berat piknometer dan bahan kering (gram)

W_3 = Berat piknometer, bahan dan air (gram)

W_4 = Berat piknometer dan air (gram)

Apabila hasil kedua pemeriksaan berbeda lebih dari 0,03, maka pemeriksaan harus diulang.

b. Ambil harga rata-rata dari hasil kedua pemeriksaan tersebut.

Tabel 2.14 Berat Spesifik Mineral-mineral Penting yang sering dijumpai. (Braja,1990).

Mineral	Berat Spesifik (Gs)
Quartz (kwarsa)	2,65
Kaolinite	2,6
Illite	2,8
Montmorrillonite	2,65-2,80

Halloysite	2,0-2,55
------------	----------

2.8 Pemadatan (*Compaction / Standard Proctor Test*)

Pada pembuatan timbunan tanah untuk jalan raya, banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas (renggang) haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya.

Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan (*embankments*).

Penggilas besi berpermukaan halus (*smooth-wheel rollers*), dan penggilas getar (*vibratory rollers*) adalah alat yang umum digunakan di lapangan untuk pemadatan tanah. Mesin getar dalam (*vibroflot*) juga banyak digunakan untuk memadatkan tanah berbutir (*granular soils*) sampai kedalaman yang cukup besar dari permukaan tanah. Cara pemadatan tanah dari sistem ini disebut *vibroflotation* (pemampatan getar apung).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat.

Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat (lihat Gambar 2.1). Harap dicatat bahwa pada saat kadar air $w = 0$, berat volume basah dari tanah (γ) adalah sama dengan berat volume keringnya (γ_d), atau

$$\gamma = \gamma_{d(w=0)} = \gamma_1$$

Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Misalnya pada $w = w_1$, berat volume basah dari tanah sama dengan :

$$\gamma = \gamma_2$$

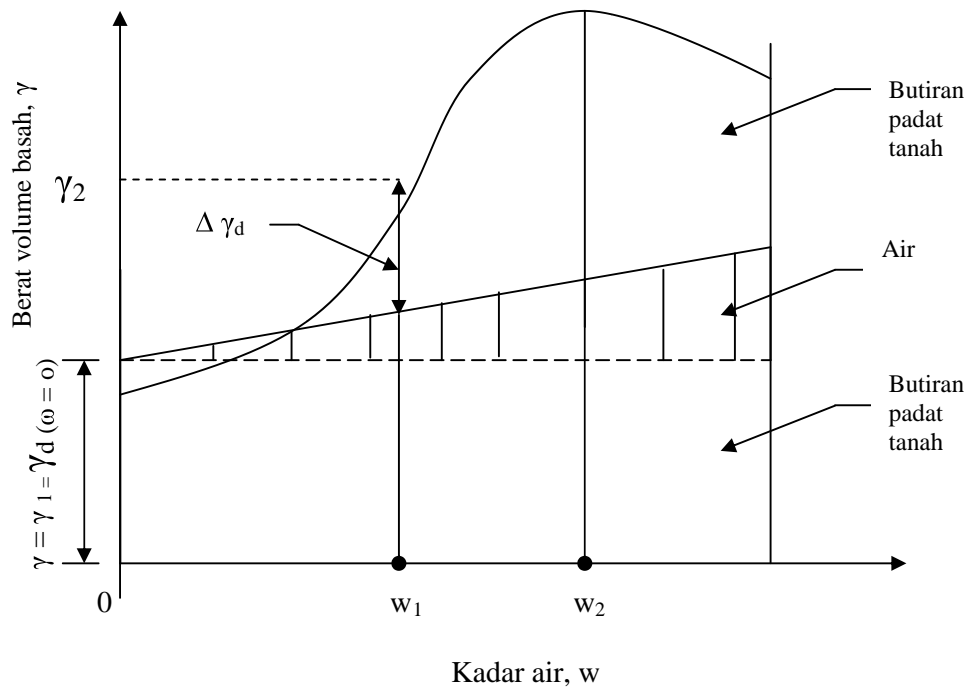
Berat volume kering dari tanah tersebut pada kadar air ini dapat dinyatakan dalam :

$$\gamma_d (\omega = \omega_1) = \gamma_d (\omega = 0) = \Delta \gamma_d$$

Setelah mencapai kadar air tertentu $w = w_2$ (lihat Gambar 2.1), adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah.

Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air di mana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut Kadar air optimum.

Percobaan-percobaan di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah *Proctor Compaction Test* (Uji Pemadatan Proctor, menurut nama penemunya, Proctor, 1933).



Gambar 2.4. Prinsip pemadatan. (Braja,1990)

Perhitungan yang digunakan dalam pengujian pemadatan di laboratorium adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan kadar air campuran:

$$W = \frac{W_w}{W_k} \times 100 \%$$

$$W_b = W_k (1 + w)$$

$$W_k = \frac{W_b}{(1 + w)}$$

Di mana :

W_k = Berat tanah kering (gr)

W_b = Berat tanah basah (gr)

W_w = Berat air (gr)

w = Kadar air (%)

b. Menentukan penambahan volume air:

$$V = \frac{W_x - W_k}{1 + W_k} \times w$$

Di mana:

V = Volume tambahan air (ml)

W_x = Kadar air akhir (%)

W_k = Kadar air awal (%)

W = Kadar air

c. Mencari harga γ_{wet} dan γ_{dry} :

$$\gamma_{\text{wet}} = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_{\text{dry}} = \frac{W_k}{V} = \frac{W}{(1 + W) V} = \frac{\gamma_{\text{wet}}}{(1 + W)}$$

Di mana:

W = Berat tanah (gr)

W_k = Berat tanah kering (gr)

$$\begin{aligned}
 W &= \text{Kadar air (\%)} \\
 V &= \text{Volume (cm}^3\text{)} \\
 \gamma_{\text{wet}} &= \text{Kerapatan basah (gr / cm}^3\text{)} \\
 \gamma_{\text{dry}} &= \text{Kerapatan kering (gr / cm}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

d. Mencari Zero Air Void (ZAV) :

ZAV adalah garis yang menggambarkan hubungan antara berat isi kering dengan kadar air dalam kondisi derajat kejenuhan (Sr) 100 %.

$$\text{ZAV} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot G_s) / S_r}$$

Di mana :

$$\begin{aligned}
 G_s &= \text{Spesific Gravity} \\
 W &= \text{Kadar air (\%)} \\
 \gamma_w &= \text{Berat jenis tanah}
 \end{aligned}$$

e. Mencari harga Compaction Effort (CE) :

$$\text{CE} = \frac{W \cdot H \cdot L \cdot B}{V}$$

Di mana :

$$\begin{aligned}
 \text{CE} &= \text{Compaction Effort} \\
 &= \text{Energi yang dilakukan pada massa tanah (cm gr / cm}^3\text{)}.
 \end{aligned}$$

Digunakan untuk modified proctor :

$$\begin{aligned}
 W &= \text{Berat hammer} = 5 \text{ kg} \\
 H &= \text{Tinggi jatuh} = 45 \text{ kg} \\
 L &= \text{Jumlah lapisan} = 5 \text{ kg} \\
 B &= \text{Jumlah tumbukan per lapisan} \\
 V &= \text{Volume tanah} = 100 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

2.9 Konsolidasi

Bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang sangat tembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air-pori ke luar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, berkurangnya volume tanah tersebut dapat menyebabkan penurunan lapisan tanah itu. Karena air pori di dalam tanah berpasir dapat mengalir ke luar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

Bilamana suatu lapisan tanah lempung jenuh air yang mampu mampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan lempung adalah sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung-lembek perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (yaitu konsolidasi) akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama dibandingkan dengan penurunan segera.

Pemeriksaan konsolidasi satu-dimensi pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi. Pemeriksaan tersebut dilakukan di dalam sebuah konsolidometer (kadang disebut Oedometer). Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan sifat pemampatan suatu jenis tanah, yaitu sifat-sifat perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertical yang bekerja pada tanah tersebut. Perhitungan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Tinggi efektif benda uji :

$$H_t = \frac{W_s}{A \times G}$$

Di mana :

A = Luas benda uji

G = Berat jenis tanah

W_s = Berat contoh tanah kering

2. Menghitung koefisien konsolidasi C_v :

- a. Gambarkan grafik antara penurunan (sebagai ordinat dan dengan skala linier) dan akar waktu dalam menit (sebagai absis) untuk setiap (semua) tahap beban.
- b. Hitung angka pori contoh tanah pada akhir setiap tahap beban.

$$e = \frac{H_o - H_t}{H_t}$$

Di mana : H = tebal benda uji pada akhir setiap beban (cm).

Hasil perhitungan e ini dibuat dalam suatu tabel.

- c. Gambarkan grafik hubungan antara angka pori e (sebagai ordinat dan dengan skala linier) dengan tekanan normal σ (sebagai absis dengan skala logaritma). Harga indeks kompresi C_c adalah kemiringan bagian lurus dari grafik e – log.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma}$$

3. Derajat kejenuhan sebelum dan sesudah percobaan :

$$S_r = \frac{W \cdot G}{e}$$

Catatan :

1. Tahap beban yang dilaksanakan umumnya adalah sedemikian sehingga tekanan yang terjadi sebesar 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00 dan 8,00 kg/cm². Tahap beban ini mungkin perlu ditambah lagi tergantung pada sifat tanah. Pada dasarnya sekurang-kurangnya tahap beban harus sedemikian sehingga tiga tahap berturut yang terakhir harus telah mendapat grafik e - log σ yang merupakan garis lurus.
2. Biasanya pelaksanaan pemeriksaan pengembangan, tahap-tahap pengurangan beban cukup dengan setiap kali dikurangi sehingga menjadi ¼ dari sebelumnya. Sehingga jika tahap beban sampai 8,00 kg/cm² atau cukup dengan 2,0 dan 0,25 kg/cm². setiap tahap beban tersebut dibiarkan sekurang-kurangnya selama 4 jam. Sedangkan pembacaan arloji ukur yang dicatat cukup satu kali untuk masing-masing tahap beban, yaitu pada akhir jam 4.
3. cara alternatif untuk mencari koefisien konsolidasi adalah grafik antara penurunan dengan waktu dengan skala logaritma.

Dengan cara ini C_v dihitung berdasarkan t_{50} dan rumusnya :

$$C_v = \frac{0,197 d}{t_{50}} \text{ (cm}^2/\text{dt)}$$

4. Dari percobaan konsolidasi, sebagai pengganti koefisien konsolidasi C_c dapat dihitung kompresibilitas a_v .

$$A_v = \frac{0,435 C_c}{\sigma} \text{ (cm}^2/\text{kg)}$$

Yang nilainya berbeda-beda untuk tiap-tiap tekanan rata-rata antara 2 tahap beban.

Atau dapat pula dihitung koefisien perubahan volume m_v dengan rumus :

$$M_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \text{ (cm}^2/\text{dt)}$$

5. Dari hasil percobaan konsolidasi dapat dihitung permeabilitas tanah setelah mengalami konsolidasi bagi setiap tahap beban dengan rumus :

$$k = C_v \cdot M_v \cdot \gamma_w \text{ (cm dt)}$$

Di mana :

$$\gamma_w = \text{Kadar air yang praktis dapat diambil} = 1$$

$$e_0 = \text{Angka pori contoh tanah pada awal tahap beban.}$$

2.10 Kadar Air (*Water Content*)

Pengujian kadar air tanah dimaksudkan untuk menentukan kadar air dari suatu sampel tanah. Yang dimaksud dengan kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut dinyatakan dalam persen. Berat dari butiran padat dan air dapat dinyatakan sebagai :

$$W_s = G_s \cdot \gamma_w$$

$$W_w = w \cdot W_s = w \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

Di mana : G_s = Berat jenis butiran tanah;

w = Kadar air;

γ_w = Berat volume air.

Dalam sistem Inggris, berat volume air adalah $62,4 \text{ lb/ft}^3$; dalam sistem SI, berat volume air adalah $9,81 \text{ kN/m}^3$.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, kadar air tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \% = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \%$$

Di mana : W_1 = Berat cawan;

W_2 = Berat cawan + Berat tanah basah;

W_3 = Berat cawan + Berat tanah kering;

W = Kadar air;

M_w = Berat air;

M_s = Berat tanah kering.

2.11 Pengujian Triaksial *Unconsolidated Undrained*

Untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (θ) dari suatu contoh tanah dapat dilakukan percobaan triaksial. Pada percobaan triaksial terdapat 3 (tiga) macam percobaan triaksial, yaitu :

1. U.U. (*Unconsolidated Undrained*);
2. C.U. (*Consolidated Undrained*);
3. C.D. (*Consolidated Drained*);

Pada penelitian ini yang dilakukan adalah system U.U. (*unconsolidated undrained*), di mana tiap sampel tidak dikonsolidasi dahulu, kemudian pada saat pembebanan air pori tertahan (tidak mengalir). Waktu pelaksanaan pengujian dengan system U.U. ini waktunya relatif singkat.

Pada uji U.U., kita tidak diijinkan mengalirkan air dari dan ke benda uji selama memberikan tekanan sel σ_3 . Benda uji tadi kita uji sampai runtuh dengan memberikan tegangan deviator $\Delta\sigma_d$, (di arah aksial) tanpa memperbolehkan pengaliran air (dari dan ke dalam benda uji).

Pertimbangan yang terpenting dalam praktik adalah tentang kecepatan perubahan tegangan total (akibat adanya pekerjaan konstruksi) yang digunakan yang berhubungan dengan hilangnya kelebihan air pori, di mana hal ini berkaitan dengan permeabilitas tanah tersebut.

Keadaan tak terdrainasi digunakan bila tidak ada kehilangan yang berarti selama saat perubahan tegangan total. Hal ini biasanya terjadi pada tanah yang permeabilitasnya rendah seperti lempung, dan terjadi segera sesudah konstruksi selesai dibangun.

2.12 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio adalah kelanjutan dari uji pemadatan proctor sehingga pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel tanah yang telah dipadatkan dengan pemadat proctor. Pengujian ini dimaksudkan untuk dapat mengetahui nilai CBR pada kepadatan dan kadar air tertentu. Pengujian CBR terbagi menjadi 2 yaitu CBR *soaked* (terendam) dan CBR *unsoaked* (tidak terendam). Perbedaan pengujian CBR ini hanya terletak pada kondisi tanah yang akan diujikan.

Untuk pengujian CBR *soaked*, tanah berada dalam keadaan terendam air selama 4 hari agar dapat diukur pengembangannya setiap hari. Untuk pengujian CBR *unsoaked*, tanah dalam keadaan tidak terendam. Hipotesis awal yang diperkirakan apabila tanah ekspansif dicampurkan dengan campuran semen dan *silica fume* nilai CBR tanah akan meningkat. Klasifikasi tanah dasar berdasarkan nilai CBR dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Klasifikasi Tanah Dasar.(Tugas Akhir Turmudi, 1990).

Nilai CBR	Tingkatannya (Kategori)	Penggunaan	Klasifikasi USCS	ASSHTO
0 – 3	Sangat buruk	Sub grade	OH, Ch, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Buruk sampai sedang	Sub grade	OH, Ch, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Sedang	Sub grade	OL, CL, ML	A2, A4, A5, A7
20 – 50	Baik	Base, Sub Base	Gravel	A1, A2 – 5, A2, - 6

> 50	Sangat Baik	Base	Gravel	A1, A2, A3
------	-------------	------	--------	------------

2.13 Referensi Penggunaan Semen Portland dan Silica Fume

Tanah ekspansif yang memiliki sifat kembang susut yang besar dapat menimbulkan gangguan pada bangunan di atasnya. Untuk mengatasi hal ini biasanya diatasi dengan perbaikan tanah. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh penambahan semen dan silica fume terhadap sifat tanah ekspansif.

Ada empat campuran yang digunakan, yaitu 5% semen dengan 0% silica fume, 5% semen ditambah 10% silica fume, 5% semen ditambah 20% silica fume, dan 5% semen ditambah 30% silica fume. Masing-masing campuran dicoba dengan waktu curing 7 hari dan 14 hari. Berdasarkan pengamatan dari percobaan yang telah dilakukan, yaitu dari referensi tugas akhir sebelumnya oleh Luis Tono Aspari (21499080) dan Sutikno Gautama (21499107), Universitas Kristen Petra di Surabaya yang berjudul "Pengaruh Penambahan Semen Portland dan Silica Fume Terhadap Sifat Tanah Ekspansif" dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Penambahan semen dan *silica fume* memberi pengaruh dapat meningkatkan nilai CBR;
2. Nilai CBR 0.1" lebih besar daripada nilai CBR 0.2";
3. Untuk penambahan semen dan *silica fume* 30% terjadi peningkatan nilai CBR tertinggi;
4. Nilai CBR meningkat seiring lamanya curing;
5. Penambahan semen 5% dan *silica fume* 30% mampu menurunkan *swelling pressure* sebesar 900% dari tanah asli;
6. Semakin lama masa curing maka terjadi penumman *swelling pressure*;
7. Penambahan semen dan *silica fume* dapat mengurangi koefisien permeabilitas dari 1.95 E-07 cm/det pada tanah asli menjadi 1.66 E-08 cm/det pada tanah yang dicampur 5% semen dan 30% *silica fume*.[]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penjelasan Pengujian

Untuk mewujudkan tujuan dari penulisan tugas akhir ini dilakukan beberapa pengujian. Pengujian yang dilakukan harus memenuhi standard yang telah ditetapkan. Dalam pengujian ini standard yang digunakan yaitu menurut standard ASTM (*American Society for Testing and Material*). Daftar pengujian berikut nomor standard ASTM yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Standard ASTM yang Digunakan dalam Pengujian.

No	Jenis Pengujian	Nomor Standard ASTM
1.	<i>Specific Gravity (GS)</i> (pengujian Berat Jenis tanah)	D-854-58
2.	<i>Liquid Limit Test</i> (pengujian batas cair)	D-424-74
3.	<i>Plastic Limit Test</i> (pengujian batas plastis)	D-423-66
4.	<i>Shrinkage limit</i> (pengujian batas susut)	D-427
5.	<i>Water Content</i> (pengujian kadar air tanah asli)	D-2216-71
6.	<i>Standard Proctor Test</i> (pengujian pemadatan standard)	D-558
7.	<i>California Bearing Ratio (CBR) Soaked</i>	D-1883-87
8.	<i>Triaxial Test (Unconsolidated Undrained)</i>	D-2664-86
9.	<i>Free Swell Test</i>	D-2435

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Mercu Buana dan juga laboratorium Tanah dan Jalan Raya Departemen Pekerjaan Umum. Banyaknya spesimen yang disiapkan untuk melakukan berbagai pengujian di atas dapat disajikan di dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 : Jumlah spesimen yang disiapkan dari masing-masing pengujian.

No	Jenis Percobaan	Jumlah Spesimen	
		Pengujian Tanah Asli	Pengujian setelah distabilisasi
1.	<i>Specific Gravity</i> (GS) (pengujian Berat Jenis tanah)	2	8
2.	<i>Liquid Limit Test</i> (pengujian batas cair)	4	16
3.	<i>Plastic Limit Test</i> (pengujian batas plastis)	2	8
4.	<i>Shrinkage limit</i> (pengujian batas susut)	4	16
5.	<i>Moisture Content</i> (pengujian kadar air tanah asli)	2	–
6.	<i>Standard Proctor Test</i> (pengujian pemadatan standard)	8	8
7.	<i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>Soaked dan Unsoaked</i>	2	8
8.	<i>Triaxial Test (Unconsolidated Undrained)</i>	3	3
9.	<i>Free Swell Test</i>	2	2

3.2 Material Pengujian

Dalam percobaan ini diperlukan bahan-bahan penunjang sebagai berikut :

1. Tanah Ekspansif. Tanah yang digunakan sebagai benda uji adalah tanah ekspansif yang berasal dari Perumahan Sentosa Cikarang;
2. Semen. Menggunakan semen Tiga Roda yang banyak dijual di pasaran;
3. *Silica Fume*. Menggunakan *silica fume* yang berasal dari perusahaan kimia;
4. Air. Menggunakan air yang berasal dari laboratorium Mekanika Tanah Universitas Mercu Buana;

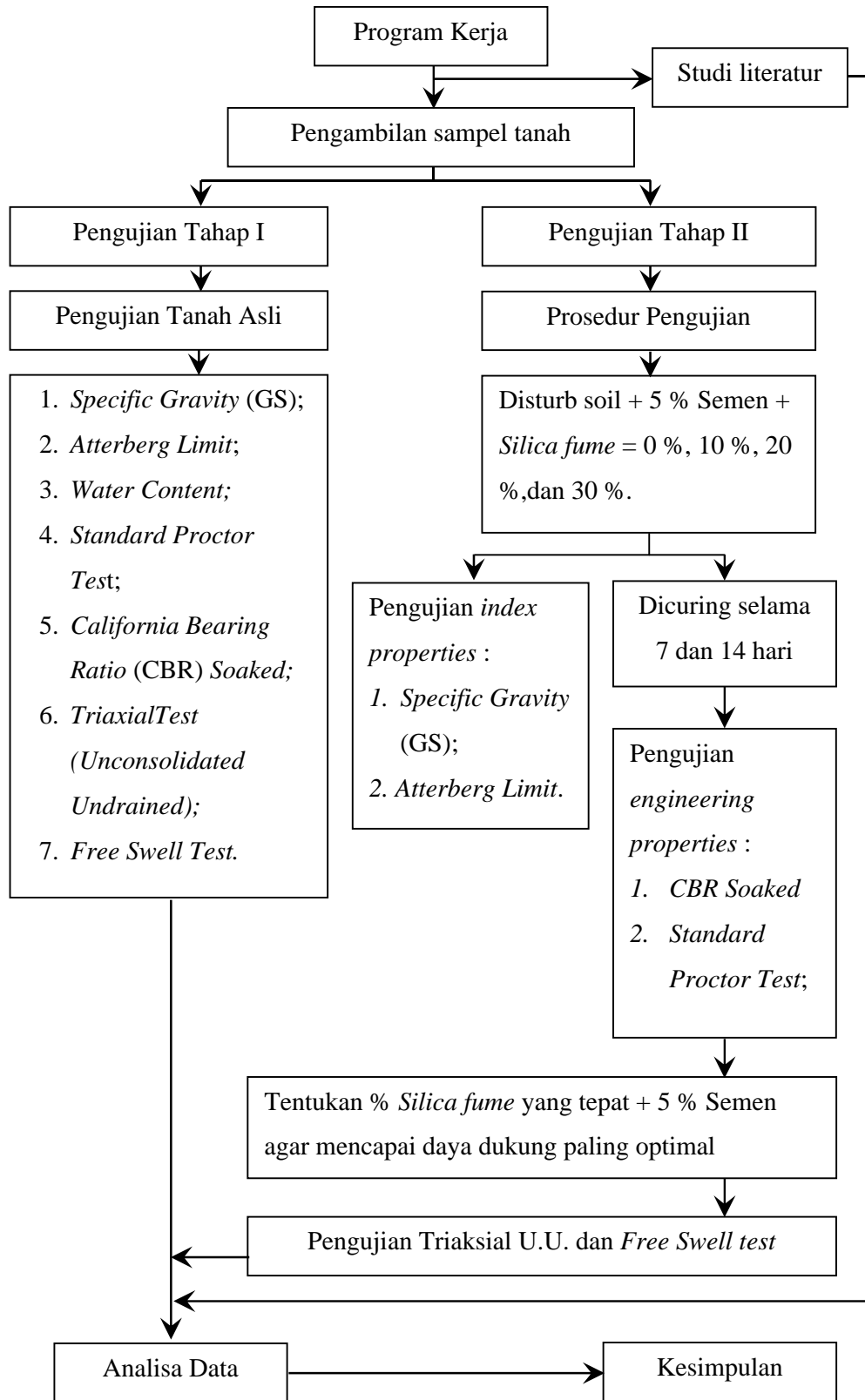
3.3 Langkah Pengujian

Mula-mula dilakukan pengujian karakteristik tanah asli sesuai dengan kondisi di lapangan untuk diketahui berbagai parameter *index properties* tanahnya.

Pada pengujian *index properties* tanah asli maupun campuran, tanah yang digunakan yaitu tanah yang lolos saringan nomor 40 ASTM. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian berat jenis tanah, pengujian batas-batas atterberg dan pengujian kadar air tanah asli. Setelah diketahui karakteristik tanah asli, tanah ekspansif akan diuji sifat-sifat teknisnya (*engineering properties*) dengan melalui pengujian pemadatan standard, *CBR soaked test* (CBR terendam), *triaxial test u.u.*, dan *free swell test*. Untuk pengujian stabilisasi, tanah ekspansif akan dikeringkan dengan oven untuk kemudian dihaluskan dan disaring dengan saringan nomor 4 ASTM lalu dicampur semen dan *silica fume*.

Untuk pengujian *index properties* tanah campuran, tanah yang telah dicampur dengan semen dan *silica fume* langsung diuji tanpa melalui masa *curing*. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian berat jenis dan pengujian *atterberg limit*. Untuk pengujian *engineering properties* tanah campuran (CBR *soaked* dan pemadatan standard), tanah yang telah diaduk rata ditambahkan air dengan jumlah optimum yang didapatkan dari pengujian pemadatan standard tanah asli. Setelah merata, tanah ekspansif harus melalui waktu *curing* dengan variasi waktu 7 dan 14 hari sebelum dilakukan pengujian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu setelah tanah mengalami pencampuran dengan semen dan *silica fume*.

Secara Skematik program kerja dari seluruh pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skematik Program Kerja dari Pengujian.

Pengujian yang dilakukan untuk tanah yang telah dicampur semen dan *silica fume* lalu dicuring dengan pengujian CBR *soaked test* dan *standard proctor test*.

Dari keempat jenis campuran dan kedua variasi waktu yang berbeda tersebut akan diperoleh persentase *silica fume* yang optimum untuk stabilisasi tanah ekspansif. Baru kemudian campuran tanah yang paling optimal daya dukungnya tersebut akan melalui pengujian triaksial u.u. dan *free swell test*.

Banyaknya sampel tanah, *silica fume*, dan semen yang dibutuhkan untuk seluruh pengujian stabilisasi tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Jumlah tanah, semen dan *silica fume* untuk Stabilisasi.

No	Jenis Pengujian	Banyak Spesimen	Berat Tanah (gr)		Berat 5% Semen (gr)	Berat Silica Fume (gr)			
			Tiap spesimen	Tiap pengujian		0 %	10 %	20 %	30 %
1.	<i>Specific Gravity</i>	8	20	160	8	0	0,8	1,6	2,4
2.	<i>Liquid Limit dan Shrinkage Limit</i>	16	30	480	24	0	2,4	4,8	7,2
3.	<i>Plastic Limit Test</i>	8	30	240	12	0	1,2	2,4	3,6
4.	<i>CBR Soaked dan Standard Proctor Test</i>	8	3500	28000	1400	0	140	280	420
5.	<i>Triaxial U.U.</i>	3	1000	3000	150	0	15	30	45
6.	<i>Free Swell Test</i>	2	1000	2000	100	0	10	20	30
Berat Total				33.880	1.694	1.016,4			

3.4 Peralatan dan Prosedur Pengujian

Tanah ekspansif dari Perumahan Sentosa Cikarang diambil dalam keadaan terganggu (*undisturb sample*) dan kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan ditutup rapat untuk menjaga kelembaban dan kadar air tanahnya.

Untuk mempermudah pencampuran tanah ekspansif dengan kapur dan abu sekam padi, terlebih dahulu tanah yang telah dicari kadar airnya (W_c lapangan) dikeringkan dengan oven lalu kemudian dihaluskan dan disaring dengan menggunakan saringan nomor 4 untuk *engineering properties* dan saringan nomor 40 untuk *index properties*.

Setelah itu baru tanah dicampur dengan semen dan *silica fume* dan ditambahkan air sesuai dengan kadar air optimal dari pengujian pemadatan.

Selanjutnya tanah yang telah dicampur dengan semen dan *silica fume* dan air lalu dipadatkan dengan pemadat standard metode B (tinggi jatuh 30,5 cm dengan berat = 2,5 kg, ditumbuk sebanyak 56 kali tumbukan dan terdiri dari 3 lapisan untuk mold berdiameter $\pm 15,2$ cm dan tinggi $\pm 11,6$ cm) dan dicetak sesuai dengan kebutuhan masing-masing pengujian.

Tanah yang telah dicetak lalu dimasukkan ke dalam tempat kedap udara selama waktu *curing* yang diinginkan untuk kemudian dilakukan pengujian. Jalannya percobaan dari tiap pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Berat Jenis Tanah (Specific Gravity)

Untuk pengujian berat jenis tanah, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Piknometer dengan kapasitas minimum 100 ml;
- b. Oven yang dilengkapi dengan pengaturan suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$;
- c. Neraca dengan ketelitian 0,01 gram;
- d. Saringan nomor 40;
- e. Alat penumbuk;
- f. Pipet;

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Cuci piknometer dengan air dan keringkan. Contoh tanah dikeringkan dalam oven selama 24 jam kemudian ditumbuk dan diayak dengan saringan nomor 40;

- b. Timbang piknometer dengan berat W_1 , kemudian piknometer diisi dengan tanah yang telah dikeringkan setinggi seperempat dari volume piknometer lalu timbang kembali (W_2);
- c. Piknometer yang berisi tanah kemudian di isi dengan air sampai mencapai dua pertiga volume piknometer lalu piknometer tersebut digoncangkan sampai gelembung udara yang terperangkap di dalam tanah ke luar;
- d. Didihkan isi piknometer dengan hati-hati selama minimal 10 menit, dan miringkan botol sekali-sekali untuk membantu mempercepat pengeluaran gelembung udara yang tersekap;
- e. Setelah dioven, diamkan dalam suhu ruang atau direndam dalam bejana air sampai suhunya konstan;
- f. Sesudah suhu konstan, tambahkan air seperlunya sampai tanda batas atau sampai penuh;
- g. Tutuplah piknometer, keringkan bagian luarnya dan timbang dengan ketelitian 0,01 gram (W_3);
- h. Ukur suhu dari isi piknometer dengan ketelitian 1°C ;
- i. Bila isi piknometer belum diketahui maka tentukan isinya dengan cara kosongkan piknometer dan bersihkan. Isi piknometer dengan air sampai batas piknometer lalu keringkan bagian luarnya dan timbang dengan ketelitian 0,01 gram (W_4);
- j. Untuk pengujian tanah yang telah distabilisasi, dibuat 2 buah spesimen tiap variasi campuran sebagai perbandingan dan lakukan prosedur yang sama seperti di atas;
- k. Hitung berat jenis dari tanah ekspansif tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

2. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Untuk pengujian batas cair, alat-alat yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- a. Casagrande;
- b. Alat pembuat alur (*grooving tool*);

- c. Mangkok porselin;
- d. Neraca dengan ketelitian 0,01 gram;
- e. Cawan alumunium minimal 4 buah;
- f. Spatula;
- g. Pipet;
- h. Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$.

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Timbang berat tiap cawan dengan menggunakan neraca (W1);
- b. Contoh tanah yang telah dioven, dihaluskan, dan disaring dengan saringan nomor 40 ASTM dimasukkan ke dalam mangkok porselin dan dicampur dengan air sedikit demi sedikit sambil diaduk-aduk dengan spatula sampai rata;
- c. Letakkan spesimen tanah di atas menguk dari alat casagrande dan diratakan dengan kedalaman 1 cm menggunakan spatula;
- d. Buat geratan pada tanah tersebut tegak lurus permukaan mangkok di bagian tengahnya. Geratan ini meninggalkan alur selebar kurang lebih 0,5 in (12,7 mm);
- e. Putar alat casagrande ini dengan kecepatan konstan dan hitung jumlah pukulan yang dibutuhkan sampai alur menutup;
- f. Lakukan percobaan beberapa kali dengan sedikitnya 2 kali dengan jumlah pukulan di bawah 25 pukulan dan 2 kali dengan jumlah pukulan di atas 25 pukulan.

Bila alur menutup sebelum 20 pukulan, berarti tanah terlalu cair dan harus diulang dengan menambahkan tanah lagi.

Sedangkan bila alur menutup di atas 30 pukulan, berarti tanah terlalu padat maka harus diulang dengan menambah air secukupnya dengan menggunakan pipet;

- g. Keempat contoh tanah yang sudah memenuhi syarat di atas diambil dan dimasukkan ke dalam cawan yang sebelumnya sudah ditimbang dan diolesi dengan pelumas agar tidak lengket lalu timbang masing-masing cawan yang berisi tanah basah tersebut (W2);

-
- h. Masukkan tanah basah di dalam cawan tersebut ke dalam oven bersuhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ dalam waktu 24 jam;
 - i. Setelah kering oven, tanah dalam cawan tersebut didiamkan beberapa saat sampai suhunya konstan lalu tanah kering oven tersebut ditimbang lagi dengan menggunakan neraca (W_3);
 - j. Hitung kadar air tiap spesimen dan hasilnya dimasukkan ke dalam grafik skala logaritma dengan koordinat jumlah pukulan sebagai absis dan kadar air sebagai ordinatnya. Untuk kadar air dari tiap sampel dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \% = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \%$$

Keterangan :

W = Kadar air;

M_w = Berat air;

M_s = Berat tanah kering.

- k. Hubungkan titik-titik dari keempat spesimen yang telah diplot ke dalam grafik menjadi sebuah garis dan cari kadar air yang optimum (W_{optimum}) yaitu pada pukulan ke 25.
 - l. Untuk pengujian tanah yang telah distabilisasi, dibuat 4 buah spesimen tiap variasi campuran dan lakukan prosedur yang sama seperti di atas;
3. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*)
- Untuk pengujian batas plastis, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :
- a. Plat kaca berukuran 45 cm x 45 cm x 0,9 cm;
 - b. Oven yang dilengkapi dengan pengaturan suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$;
 - c. Neraca dengan ketelitian 0,01 gram;
 - d. Saringan nomor 40;
 - e. Mangkok porselin;
 - f. Pipet;
-

g. Spatula;

h. Cawan alumunium dan tutupnya.

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Masukkan tanah ke dalam mangkok porselen lalu campurkan dengan air sedikit demi sedikit sambil diaduk rata;

b. Setelah kadar air cukup merata, buatlah bola-bola tanah dari benda uji tersebut sebesar 8 gram, kemudian bola-bola tersebut digeleng di atas pelat kaca.

Pengelengan dilakukan dengan telapak tangan dengan kecepatan 80-90 gelengan per menit;

c. Penggelengan dilakukan terus sampai benda uji membentuk batang dengan diameter 3 mm. Kalau pada waktu penggelengan itu ternyata sebelum benda uji mencapai diameter 3 mm sudah retak, maka benda uji disatukan kembali, ditambah air sedikit dan diaduk sampai merata.

Jika ternyata penggelengan bola-bola itu bisa mencapai diameter lebih kecil dari 3 mm tanpa menunjukkan retakan-retakan, maka contoh perlu dibiarkan beberapa saat di udara, agar kadar airnya berkurang sedikit;

d. Pengadukan dan penggelengan diulangi terus sampai retakan-retakan itu terjadi tepat pada saat gelengan mempunyai diameter 3 mm;

e. Tanah yang telah digeleng dibuat sebanyak 20 gram lalu dimasukkan ke dalam cawan alumunium untuk kemudian dioven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}$ C selama 24 jam lalu ditimbang kembali berat keringnya agar diketahui kadar air pada keadaan batas plastis;

f. Dari pengujian nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL), Indeks plastisitasnya (PI) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PI = LL - PL$$

g. Untuk pengujian tanah yang telah distabilisasi, dibuat 2 buah spesimen tiap variasi campuran sebagai perbandingan dan lakukan prosedur yang sama seperti di atas;

Parameter yang didapatkan dari pengujian batas cair dan batas plastis yaitu LL dan PL sehingga dapat dihitung besarnya PI. Nilai plastisitas indeks (PI)

dan batas cair (LL) tersebut kemudian di plot ke dalam bagan plastisitas untuk dicari simbol kelompoknya.

Dari simbol kelompok yang sudah didapatkan kemudian dapat dijelaskan karakteristiknya dengan menggunakan Sistem Klasifikasi Univied (USCS) menurut ASTM (1982) dan Sistem klasifikasi AASHTO (1929).

4. Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Untuk pengujian batas susut, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Spesimen tanah yang telah kering oven dari pengujian batas cair (4 spesimen) tanpa cawan yang telah diketahui berat tanah basah (W_w) dan berat tanah keringnya (W_d);
- b. Air raksa;
- c. Neraca dengan ketelitian 0,01 gram;
- d. Pelat kaca kecil berkaki tiga;
- e. Cawan kaca (cawan 1 yang berukuran besar sebagai tempat penampung air raksa yang tumpah dan cawan 2 yang lebih kecil sebagai tempat air raksa diisi penuh) dan kaca penekannya.

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Bersihkan semua alat dari tanah dan kotoran lainnya;
- b. Dirikan pelat kaca berkaki tiga dan satukan dengan cawan kaca 1 lalu seimbangkan;
- c. Isi cawan kaca 2 dengan air raksa sampai hampir tumpah kemudian ratakan dengan kaca penekannya;
- d. Timbang air raksa yang tepat mengisi cawan kaca 2 lengkap dengan cawannya kemudian kurangi dengan berat cawannya (W_{hg1});
- e. Setelah ditimbang, letakkan cawan kaca 2 yang telah terisi penuh dengan air raksa dan letakkan di atas cawan kaca 1;
- f. Letakkan spesimen tanah kering oven (spesimen 1) dari pengujian batas cair di atas cawan 2 dan biarkan terapung di atas air raksa yang terisi penuh;
- g. Tekan cawan kaca 2 yang telah diletakkan spesimen tanah kering di atasnya dengan menggunakan kaca penekan sampai kaca penekan tepat

- menutup cawan kaca 2 dan air raksa yang tumpah keluar ditampung oleh cawan kaca 1;
- h. Buka kaca penutupnya lalu ambil tanah keringnya, lalu timbang air raksa yang masih berada di dalam cawan kaca 2 dan kurangi dengan berat cawan kacanya (Whg 2);
 - i. Volume tanah kering (Vd) adalah volume air raksa yang tumpah dapat dihitung dengan cara mengurangkan Whg 1 dengan Whg 2 lalu kemudian bagi dengan berat jenis air raksa (13,35);
 - j. Isi cawan alumunium dari spesimen 1 yang digunakan pada pengujian batas cair dengan air raksa sampai penuh dan ratakan dengan kaca perata dan timbang air raksa tersebut tanpa cawan alumuniumnya. Kemudian berat air raksa yang ditimbang tersebut dibagi dengan berat jenis air raksa dan didapatkan volume tanah basah (Vw);
 - k. Lakukan hal yang sama untuk spesimen 2,3, dan 4;
 - l. Batas susut (SL) dan Shrinkage Ratio (SR) dari masing-masing spesimen dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$SL = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{A} \times 100 \%$$

$$SR = \frac{W_d}{V_d}$$

(ρ_w adalah berat volume air = 1 gram/cm³)

- m. Setelah masing-masing spesimen dihitung batas susut dan rasio susutnya, lalu hitung nilai batas susut rata-rata dan ratio susut rata-rata dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$SL_{rata-rata} = \frac{(SL 1 + SL 2 + SL 3 + SL 4)}{4}$$

$$SR_{rata-rata} = \frac{(SR 1 + SR 2 + SR 3 + SR 4)}{4}$$

- n. Untuk pengujian tanah yang telah distabilisasi, dibuat sama seperti pengujian *liquid limit* tanah campuran, yaitu 4 spesimen tiap variasi campuran.

5. Pengujian Kadar Air (*water content*)

Untuk pengujian kadar air, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Oven yang dilengkapi dengan pengaturan suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$;
- b. Cawan kedap udara dan tidak berkarat, dengan ukuran yang cukup;
- c. Neraca dengan ketelitian 0,01 gram;
- d. Desikator.

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Bersihkan semua peralatan dari kotoran yang menempel pada alat-alat yang akan dipergunakan;
- b. Timbang cawan (W_1);
- c. Isi cawan dengan contoh tanah basah (tanah yang asli sesuai dengan kondisi di lapangan) lalu timbang (W_2);
- d. Keringkan contoh tanah basah di dalam oven dengan suhu $105-115^\circ \text{C}$ selama 24 jam;
- e. Dinginkan tanah kering oven + cawan di dalam desikator kemudian tanah + cawan tersebut ditimbang (W_3);
- f. Percobaan dilakukan lebih dari satu kali untuk mengambil nilai rata-rata;
- g. Data dari pengujian di laboratorium kemudian dapat diolah untuk mencari kadar airnya dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \% = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \%$$

Di mana : W_1 = Berat cawan;

W_2 = Berat cawan + Berat tanah basah;

W_3 = Berat cawan + Berat tanah kering;

W = Kadar air;

w = Berat air;

M_s = Berat tanah kering.

6. Pengujian Pemadatan standard (*standard proctor test*)

Untuk pengujian pemadatan standard, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Oven yang dilengkapi dengan pengaturan suhu untuk memanasi sampai 100 - 105° C;
- b. Hammer standard dengan tinggi jatuh 30,5 cm dan berat = 2,5 kg;
- c. Timbangan dengan ketelitian 1 gram;
- d. Mold standard lengkap dengan *collar* dan *base plate*;
- e. Saringan nomor 4 ASTM;
- f. Jangka sorong;
- g. Dial pengukur swelling;
- h. Extruder atau alat pengeluar sampel;
- i. Plat baja perata atau pemotong sampel;
- j. Talam, semprotan air dan gelas ukur;
- k. Kuas dan pelumas.

Prosedur pengujian pemadatan untuk tanah asli adalah sebagai berikut :

- a. Ambil tanah kering alami kurang lebih 16 kg;
- b. Tumbuk dan haluskan tanah tersebut dengan palu karet, lalu diayak dengan menggunakan saringan nomor 4;
- c. Ambil tanah yang lolos saringan nomor 4 sebanyak minimal 5 kantong plastik dengan berat tiap kantong 2,5 kg;
- d. Campurlah tanah dengan air sedikit demi sedikit sampai merata dengan menggunakan talam besar. Persentase air yang dicampurkan ke dalam tanah yaitu 0 %, 4 %, 8 %, 12 %, 16 %, 20 %, 22 %, dan 25 %;
- e. Peramlah tanah yang telah dicampur dengan air ke dalam kantong plastik lalu tutup rapat dan diamkan selama 24 jam agar air terserap merata oleh tanah;
- f. Timbang mold + base plate kemudian berilah sedikit pelumas (W1);
- g. Masukkan tanah yang telah diperam kurang lebih 2/3 tinggi mold, lalu padatkan dengan menggunakan hammer padat. Pemadat standard tanah asli menggunakan pemadatan metode A (tinggi jatuh 30,5 cm dengan berat = 2,5 kg, ditumbuk sebanyak 56 kali tumbukan, dan terdiri dari 3 lapisan untuk mold berdiameter $\pm 10,2$ cm dan tinggi $\pm 11,6$ cm)

- h. Ulangi langkah g sampai dengan lapisan terakhir, lalu ambillah pelat penyambung dan ratakan permukaan tanah dengan plat perata sesuai dengan permukaan mold, kemudian timbang (W2);
- i. Keluarkan contoh tanah yang telah dipadatkan menggunakan ekstruder lalu ambil sedikit tanah dari masing-masing lapisan untuk dicari kadar airnya. Minimal 3 cawan untuk dicari nilai rata-ratanya;
- j. Lakukan langkah g, h, i, j, dan k sampai dengan contoh tanah dengan campuran yang terakhir;
- k. Data hasil pengujian di laboratorium kemudian diolah dan hitung kadar air optimumnya, Garis Zero Air Void (ZAV), serta gambarkan grafik kepadatannya.

7. Pengujian CBR Terendam (*California Bearing Ratio Soaked*)

Untuk pengujian CBR *soaked*, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Mesin CBR test;
- b. Stopwatch;
- c. Mold standard lengkap dengan *collar* dan *base plate*;
- d. Jangka sorong;
- e. Dial pengukur swelling;
- f. Semua alat-alat yang digunakan pada praktikum pemadatan.

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Ukur diameter mold dan tinggi mold dengan menggunakan jangka sorong dan timbang berat mold lalu hitung berapa volume moldnya;
- b. Timbang base plate, beban landasan, saringan, dan beban pemberatnya;
- c. Campurkan tanah asli (yang sudah dioven, dihaluskan dan disaring dengan saringan nomor 4) dengan kadar air optimum yang didapatkan dari pengujian pemadatan standard, aduk merata lalu peram dalam kantung plastik selama 24 jam;
- d. Masukkan tanah tersebut ke dalam mold dan dipadatkan dengan alat pemadat standard. Pemadat standard untuk CBR tanah asli maupun campuran menggunakan pemadatan metode B (tinggi jatuh 30,5 cm

- dengan berat = 2,5 kg, ditumbuk sebanyak 56 kali tumbukan, dan terdiri dari 3 lapisan untuk mold berdiameter $\pm 15,2$ cm dan tinggi $\pm 11,6$ cm)
- e. Selanjutnya tanah diratakan dan *collar* dilepas, *mold* diangkat dan silinder dasar dilepas;
 - f. Timbang mold dan tanahnya;
 - g. Untuk tanah campuran, *curing* contoh tanah yang telah dicampur dengan semen dan *silica fume* selama 7 dan 14 hari dengan cara menutup bagian atas dan bawah mold dengan menggunakan plastik kemudian diisolasi hingga rapat;
 - h. Setelah sampai pada waktu *curing* yang diinginkan, lepaskan plastik penutup dari mold lalu rendam dalam bejana berisi air selama 96 jam (4 hari) dan ukur pengembangan tanahnya dengan dial penetrasi;
 - i. Keluarkan tanah dalam mold dari bejana berisi air, miringkan agar airnya keluar, lalu letakan contoh tanah pada mesin kompresi (*compression machine*);
 - j. Berikan beban aksial yaitu dengan menggunakan mesin CBR penetrasi;
 - k. Pembacaan dan pencatatan dilakukan terhadap manometer yang menunjukkan penurunan dan besarnya beban aksial;
 - l. Buat grafik CBR yang terdiri dari koordinat penurunan sebagai absis (satuan dalam inch) dan waktu (satuan dalam menit) sebagai ordinatnya,
 - m. Lakukan hal yang sama kesemua spesimen dengan 5 % semen dan persentase *silica fume* yang berbeda dan juga waktu *curing* yang berbeda;
 - n. Dari data tersebut dapat ditentukan berapa persentase semen dan *silica fume* dan lama waktu *curing* yang dibutuhkan agar didapatkan nilai CBR yang paling maksimal.
 - o. Nilai CBR dinyatakan dalam persen (%) untuk kemudian dibuat kedalam grafik perbandingan antara nilai CBR dan persen campuran.
8. Pengujian Triaksial (*Triaxial Test*) *Unconsolidated Undrained*
- Untuk pengujian Triaksial U.U., alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :
- a. Mesin triaksial lengkap;

- b. Kompresor;
- c. Pompa penghisap;
- d. Extruder;
- e. Alat untuk memasang membran karet;
- f. Membran karet;
- g. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram;
- h. Spatula;
- i. Jangka sorong;;
- j. Cetakan silinder triaksial;
- k. Oli;
- l. Kertas dibentuk bundar sebagai alas dari cetakan;

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Buat campuran tanah untuk masing-masing kombinasi, campurkan semen dan *silica fume* sesuai dengan variasi campuran dan air dengan kadar air optimum yang didapatkan dari pengujian pemadatan standard;
- b. Masukkan tanah yang telah dicampur ke dalam cetakan berbentuk silinder lalu tumbuk sesuai dengan *Standar Proctor test*;
- c. Tanah kemudian dikeluarkan dari *mold* dengan extruder dan ditrim menggunakan cetakan silinder triaksial yang telah diolesi oli;
- d. Ratakan tanah bagian bawah dan atas dari cetakan, alasi bagian bawah dan atas dengan kertas dan keluarkan spesimen dengan extruder sehingga diperoleh tanah berbentuk silinder dengan ukuran diameter 3,8 cm dan tinggi 7,6 cm;
- e. Timbang tanah tersebut dengan timbangan dengan ketelitian 0,01 gram;
- f. Masukkan spesimen tanah ke dalam plastik dan tutup rapat (apabila memungkinkan masukkan tanah ke dalam desikator agar lebih kedap udara);
- g. Buat 3 spesimen untuk tanah asli dan tanah campuran untuk diberikan tekanan sel yang berbeda-beda.
- h. Masukkan spesimen tanah ke dalam membran karet lalu potong ujung membran karet yang tertutup;
- i. Masukkan spesimen tanah yang telah dibungkus selaput membran ke dalam sel triaksial dan tutup sel triaksial hingga rapat;

- j. Isi sel triaksial dengan air sampai penuh dengan tujuan memberikan σ_3 pada contoh tanah;
- k. Lakukan penekanan contoh tanah dari atas untuk memberikan σ_1 ($\sigma_1 + \Delta\sigma$).
- l. Amati pola keretakan yang terjadi dan lakukan pembacaan deformasi tanah dan tekanan yang diberikan;
- m. Hentikan pembacaan saat deformasi tanah tidak mengalami perubahan walaupun tetap diberikan tekanan;
- n. Buat grafik hubungan antara tegangan dan regangannya;
- o. Buat lingkaran mohr dengan data σ_1 dan σ_3 lalu hitung parameter c dan θ dari garis yang menyinggung lingkaran mohr;
- p. Bandingkan waktu *curing* dan kadar *silica fume* + 5% semen yang dicampurkan, kemudian hitung kadar *silica fume* dan waktu curing yang sesuai sehingga dihasilkan daya dukung tanah yang paling maksimal (terbukti dengan angka penurunan yang terkecil saat tanah diberikan tekanan).

9. Pengujian Sifat Mengembang Tanah (*Free Swell Test*)

Untuk pengujian *free swell test*, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Alat konsolidasi;
- b. Ring pada praktikum konsolidasi;
- c. Batu pori;
- d. Arloji pengukur (ketelitian 0,01 mm dan panjang gerak tangkai minimal 1,0 cm);
- e. Stopwatch;
- f. Neraca dengan ketelitian 0,1 gram;
- g. Dial penetrasi;

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Buat campuran tanah untuk masing-masing kombinasi, campurkan *silica fume* sesuai dengan variasi campuran, 5 % semen dan air sebanyak kadar air optimum dari pengujian pemadatan standard;

- b. Masukkan tanah yang telah dicampur ke dalam cetakan yang berbentuk ring dan diratakan;
- c. Volume tanah dapat ditentukan dengan mengukur diameter dan tebal contoh tanah.;
- d. Batu pori diletakkan di atas dan di bawah contoh tanah tersebut, sehingga air dapat mengalir dari atas dan dari bawah spesimen (*double drainage*);
- e. Letakkan spesimen pada alat consolidometer, tuang air, lalu ukur pengembangan yang terjadi beserta waktunya;
- f. Baru setelah pengembangan berhenti yang ditandai tidak Bergeraknya jarum alat konsolidometer lagi baru pencatatan dihentikan.
- g. Plot angka yang didapatkan dari pengujian untuk dibuat menjadi grafik dan analisa berapa kadar campuran dan waktu *curing* yang tepat agar didapatkan angka *swelling* tanah yang terkecil (daya dukung tanah akan meningkat apabila angka *swelling*nya berkurang.[]

BAB IV ANALISIS HASIL PENGUJIAN

4.1 Pengujian Karakteristik Tanah Asli

Pengujian karakteristik tanah asli dilakukan untuk mengetahui tingkat keekspansifan tanah yang akan diuji. Tingkat keekspansifan tanah tersebut dapat dilakukan dengan menguji sifat *index properties* dan *engineering properties* tanah.

Setelah diketahui sifat *index properties* dan *engineering properties* tanah asli, tanah dicampurkan dengan material penguatnya. Tanah yang telah mengalami pencampuran harus melalui masa curing selama 7 dan 14 hari untuk kemudian diuji kembali dan dibandingkan dengan tanah asli.

4.1.1 Pengujian Indeks Properties Tanah Asli

Pengujian yang dilakukan untuk mencari *index properties* tanah yaitu kadar air (*water content*), berat jenis tanah (*specific gravity*), *Atterberg Limit (Plastic Limit, Liquid Limit, Shrinkage Limit)*. Seluruh pengujian *index properties* tanah menggunakan tanah kering oven yang lolos saringan nomor 40 ASTM.

4.1.1.1 Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air tanah. Yang dimaksudkan dengan kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah tersebut dinyatakan dalam persen. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I A.1. Dari kedua spesimen yang diujikan diperoleh kadar air alami yang terkandung di dalam tanah pada saat tanah diambil yaitu sebesar 28,5%.

4.1.1.2 Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan No.4 dengan piknometer. Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I A.2. Dari kedua spesimen yang diujikan diperoleh berat jenis tanah asli sebesar $2,67 \text{ gr/cm}^3$.

4.1.1.3 Pengujian Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Pengujian batas-batas atterberg terdiri dari pengujian batas plastis (*Plastic Limit*), batas cair (*Liquid Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*).

A. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum dimana suatu tanah masih dalam keadaan plastis. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I A.3.1.

Pengujian batas plastis menggunakan 2 spesimen sebagai perbandingan. Dari 20 gram spesimen pertama yang dibuat lalu dioven, didapatkan hasil bahwa tanah asli susut sebesar 27%.

Pada 20 gram spesimen kedua, tanah asli juga menyusut sekitar 25,79%. Dari kedua spesimen yang diujikan diperoleh batas susut tanah asli yaitu sebesar 26,4%.

B. Batas Cair (*Liquid Limit*)

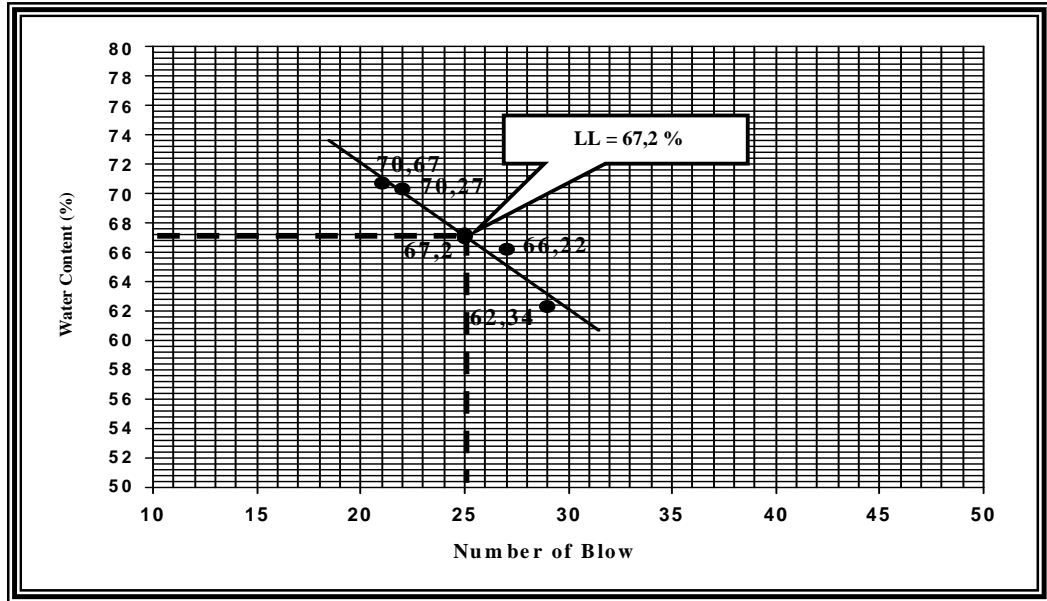
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair. Batas cair adalah kadar air batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan plastis menjadi keadaan cair. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I A.3.2. Hasilnya diplot ke dalam grafik batas cair yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Dari Gambar 4.1 diperlihatkan bahwa pada spesimen pertama, alur tanah menutup pada ketukan ke-27 dan setelah dioven spesimen tersebut mempunyai kadar air 66,22 %. Spesimen kedua, alur menutup pada ketukan ke-22 dengan kadar air 70,27 %. Spesimen ketiga, alur menutup pada ketukan ke-29 dengan kadar air 62,34 %. Spesimen keempat, alur menutup pada ketukan ke-21 dengan kadar air 70,67 %.

Hasil pengujian dihubungkan dengan garis regresi sehingga didapatkan nilai kadar air pada ketukan ke-25 yaitu sebesar 67,2 %.

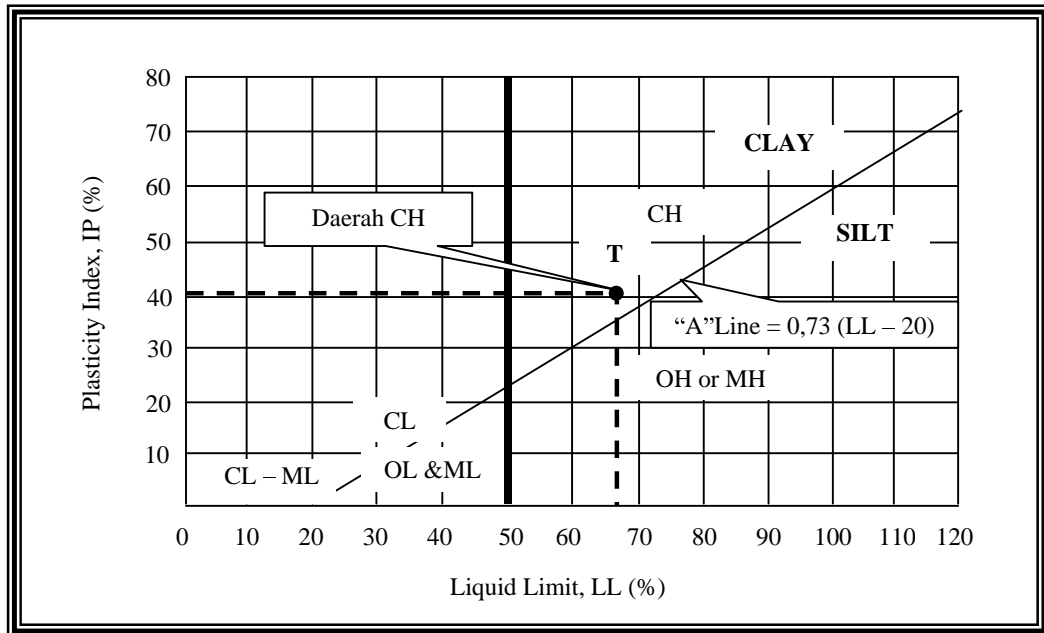
Setelah diketahui nilai batas cair dan batas plastisnya maka indeks plastisitas (PI) yang merupakan besarnya jarak antara batas plastis untuk berubah menjadi batas

cair dapat dihitung ($PI = LL - PL$). Besarnya indeks plastisitas yang didapatkan dari perhitungan yaitu sebesar 40,2 %.



Gambar 4.1 Grafik Batas Cair (Liquid Limit).

Besarnya nilai batas cair dan indeks plastisitas (PI) yang didapatkan kemudian diplot ke dalam bagan plastisitas yang disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Bagan Plastisitas.

Dari Gambar 4.2 diperlihatkan bahwa nilai indeks plastisitas tanah asli sebesar 40,2 % dan batas cair sebesar 67,2 % diplot ke dalam grafik dan didapatkan titik temu yang dinamakan dengan simbol T.

Titik temu tersebut berada di atas garis "A"line yang berarti bahwa tanah asli termasuk ke dalam golongan lempung (*clay*). Kemudian dilihat bahwa titik T tersebut berada di sebelah kanan garis yang dicetak tebal pada batas cair 50 % yang berarti tanah asli merupakan golongan CH.

C. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Untuk mencari kadar air pada batas susut suatu contoh tanah. Dilaboratorium, shrinkage limit didefinisikan batas dimana tidak akan terjadi perubahan volume pada masa tanah, apabila kadar airnya dikurangi. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I A.3.3. Dari penghitungan hasil pengujian laboratorium, didapatkan bahwa tanah asli mempunyai nilai batas susut sebesar 9,56 % dan rasio susut sebesar 1,78 gr/cm³.

Resume dari seluruh pengujian tanah asli disajikan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Resume Pengujian Indeks Properties

Pengujian	Hasil					Karakteristik Ekspansif	Keterangan
	S.1	S.2	S.3	S.4	Rata-rata		
Kadar Air, Wc (%)	30,9	26,1	-	-	28,5	Kondisional	-
Berat Jenis, Gs (gr/cm ³)	2,63	2,71	-	-	2,67	2,67–2,65 gr/cm ³	- Berat jenis yang didapat sama dengan berat jenis mineral montmorillonite yang berada dikisaran 2,67–2,65 gr/cm ³
Batas Plastis, PL (%)	27	25,79	-	-	27	-	-
Batas Cair, Wc (%)	66,22	70,27	62,34	70,67	67,2	> 60	- Derajat ekspansif sangat tinggi
Batas Susut, SL (%)	8,94	11,03	7,24	11,05	9,56	<10 7 – 12	- Ada masalah ekspansif - Derajat ekspansif tinggi

Rasio Susut, SR (gr/cm ³)	1,71	1,75	1,84	1,82	1,78	–	–
Indeks Plastisitas, PI (%)	40,2					>32 >35	- Ada masalah ekspansif - Derajat ekspansif sangat tinggi
Indeks Kecairan, LI(%)	0,04					0 < LI < 1	- Berwujud <i>plastic solid</i>
Analisa Saringan (%)	94,93					60 – 95	- Derajat ekspansif tinggi

4.1.1.4 Analisa Ekspansifitas Tanah Asli terhadap *Index Properties*

1. Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*) :

- a. Dari pengujian didapatkan bahwa berat jenis tanah asli yaitu sebesar 2,67 gr/cm³;
- b. Berat jenis tanah berada di kisaran 2,6 gr/cm³ sampai dengan 2,9 gr/cm³, sehingga dapat diperkirakan bahwa tanah ini termasuk tanah berlempung atau berlanau;
- c. Berat jenis tanah yang mencapai nilai 2,67 gr/cm³ sama dengan berat jenis mineral montmorillonite yang berada dikisaran 2,65 gr/cm³ sampai dengan 2,80 gr/cm³ (berdasarkan Tabel 2.14).

Mineral montmorillonite merupakan mineral utama penyusun tanah ekspansif yang sangat menentukan keekspansifan tanah.

2. Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limit*) :

- a. Berdasarkan data-data yang diplot ke dalam bagan plastisitas (menurut sistem klasifikasi USCS pada Tabel 2.12) yaitu PI (Indeks Plastisitas) sebesar 40,2 %, LL (Batas cair) sebesar 67,2 % (lebih dari 50 %), dan tanah yang lolos saringan nomor 200 sebesar 94,93 % (lebih dari 50 %), maka tanah ini diklasifikasikan dengan simbol CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*);
- b. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO (Tabel 2.11), tanah yang lolos saringan nomor 200 lebih dari 35 % masuk ke dalam golongan tanah lanau – lempung;
- c. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO (Tabel 2.11) dengan mencocokkan besarnya batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI), maka tanah diklasifikasikan dengan kode A – 7. Jika dimasukkan ke dalam rumus :

$$\begin{aligned}
 A - 7 - 5 \text{ jika, } PI &\leq LL - 30 \\
 40,2 &\leq 67,2 - 30 \\
 40,2 &\leq 37,2 \dots\dots\dots \text{Tidak cocok.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A - 7 - 6 \text{ jika, } PI &> LL - 30 \\
 40,2 &> 67,2 - 30 \\
 40,2 &> 37,2 \dots\dots\dots \text{Cocok.}
 \end{aligned}$$

Setelah disesuaikan dengan rumus tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa tanah ini dapat diklasifikasikan dengan kode A - 7 - 6;

- d. Dari besarnya Plastisitas Indeks (PI) sebesar 40,2 % (>35 %), angka Liquid Limit (LL) yang mencapai 67,2 % (>60 %), dan angka Shrinkage Limit (SL) sebesar 9,56 (<11 %), maka dapat disimpulkan bahwa tanah ini termasuk ekspansif dengan derajat keekspansifan yang sangat tinggi (berdasarkan Tabel 2.3 dan Tabel 2.5).

3. Indeks Kecairan (*Liquidity Index*) :

Berdasarkan angka indeks liquiditas (LI) sebesar 0,04 ($0 < LI < 1$), maka dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah asli dilapangan berwujud *plastic solid* (berdasarkan Gambar 2.3).

4.1.2 Pengujian *Engineering Properties* Tanah Asli

Pengujian yang dilakukan untuk mencari *engineering properties* tanah yaitu pemadatan standard (*Standard Proctor Test*), *triaxial test*, uji CBR terendam (*California Bearing Ratio Soaked Test*), *Free Swell Test*. Seluruh pengujian *Engineering Properties* tanah menggunakan tanah kering oven yang lolos saringan nomor 4 ASTM.

4.1.2.1 Pengujian Pemadatan Standard (*Standard Proctor Test*)

Tujuan dari pengujian pemadatan standard adalah untuk menentukan hubungan kadar air dan kepadatan kering optimum (berat kering) suatu tanah apabila dipadatkan dengan alat pemadat tertentu. Pengujian pemadatan dilakukan dengan menambahkan air dengan variasi 0 %, 4 %, 8 %, 12 %, 16 %, 20 %, 22 %, dan 25 % untuk kemudian dicari berapa kadar air optimum untuk mendapatkan kepadatan

tanah yang maksimum. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I B.1. Untuk hasil pengujian tanah asli disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Pemadatan Standard.

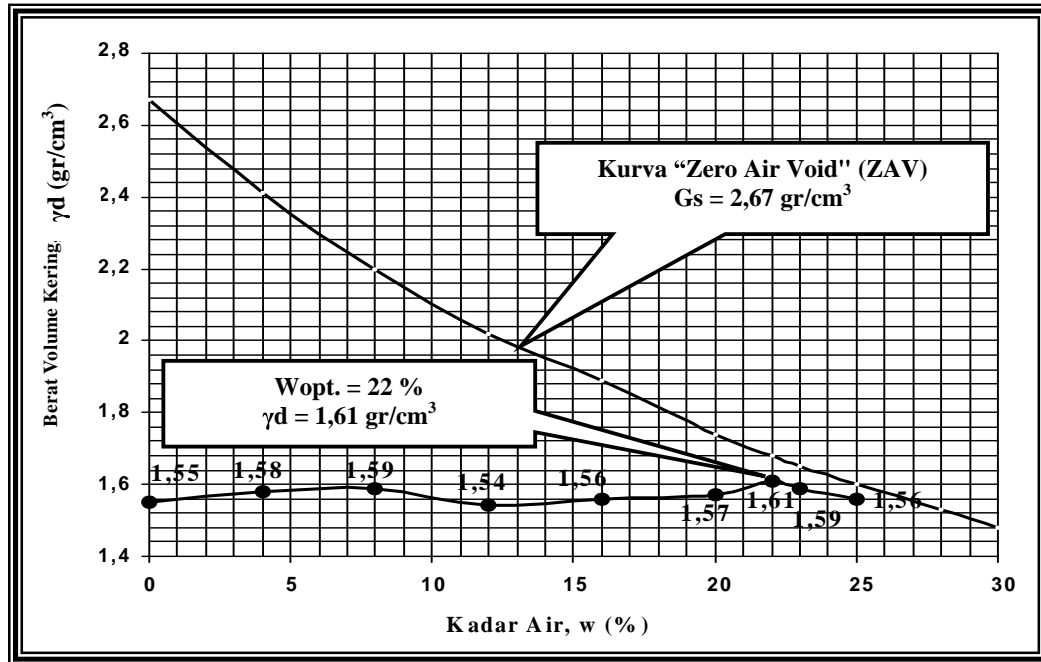
Kadar Air (%)	Berat Volume Basah, γ (gr/cm³)	Berat Volume Kering, γ_d (gr/cm³)	Zero Air Void (ZAV) (gr/cm³)
0	1,55	1,55	2,67
4	1,65	1,58	2,41
8	1,72	1,59	2,20
12	1,73	1,54	2,02
16	1,81	1,56	1,89
20	1,88	1,57	1,74
22	1,97	1,61	1,68
23	1,96	1,59	1,65
25	1,96	1,56	1,60

Setelah diketahui berat volume basah dan berat volume kering tanah asli, maka kurva ZAV (*Zero Air Void*) dapat dihitung. Kurva ZAV ini merupakan batasan dari kepadatan tanah. Batasan ini adalah kondisi di mana pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali. Hasil dari pengujian standard dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara berat volume kering dengan kadar air dan dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Dari Gambar 4.3 diperlihatkan bahwa pada saat air yang ditambahkan sebesar 0 %, 4 %, dan 8 %, kepadatan tanah meningkat perlahan dan mencapai puncaknya pada kadar air 8 % dengan kepadatan tanah kering sebesar 1,59 gr/cm³.

Namun kondisi itu belum menjamin karena pada saat air yang ditambahkan mencapai 12 %, kepadatan kering tanah mengalami penurunan sebesar 0,05 % dan mencapai angka 1,54 %. Saat tanah diuji coba kembali dengan kadar air 16 %, 20 %, dan 22 %, tanah kembali mengalami peningkatan kepadatan kering yang cukup signifikan dan mencapai puncaknya dengan kepadatan kering 1,61 % saat kadar airnya sebesar 22 %. Untuk memastikan maka dibuatlah kurva ZAV sebagai pembatas dan dibuat kembali tanah dengan ditambahkan air sebanyak 23 % dan 25

%. Pada saat diuji, tanah dengan kadar air 23 % dan 25 % tersebut mengalami penurunan kepadatan kembali dan mencapai angka 1,56 %. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa tanah mempunyai kepadatan kering optimal sebesar 1,61 % dengan menambahkan air sebanyak 22 % dari berat tanah yang diujikan.



Gambar 4.3. Grafik Uji Pemadatan Proctor (Tanah Asli).

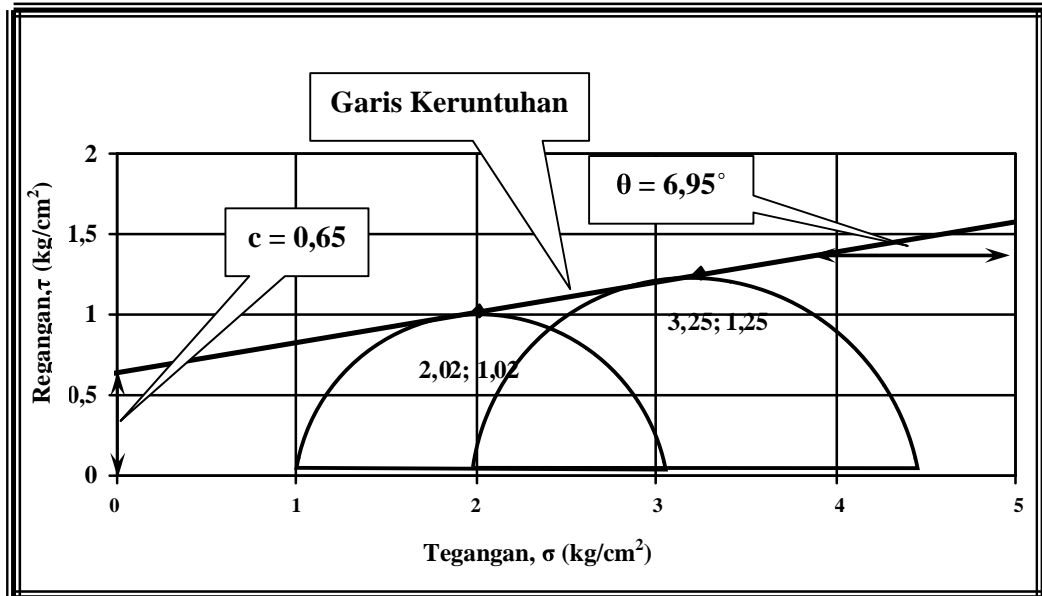
4.1.2.2 Pengujian Triaksial UU (*Triaxial Test Unconsolidated Undrained*)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendapatkan parameter kekuatan geser tanah dengan menggunakan alat triaksial test. Pengujian triaksial yang dilakukan adalah pengujian triaksial dengan tanah tanpa terkonsolidasi dan tanpa terdrainasi (*Triaxial Test Unconsolidated Undrained*).

Hasil dari pengujian ini yaitu didapatkannya angka kohesi tanah (c) dan sudut geser dalam tanah (θ) yang diperoleh dari lingkaran mohr. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran I B.2.

Untuk pengujian triaksial tanah asli, spesimen yang dibuat yaitu sebanyak 2 buah dengan besar tekanan sel (σ_3) yang diberikan berturut-turut sebesar 1 kg/cm² dan 2 kg/cm². Setelah dilakukan pembacaan dan penghitungan hasil, didapatkan pusat dan radius lingkaran 1 berturut-turut sebesar 2,02 kg/cm² dan 1,02 kg/cm² dan lingkaran 2 berturut-turut sebesar 3,25 kg/cm² dan 1,25 kg/cm².

Setelah diketahui berapa besarnya pusat dan radius lingkaran 1 dan lingkaran 2, maka lingkaran Mohr dapat dibuat dengan membuat hubungan regangan dan tegangan. Lingkaran Mohr dari pengujian tanah asli dapat dilihat pada Gambar 4.4.

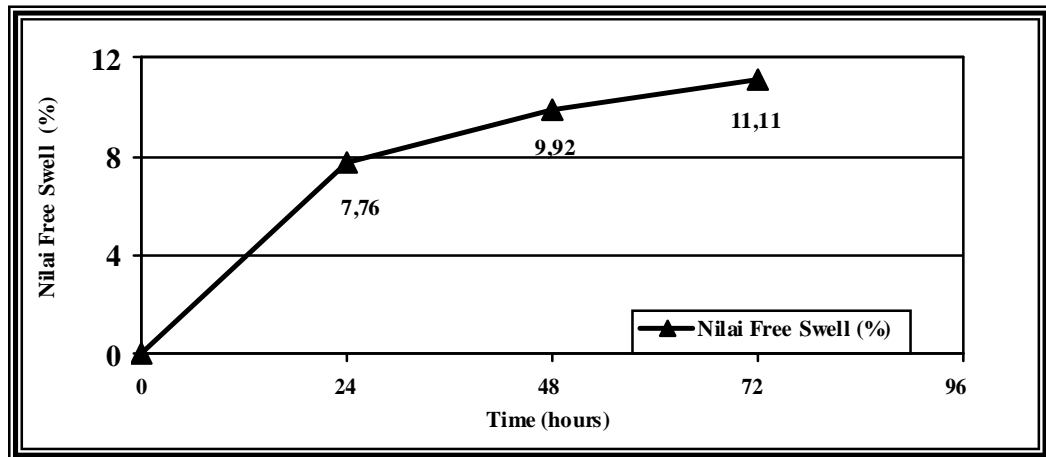


Gambar 4.4 Lingkaran Mohr dari Pengujian Triaksial Tanah Asli.

Dari Gambar 4.4 diketahui bahwa ketika lingkaran 1 dan lingkaran 2 ditarik garis singgung antara kedua puncaknya, maka dihasilkan garis yang dinamakan garis keruntuhan. Dari garis keruntuhan tersebut, dapat dihitung berapa besarnya sudut geser dalam (θ) dan kohesi tanah (c) berturut-turut sebesar $6,95^\circ$ dan $0,65 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.2.3 Pengujian Kembang Bebas (*Free Swell Test*)

Pengujian *free swell* dilakukan dengan menggunakan sel konsolidasi dan menerapkan prosedur yang sama dengan pengujian konsolidasi tetapi tanpa dibebani. Jadi tanah hanya mengalami *swelling* tanpa mengalami penurunan konsolidasi. Pengukuran *swelling* tanah dilakukan setiap 24 jam selama 3 hari untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Nilai *swelling* tiap 24 jam dapat dilihat pada grafik dari Gambar 4.5. Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa volume tanah asli pada saat perendaman 24 jam mengembang sebesar 7,76 %.

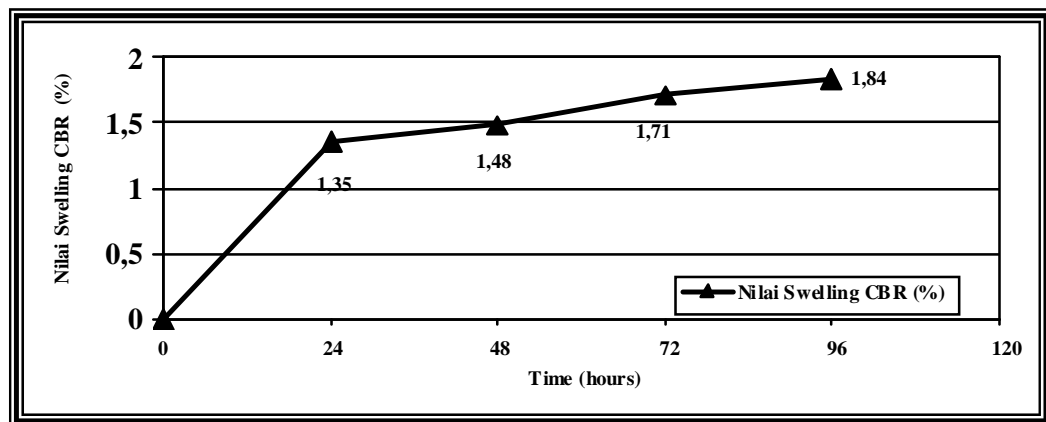


Gambar 4.5. Grafik Free Swell Tanah Asli.

Pada saat perendaman 48 jam, tanah mengalami pengembangan sebesar 9,92 %. Saat waktu perendaman mencapai 72 hari, tanah mengalami pengembangan sebesar 11,11 %. Penghitungan secara detail dapat dilihat pada Lampiran I B.3.

4.1.2.4 Pengujian CBR Terendam (*California Bearing Ratio Soaked*)

Sebelum dilakukan pengujian *CBR soaked*, tanah yang telah dipadatkan direndam selama 4 hari di dalam bejana berisi air dan dibebani dengan beban seberat 4,5 kg. Setiap 24 jam, tanah diukur pengembangannya dengan dial penetrasi. Nilai *swelling* tiap 24 jam dapat dilihat pada grafik dari Gambar 4.6.

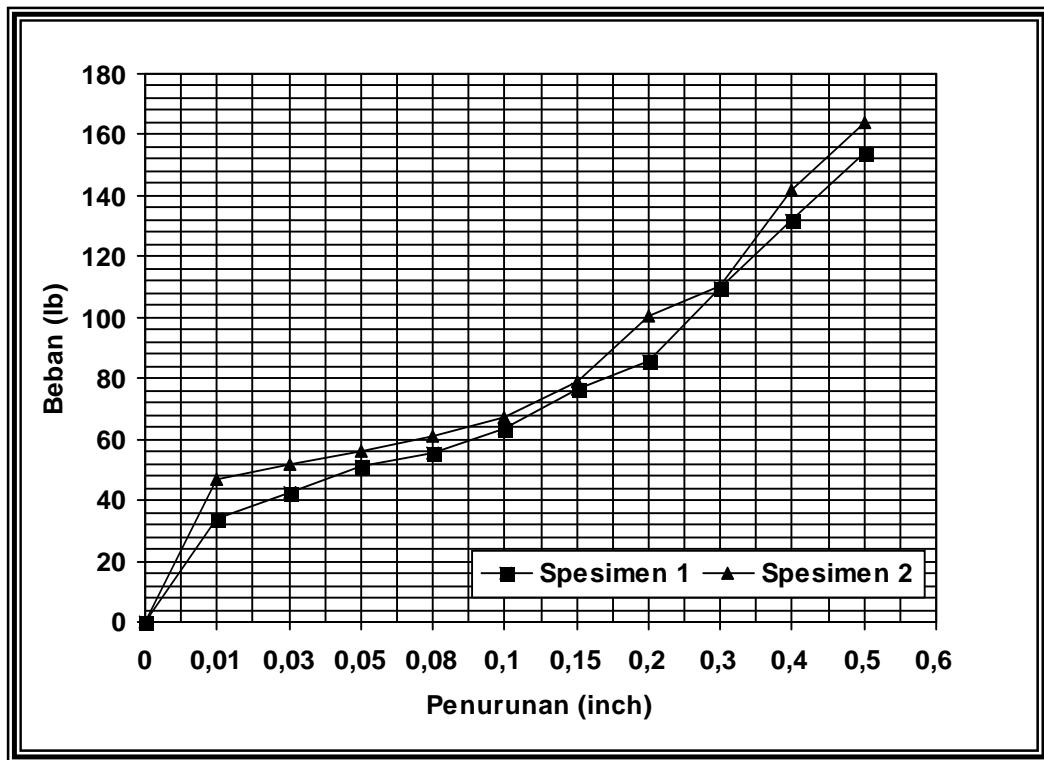


Gambar 4.6 Grafik Swelling CBR saat Perendaman.

Dari Gambar 4.6 diperlihatkan bahwa tanah mengalami pengembangan sebesar 1,35 % pada saat perendaman 24 jam. Saat perendaman mencapai 48 jam, 72 jam, dan 96 jam, tanah mengembang secara berturut-turut sebesar 1,48 %, 1,71 % dan 1,84 %.

Setelah tanah mengalami perendaman selama 4 hari, tanah dikeluarkan dari bejana berisi air untuk kemudian tiriskan airnya dengan cara memiringkan mold. Setelah cukup tiris, lakukan pengujian spesimen dengan menggunakan CBR machine dan ukur berapa nilai CBR tanah tersebut.

Dari hasil pengujian *CBR machine* terhadap kedua spesimen tanah asli yang dapat dilihat pada Lampiran I B.4, didapatkan nilai CBR dari masing-masing spesimen. Secara lengkap pembacaan nilai *CBR machine* tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Mesin CBR

Untuk penurunan 0,1” dan 0,2” pada spesimen tanah 1, nilai CBR yang didapatkan berturut-turut yaitu sebesar 2,125 % dan 1,91 %. Dari nilai tersebut dapat dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR sebesar 2,02 %.

Untuk penurunan 0,1” dan 0,2” pada spesimen tanah 2, nilai CBR yang didapatkan berturut-turut yaitu sebesar 2,24 % dan 2,23 %. Dari nilai tersebut dapat dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR sebesar 2,24 %.

Dari kedua spesimen tersebut dapat dirata-rata sehingga menghasilkan nilai CBR tanah asli yaitu sebesar 2,13 %.

Berdasarkan seluruh pengujian yang telah dilakukan untuk *engineering properties* tanah asli, maka dapat dibuat resume tentang tanah asli yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Resume hasil pengujian Engineering Properties

Pengujian		Hasil
Standard Proctor Test	W opt. (%)	22
	γ_d (gr/cm ³)	1,62
Triaksial UU	c (kg/cm ²)	0,1
	θ (°)	2,03
Free Swell Test	Swell value (%)	11,11
CBR Test	Swell value (%)	1,85
	Nilai CBR (%)	2,13

4.1.2.5 Analisa Ekspansifitas Tanah Asli terhadap *Engineering Properties*

1. Pengujian Pemadatan Standard (*Standard Proctor Test*) :

- a. Pada saat kadar air 8 %, tanah mencapai kepadatan yang cukup besar yaitu sebesar 1,59 gr/cm³. Tetapi pada saat kadar air mencapai 12 %, kepadatan turun menjadi 1,54 gr/cm³ dan kembali naik dan memuncak menjadi sebesar 1,61 % pada saat kadar air mencapai 22 %;
- b. Saat pengujian dilakukan dengan kadar air sebesar 23 % dan 25 %, kepadatan turun kembali berturut-turut menjadi 1,59 gr/cm³ dan 1,56 gr/cm³ dan akhirnya dibatasi dengan kurva Zero Air Void (ZAV). Artinya kepadatan kering maksimal sebesar 1,61 gr/cm³, dicapai pada kadar air optimal sebanyak 22 %.

2. Pengujian Triaksial UU (*Triaxial Unconsolidated Undrained Test*) :

Dari lingkaran mohr didapatkan garis keruntuhan yang menunjukkan besarnya kohesi (c) tanah yaitu sebesar $0,65 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut geser dalam (θ°) tanah yaitu sebesar $6,95^\circ$.

3. Pengujian Kembang Bebas (*Free Swell Test*) :

Pengujian *free swell* tanah asli dihasilkan nilai *free swell* yaitu sebesar 1,84 %. Jika dicocokkan ke dalam Tabel 2.2, tanah termasuk golongan tanah yang umumnya tidak ekspansif karena berada di bawah nilai 50 %. Sedangkan untuk tanah yang mempunyai kemungkinan sebagai tanah ekspansif adalah tanah dengan kisaran nilai *free swell* berada di atas 100 %.

4. Pengujian CBR Terendam (*California Bearing Ratio Soaked*):

- a. Pada spesimen 1, tanah mengalami pengembangan paling maksimal sebesar 1,80 % dari tinggi tanah awal yaitu dari 11,08 cm menjadi 11,28 cm.
- b. Pada spesimen 2, tanah mengalami pengembangan paling maksimal sebesar 1,86 % dari tinggi tanah awal yaitu dari 11,08 cm menjadi 11,29 cm. Jika dirata-rata, tanah yang diuji mengalami pengembangan sebesar 1,83 % dari tinggi tanah awal;
- c. Pada spesimen 1, tanah mengalami perubahan volume paling maksimal sebesar 1,80 % dari volume tanah awal yaitu dari $1848,95 \text{ cm}^3$ menjadi $1882,32 \text{ cm}^3$.
- d. Pada spesimen 2, tanah mengalami pengembangan paling maksimal sebesar 1,9 % dari volume tanah awal yaitu dari $1848,95 \text{ cm}^3$ menjadi $1883,99 \text{ cm}^3$. Jika dirata-rata, tanah yang diuji mengalami pengembangan sebesar 1,85 % dari volume tanah awal;
- e. Berdasarkan tabel 4.2 dan dari nilai CBR yang hanya sebesar 2,13 %, maka dapat disimpulkan bahwa tanah dikategorikan sangat buruk apabila dalam keadaan terendam.

4.2 Pengujian Tanah Yang Telah Distabilisasi

Tanah yang telah dioven, dihaluskan, disaring dengan saringan no. 40 ASTM, dicampur dengan semen dan silica fume dan melalui masa *curing*, kemudian siap dilakukan pengujian.

Pengujian yang dilakukan hampir sama dengan pengujian sebelumnya yang dilakukan pada tanah asli. Variasi waktu *curing* yaitu selama 7 hari, dan 14 hari dan hanya dilakukan pada pengujian *engineering properties*.

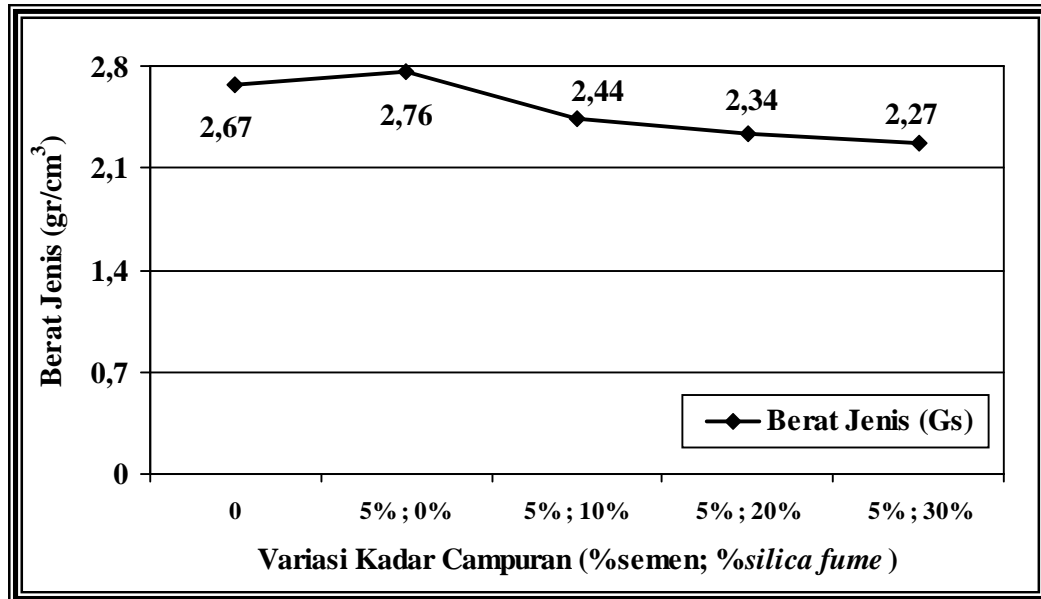
4.2.1 Pengujian *Index Properties* Tanah Campuran

Pengujian yang dilakukan untuk mencari *index properties* tanah campuran yaitu Berat jenis tanah (*specific gravity*) dan *Atterberg Limit* (*Plastic Limit*, *Liquid Limit*, *Shrinkage Limit*). Semen yang dicampurkan sebanyak 5 % dari berat tanah yang akan diuji dan variasi *silica fume* yang dicampurkan yaitu 0 %, 10 %, 20 %, dan 30 % dari berat semen yang dicampurkan.

4.2.1.1 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan dengan menggunakan 4 variasi *silica fume* dari kadar 5% semen terhadap tanah dan tiap variasi dibuat masing-masing 2 spesimen untuk dirata-rata. Banyaknya tanah yang diujikan sebanyak 30 gr tiap spesimen.

Hasil dari pengujian berat jenis tanah yang sudah dicampur dengan semen dan *silica fume*, dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Berat Jenis Tanah Campuran.

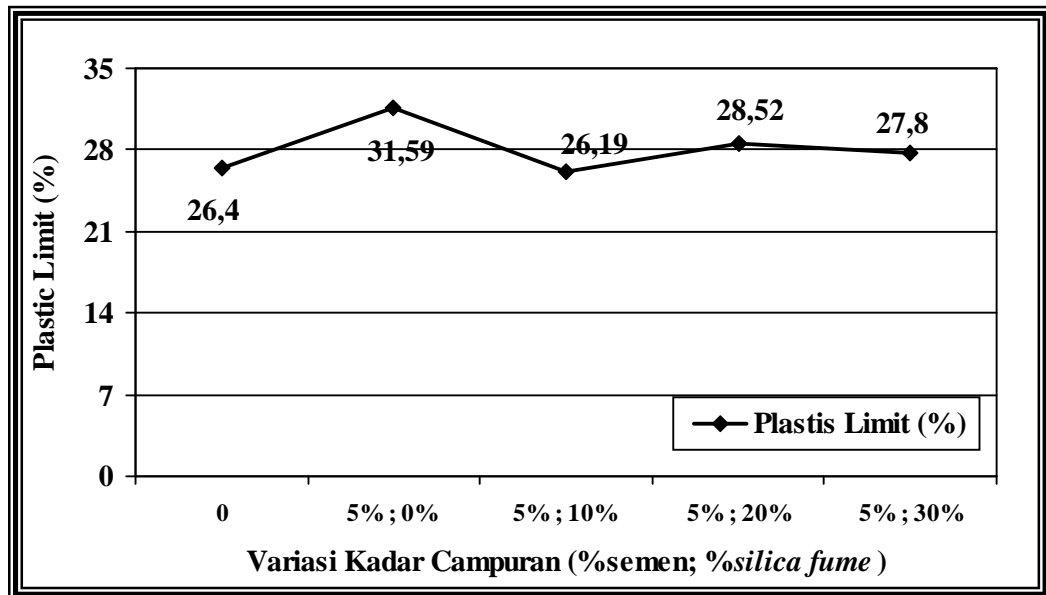
Dari gambar 4.8 terlihat bahwa nilai berat jenis tanah pada kadar *silica fume* 0% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai berat jenis tanah asli maupun pada campuran kadar *silica fume* lainnya. Pada kadar *silica fume* 10 %, 20% dan 30% terlihat bahwa nilai berat jenis tanahnya kurang dari tanah asli. Semakin besar kadar campuran *silica fume*, semakin kecil pula nilai berat jenis tanahnya.

4.2.1.2 Pengujian Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Pengujian batas-batas atterberg terdiri dari pengujian batas plastis (*Plastic Limit*), batas cair (*Liquid Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*).

A. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Pengujian batas plastis yang dilakukan untuk tanah campuran sama seperti pengujian batas plastis tanah asli. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran II A.2.1. Pengujian batas plastis menggunakan 2 spesimen sebagai perbandingan. Hasil dari pengujian batas plastis disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Pengujian Batas Plastis Tanah Campuran.

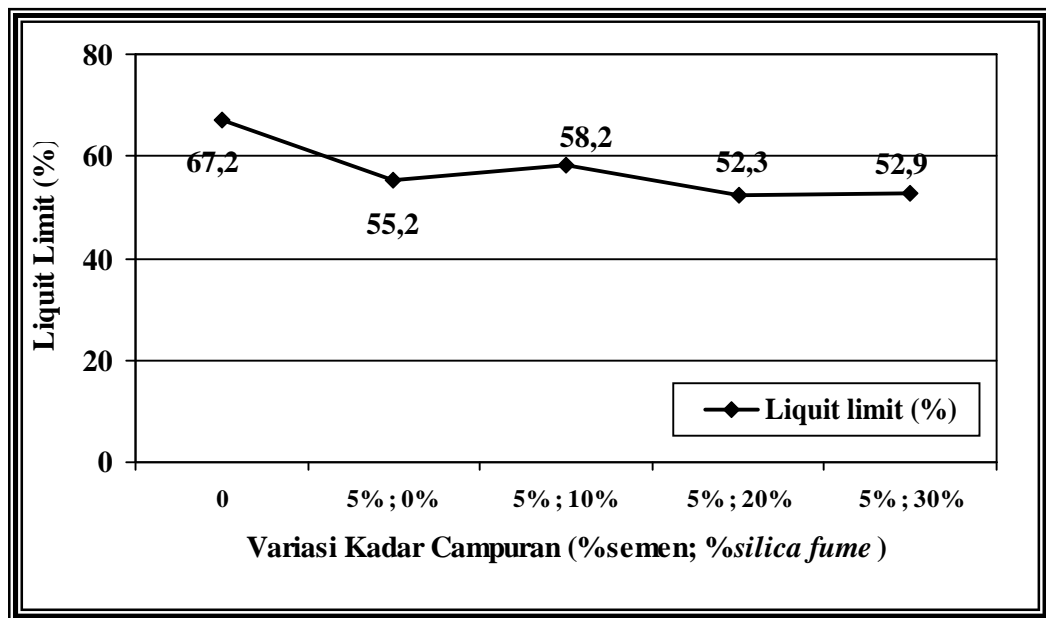
Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa batas plastis tanah dengan campuran semen 5% dan 0% *silica fume* meningkat di posisi paling tinggi dengan menunjukkan bahwa kadar *silica fume* 0% mempunyai nilai plastis limit paling baik.

Pada kadar *silica fume* 10% menurun drastis dibawah tanah asli, tetapi pada kadar 20% *silica fume* nilai batas plastis naik, dan turun lagi pada kadar 30% *silica fume*.

Dengan kadar 20% dan 30% *silica fume* tetap lebih baik dibandingkan dengan nilai batas plastis tanah asli.

B. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas plastis yang dilakukan untuk tanah campuran sama seperti pengujian batas plastis tanah asli. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran II A.2.2. Hasil dari pengujian batas cair dapat dilihat pada Gambar 4.10.



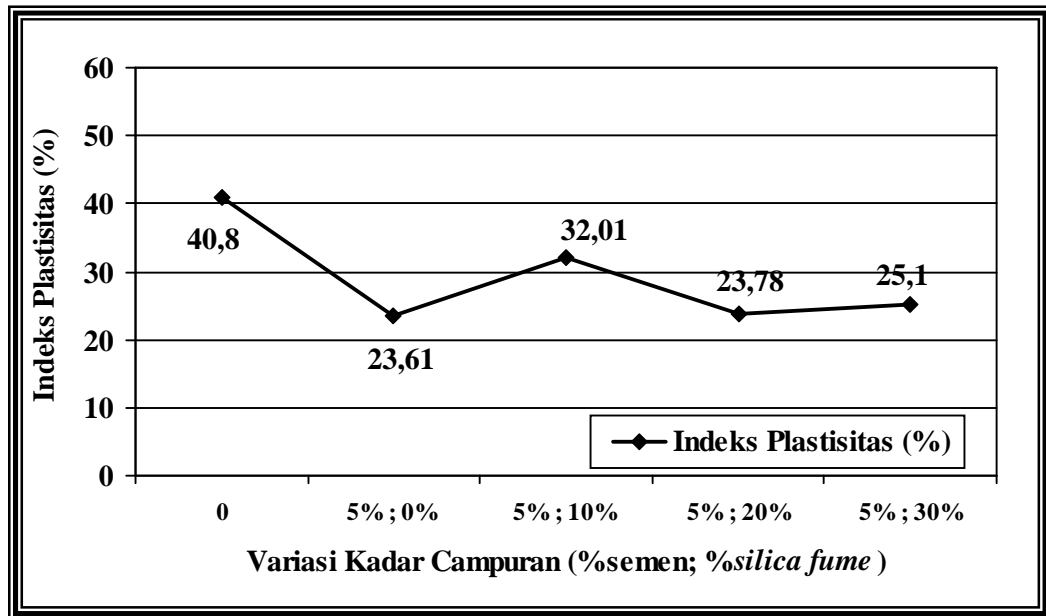
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Batas Cair Tanah Campuran.

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai batas cair tanah asli paling tinggi dibandingkan dengan nilai pada tanah campuran. Dan dapat dilihat bahwa batas cair tanah pada kadar 0 % *silica fume* mempunyai nilai paling kecil dibandingkan dengan nilai tanah asli maupun dengan nilai kadar *silica fume* yang lebih tinggi lainnya. Ini menunjukkan bahwa pada pengujian batas cair kadar *silica fume* 0% adalah campuran yang paling baik dibandingkan dengan kadar *silica fume* lainnya.

Pada kadar 10%, 20%, dan 30% *silica fume* nilai batas cair lebih kecil dibandingkan dengan tanah asli walaupun nilai tersebut lebih besar dibandingkan

dengan nilai batas cair tanah asli. Ini menunjukkan bahwa pada kadar 10%, 20%, dan 30% *silica fume* masih lebih baik dibandingkan dengan nilai batas cair tanah asli.

Setelah diketahui nilai batas plastis dan batas cair tanah dari berbagai variasi campuran maka nilai indeks plastisitas (PI) tanah dapat dihitung. Hasilnya dapat dibandingkan dan dibuat menjadi grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



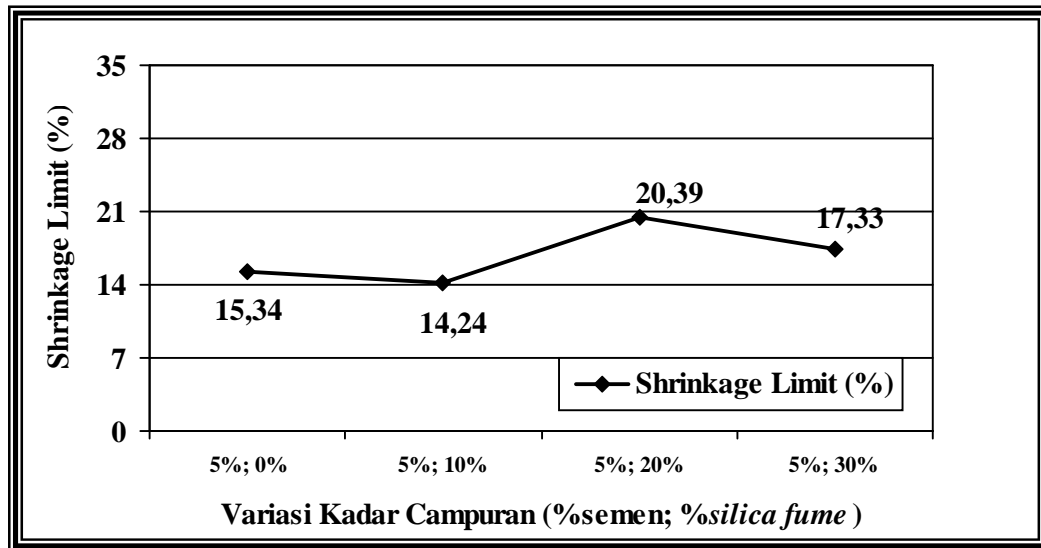
Gambar 4.11 Grafik Pengujian Indeks Plastisitas Tanah Campuran.

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa indeks plastisitas tanah yang didapat dari perhitungan nilai LL-PL sudah terlihat bahwa nilai PI yang paling baik yaitu tanah campuran pada kadar *silica fume* 0% sebesar 23,61 (%). Dan nilai tersebut dapat dikatakan tanah pada campuran 0% *silica fume* sudah dalam katagori tanah yang baik (dapat dijadikan penahan beban yang baik terhadap pondasi di atasnya), dikarenakan nilai indeks plastisitasnya kurang dari 32%. Karena apabila nilai tanah yang lebih dari 32% dapat dikatakan bahwa tanah tersebut tidak baik.

Pada tanah campuran dengan kadar 0% *silica fume* tersebut dapat dilihat bahwa nilai indeks plastisitasnya paling kecil dibandingkan dengan tanah asli dan tanah campuran dengan kadar *silica fume* lainnya.

C. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut yang dilakukan untuk tanah campuran sama seperti pengujian batas plastis tanah asli. Pengolahan data secara lengkap dapat dilihat dalam Lampiran II A.2.3. Hasil dari pengujian batas cair dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Pengujian Shrinkage Limit Tanah Campuran.

Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pada campuran dengan kadar 20% *silica fume* menempati tempat paling tinggi yaitu dengan nilai shrinkage sebesar 20,39 dibandingkan dengan kadar *silica fume* lainnya. Sedangkan pada kadar 10% *silica fume* menempati urutan paling rendah dengan nilai shrinkage paling kecil yaitu 14,24.

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pada pengujian shrinkage limit tanah dengan campuran 0%, 10%, 20%, dan 30% dapat dikatakan tanah tersebut sudah keluar dari sifat keekspansifan, nilai shrinkagenya lebih dari 13%. Dan apabila dapat dikatakan tanah tersebut mempunyai ekspansifitas jika tanah tersebut nilai shrinkage limitnya kurang dari 10%. Dan campuran yang paling baik terdapat pada campuran pada kadar 20% *silica fume*, karena nilai shrinkagenya paling tinggi.

4.2.2 Pengujian *Engineering Properties* Tanah Stabilisasi

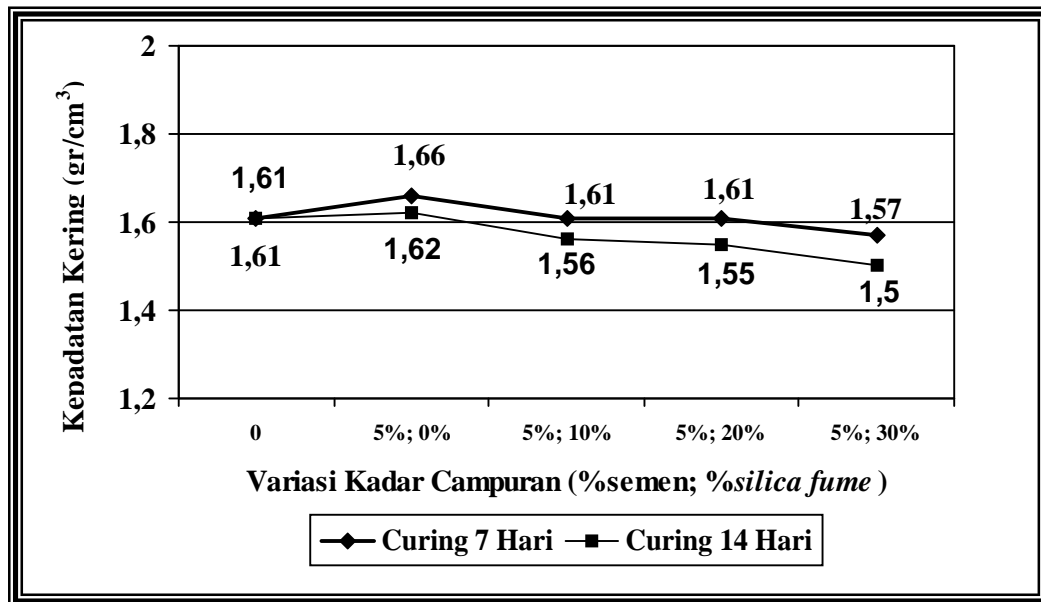
Pengujian *engineering properties* tanah stabilisasi yang dilakukan yaitu pengujian pemadatan standard, pengujian CBR terendam, pengujian triaksial, dan pengujian *free swell*. Dari kesemua pengujian tersebut yang paling utama dilakukan yaitu pengujian CBR terendam.

Setelah diketahui komposisi *silica fume* yang tepat untuk mencapai harga CBR yang paling optimal barulah pengujian lain dapat dilakukan dan tentu saja pada tanah dengan kadar *silica fume* yang optimal tersebut.

4.2.2.1 Pemadatan Standard (*Standard Proctor Test*)

Pemadatan standard yang dilakukan pada pengujian tanah stabilisasi menggunakan metode B (tinggi jatuh penumbuk 30,5 cm dengan berat = 2,5 kg, ditumbuk sebanyak 56 kali tumbukan dan terdiri dari 3 lapisan untuk mold berdiameter $\pm 15,2$ cm dan tinggi $\pm 11,6$ cm).

Pemadatan dilakukan untuk semua kadar campuran *silica fume* dan dengan kadar air yang optimal dari pengujian pemadatan standard tanah asli yaitu sebesar 22 %. Perhitungan kepadatan kering secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran II B.1. Grafik kepadatan kering dari pengujian pemadatan standard tanah stabilisasi dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Pengujian Kepadatan Kering Tanah Campuran.

Dari gambar 4.1.3 dapat dilihat bahwa dalam pengujian kepadatan kering dari masa *curing* 7 dan 14 hari didapat nilai yang paling besar yaitu pada tanah campuran masa *curing* 7 hari dengan kadar *silica fume* 0% sebesar $1,66 \text{ gr/cm}^3$, dan pada masa *curing* 14 hari kepadatan tertinggi hanya sebesar $1,62 \text{ gr/cm}^3$.

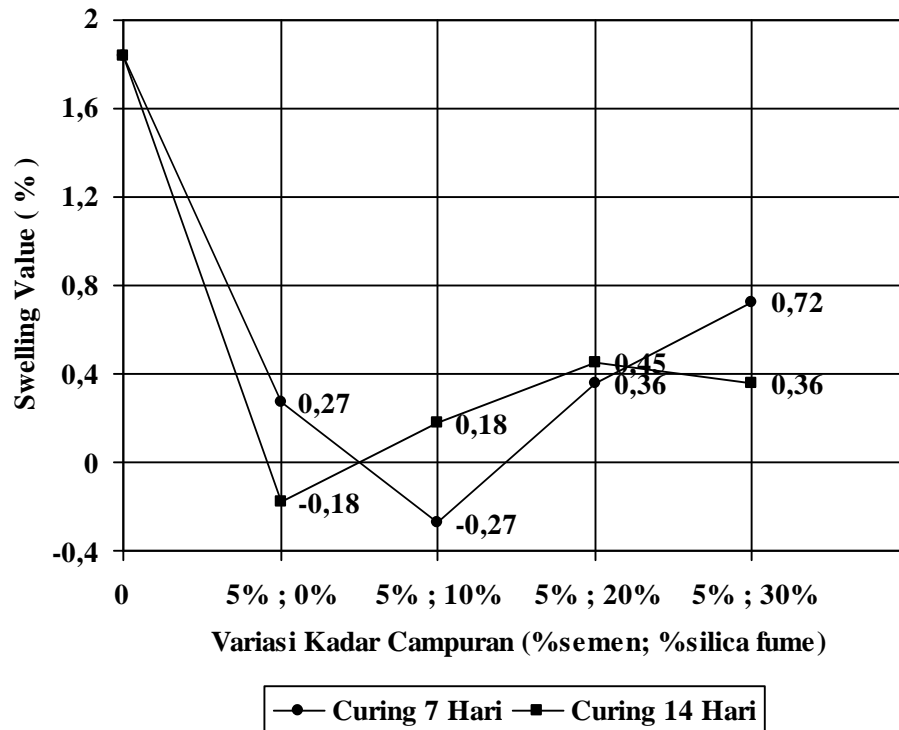
Dengan masa *curing* baik 7 hari maupun 14 hari terjadi penurunan pada kadar *silica fume* 10%, 20%, dan 30%.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan campuran *silica fume* dapat menurunkan nilai kepadatan tanahnya.

4.2.2.2 Pengujian CBR Terhadap Tanah Campuran

Pengujian CBR dilakukan pada semua tanah stabilisasi dari pengujian pemadatan standard dan telah melalui waktu *curing* masing-masing campuran 7 hari dan 14 hari.

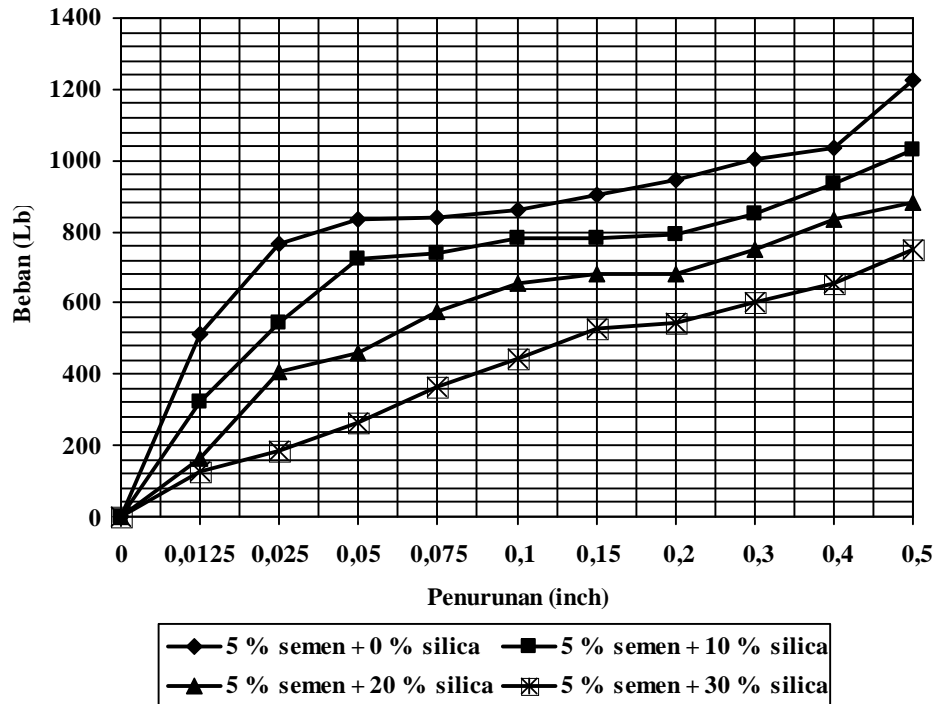
Setelah dicuring selama 7 hari, tanah direndam dan ukur perendamannya setiap 24 jam selama 4 hari. Perhitungan *swelling* tanah selama direndam dapat dilihat di dalam Lampiran II B.2.1. Besarnya pengembangan dari kelima campuran dapat dilihat pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Grafik Swelling CBR tanah Campuran.

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa tanah stabilisasi dengan kadar *silica fume* 30 % pada curing mengalami pengembangan yang paling tinggi di antara campuran yang lainnya dan pada kadar *silica fume* 10% mengalami penurunan hingga 0,27mm, sedangkan pada curing 14 hari pengembangan paling besar terjadi pada campuran dengan kadar 20% *silica fume*, dan pada kadar 0% tanah mengalami penurunan hingga 0,18mm.

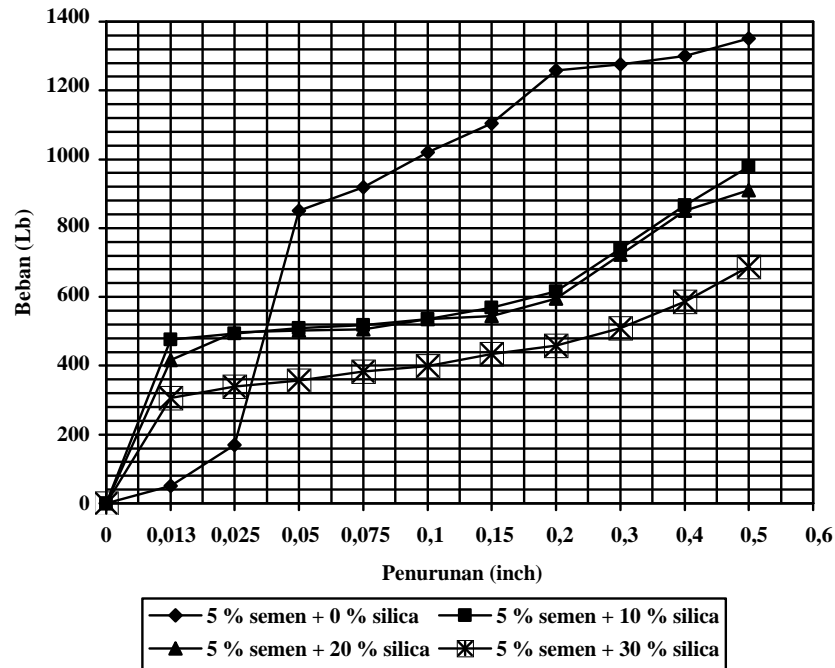
Hasil dari pengujian CBR yang sudah dicampur dengan semen dan *silica fume* dengan waktu curing 7 hari dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Pengujian CBR Tanah Campuran (Curing 7 hari).

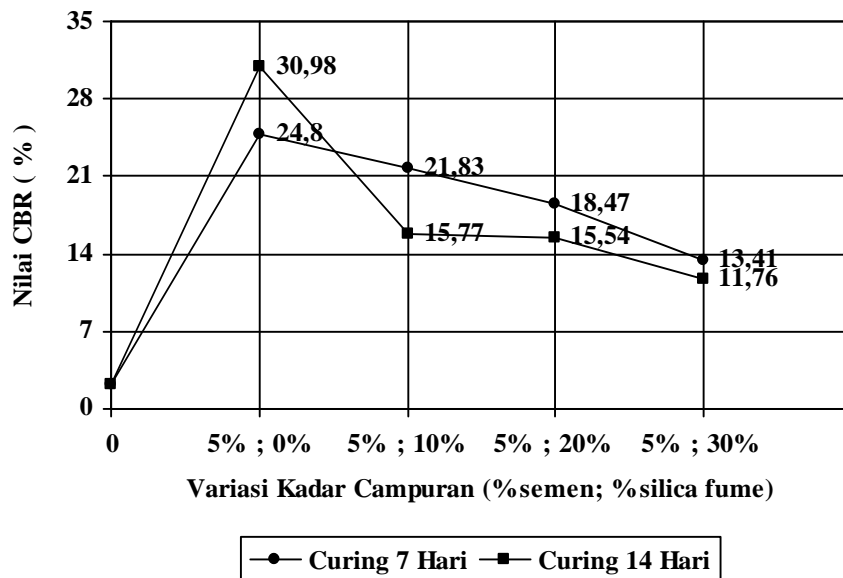
Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa tanah stabilisasi dengan tanpa menggunakan *silica fume* mempunyai grafik CBR lebih baik daripada tanah yang menggunakan *silica fume*. Dalam hal ini material semenlah yang berperan menaikkan grafik CBR. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin banyak kadar *silica fume* ditambahkan ke dalam tanah maka grafik CBR juga semakin mengalami penurunan.

Hasil dari pengujian CBR yang sudah dicampur dengan semen dan *silica fume* dengan waktu curing 14 hari dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik Pengujian CBR Tanah Campuran (Curing 14 hari).

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa tanah stabilisasi dengan tanpa menggunakan *silica fume* tetap mempunyai grafik CBR lebih baik dari pada tanah yang menggunakan *silica fume*. Walaupun pada saat pengujian CBR machine awal, grafik CBR untuk kadar *silica fume* 0 % lebih buruk dibandingkan yang lain, tetapi dengan cepat grafik CBR berubah drastis dan kembali ke posisi puncak.

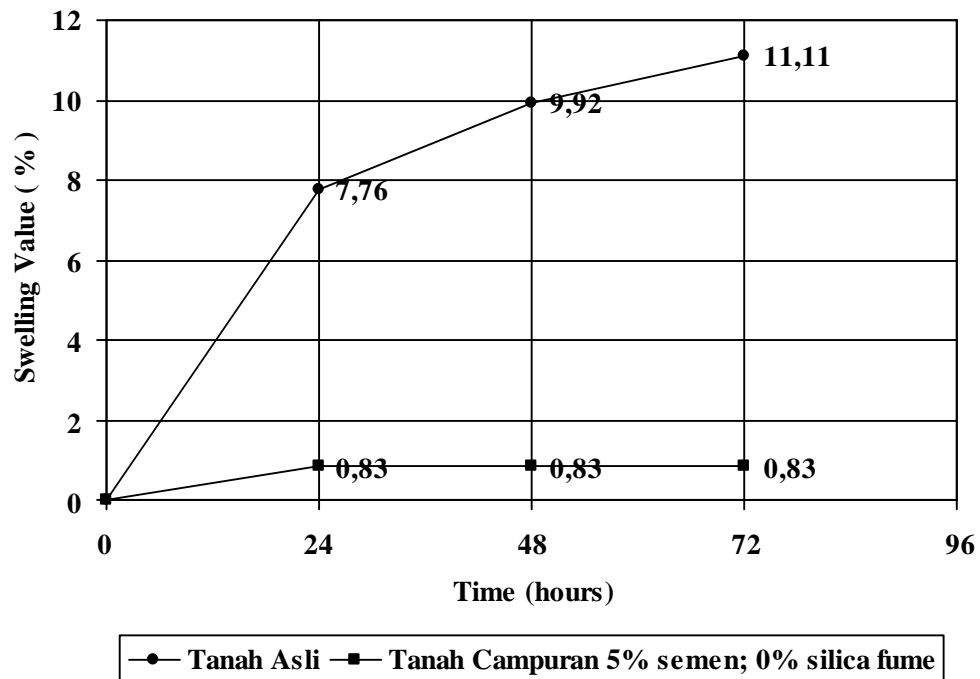


Gambar 4.17 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran (Curing 7 dan 14 hari).

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa nilai CBR optimum diperoleh pada campuran 5% semen tanpa *silica fume* pada masa curing 14 hari. Walaupun pada masa curing 14 hari kadar 10%, 20%, dan 30% *silica fume* lebih kecil dibandingkan dengan masa curing 7 hari. Ini menunjukkan bahwa pada kadar 5% semen tanpa *silica fume* pada masa curing 14 hari adalah yang paling baik nilai CBRnya.

4.2.2.3 Pengujian Kembang Bebas (*Free Swell Test*)

Pengujian *free swell* dilakukan hanya pada spesimen yang mempunyai nilai CBR yang optimal yaitu spesimen yang dicampur dengan 5 % semen, 0 % *silica fume* dan dicuring selama 14 hari di dalam wadah hampa udara. Pengujian dilakukan dengan memakai satu spesimen saja. Setelah melalui masa curing, spesimen ini direndam selama 3 hari di dalam alat consolidometer dan diukur pengembangan tanahnya tanpa dibebani dengan dial penetrasi. Pengukuran dilakukan selama 3x24 jam (3 hari) dan diukur tiap 24 jam seperti pengujian *free swell* tanah asli. Hasil dari pengujian *free swell* tanah stabilisasi dapat dilihat dan dibandingkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik Pengujian Free Swell Tanah Campuran (Curing 14 hari).

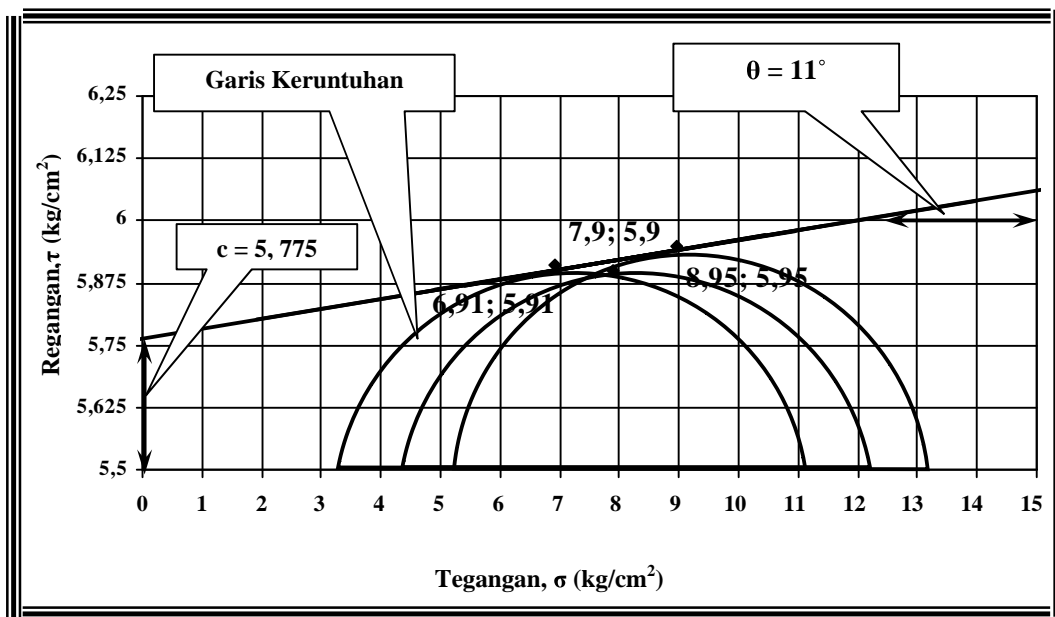
Dari Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa tanah stabilisasi dengan kadar semen 5% dan kadar silica fume 0 %, mampu memperbaiki sifat *swelling* tanah ekspansif yang besar. Pada saat perendaman selama 24 jam (1 hari), tanah campuran mengembang sebesar 0,83% dari ukuran semula.

Pada saat perendaman mencapai 48 jam (2 hari), dan 72 jam (3 hari) tanah campuran tidak mengembang lagi dan stabil pada angka sebesar 0,83%.

4.2.2.4 Pengujian Triaksial UU (*Triaxial Unconsolidated Undrained*)

Sama seperti pada pengujian *free swell* tanah campuran, pengujian triaksial tak terdrainasi dan tak terkonsolidasi juga hanya di lakukan pada spesimen yang mempunyai harga CBR yang optimal yaitu tanah dengan kadar 0% *silica fume* dan melalui masa curing selama 14 hari.

Untuk pengujian triaksial, spesimen yang dibuat yaitu sebanyak 3 buah untuk diberikan tekanan sel (σ_3) yang berbeda-beda yaitu masing-masing sebesar 1 kg/cm², 2 kg/cm², dan 3 kg/cm². Perhitungan dari hasil pengujian dapat dilihat di dalam Lampiran II B.4. Hasil olahan data dari laboratorium dihasilkan sebuah nilai berupa pusat dan radius dari lingkaran mohr. Pusat dan radius dari ketiga lingkaran tersebut diplot kedalam grafik dan ditarik garis singgung seperti yang terlihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Gambar Lingkaran Mohr Tanah Stabilisasi (Curing 14 hari).

Dari Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa garis singgung lingkaran yang merupakan garis keruntuhan tanah membentuk sebuah sudut yang merupakan sudut geser dalam tanah (ϕ) dan menghasilkan besarnya kohesi tanah (c). Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa tanah hasil stabilisasi mampu menaikkan kohesi dan juga mampu meningkatkan sudut geser dalam tanah asli. Kohesi tanah asli yang mula-mula sebesar $0,65 \text{ kg/cm}^2$, meningkat menjadi sebesar $5,775 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan sudut geser dalam yang mula-mula sebesar $6,95^\circ$, meningkat menjadi sebesar 11° .

4.3 Analisa Tanah Stabilisasi yang Optimum

Dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil tanah yang paling optimal dari pengujian CBR *soaked* yaitu spesimen dengan campuran semen 5% % tanpa *silica fume*, atau campuran semen dengan kadar 0 % *silica fume* serta telah melalui masa curing selama 14 hari. Tanah yang mempunyai nilai CBR yang optimal tersebut kemudian dibandingkan dengan tanah asli maupun dengan sumber-sumber penelitian dari sisi *index properties* dan *engineering properties*. Perbandingan tanah stabilisasi dengan tanah asli dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Resume Hasil Pengujian Tanah Stabilisasi Optimal

Pengujian		Hasil Pengujian Tanah Asli	Hasil Pengujian Tanah Stabilisasi Optimum
Berat Jenis	Gs (gr/cm^3)	2,67	2,76
Atterberg Limit	Batas Plastis, PL (%)	26,4	31,59
	Batas Cair, LL (%)	67,2	55,2
	Batas Susut, SL (%)	9,7	14,24
	Indeks Plastisitas, PI, (%)	40,8	23,61
Standard Proctor Test	γ_d (gr/cm^3)	1,61	1,62

Triaksial UU	c (kg/cm ²)	0,65	5,775
	θ (°)	6,95	11
Free Swell Test	Nilai Free Swell (%)	11,11	0,83
CBR Test	Nilai Swelling(%)	1,84	-0,18
	Nilai CBR (%)	2,13	30,98

Dari Tabel 4.4 tersebut dapat dianalisis beberapa hal yaitu sebagai berikut :

1. Pada pengujian berat jenis tanah asli dihasilkan berat jenis sebesar 2,67 % dan setelah mengalami pencampuran dengan semen dan *silica fume*, terlihat bahwa berat jenis tanah naik menjadi sebesar 2,76 %. Dari peneliti sebelumnya pada lokasi yang sama (Turmudi, 2008), diketahui pula bahwa semakin banyak bahan tambahan yang sifatnya mempunyai berat jenis lebih kecil dari pada tanah asli itu sendiri maka berat jenis campuran tanah tersebut juga akan semakin mengecil. Begitu juga sebaliknya, apabila semakin banyak bahan tambahan yang sifatnya mempunyai berat jenis lebih besar daripada tanah asli maka berat jenis tanah tersebut akan semakin membesar.
2. Pada pengujian batas plastis (PL) diketahui bahwa batas plastis tanah asli meningkat dari 26,4 % menjadi sebesar 31,59 %. Secara teori dengan kadar batas plastis yang semakin tinggi akibat bahan stabilisasi maka perbaikan tanah semakin dianggap berhasil,
3. Dari pengujian batas cair (LL) diketahui bahwa campuran tanah dengan semen % ditambah 0 % *silica fume* meningkat dari 67,2 menjadi 55,2. Secara teoritis jika tanah ditambahkan bahan stabilisasi, batas cair tanah akan semakin mengecil sehingga stabilisasi dapat dikatakan berhasil. Dari peneliti sebelumnya pada lokasi yang sama (Wisman, 1985), diketahui bahwa LL yang mengandung keekspansifan tanah yaitu tanah yang mempunyai nilai lebih dari 60 (lihat tabel 2.2). Ini menunjukkan bahwa tanah ekspansif yang distabilisasi dengan campuran semen semakin menurunkan nilai keekspansifannya.

4. Dari pengujian batas susut diketahui bahwa tanah stabilisasi mengalami peningkatan harga batas susut dari semula sebesar 9,7 % menjadi 14,24 %. Dalam hal ini bahan stabilisasi dapat dikatakan cukup berhasil karena mampu meningkatkan harga batas susut. Dari Tabel 2.4 dapat dilihat bahwa derajat keekspansifan dapat dikatakan sangat tinggi apabila batas susut yang didapatkan kurang dari 11 %
5. Dari pengujian Indeks Plasisitas diketahui bahwa tanah stabilisasi mengalami penurunan dari 40,8 menjadi 23,61. Dari Tabel 2.2 dikatakan bahwa tanah yang nilai Indeks Plastisitasnya >32 yaitu tanah yang mengandung unsur ekspansif. Ini menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dikatakan berhasil, karena stabilisasi dengan campuran semen 5% telah menurunkan kadar keeksfansifan tanah.
6. Dari pengujian pemadatan (Standart Proctor Test) tanah yang distabilisasi dapat menaikkan nilai kepadatan tanah walau hanya kecil. Ini menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dapat dikatakan berhasil.
7. Dari pengujian triaxial UU diketahui bahwa tanah stabilisasi nilai c dan θ mengalami kenaikan yang cukup drastis. Yang semula nilai c sebesar 0,65 dan nilai θ sebesar 6,95 distabilisasi menjadi 5,775 dan 11°. Ini menunjukkan bahwa tanah stabilisasi dengan 5% semen dapat menahan tekanan tanah dari berbagai arah menjadi lebih baik.
8. Dari pengujian *free swell* tanah yang distabilisasi dengan semen dapat menurunkan jauh nilai *free swell* (kembang susut tanahnya) dari 11,1% menjadi 0,83%. Ini menunjukkan bahwa dengan stabilisasi campuran 5% semen tanah yang mempunyai nilai kembang susut yang tinggi dapat dikurangi jauh nilai kembang susutnya tanah.
9. Telah diketahui pada pengujian *free swell* bahwa stabilisasi tanah dengan campuran 5% semen dapat dikurangi nilai kembang susutnya, begitu pula pada pengujian *swelling* CBR tanah yang distabilisasi dengan semen 5% dan dibebani dengan 4,5 kg membuat tanah tersebut menyusut hingga -0,18%.
10. Pengujian CBR adalah pengujian yang paling penting dilakukan dalam perencanaan konstruksi baik jalan, jembatan, maupun konstruksi bangunan. Pada pengujian CBR ini terjadi peningkatan yang sangat drastis yang semula hanya 2,13% bertambah menjadi 30,98%. Ini menunjukkan stabilisasi dengan

campuran 5% semen sangat berpengaruh menaikkan nilai CBRnya. Pada tabel 2.18 nilai CBR 20-50% merupakan nilai CBR yang baik.[]

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terhadap tanah ekspansif dari proyek perumahan Sentosa Cikarang yang telah diujikan pada tanah asli (tanpa campuran) maupun tanah yang dicampur dengan 5 % semen dan *silica fume* dengan kadar yang berbeda-beda sebagai bahan stabilisasi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian yang dilakukan terhadap nilai CBR dengan masa curing 7 dan 14 hari ternyata *silica fume* tidak dapat meningkatkan daya dukung tanah.
2. Penambahan campuran *silica fume* memberi pengaruh dapat menurunkan nilai CBR.
3. *Silica fume* berguna sebagai pengisi rongga (filler) pada tanah, bukan sebagai penambah kekuatan pada tanah.
4. Nilai CBR optimum didapat pada campuran 5% semen dan 0% *silica fume* dengan masa curing 14 hari.
5. Penambahan campuran 5% semen meningkatkan nilai daya dukung tanah (CBR) yang semula hanya sebesar 2,13 % menjadi 30,98 % sehingga dapat digunakan sebagai lapis tanah dasar yang cukup baik atau sebagai pondasi bawah (*sub base*).
6. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada tanah asli yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi, pengujian *indeks properties* maupun *engineering properties* didapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan tanah asli.
7. Penambahan campuran 5% semen dapat meningkatkan nilai *shrinkage limit* hingga 47%.
8. Penambahan campuran 5% semen dapat menurunkan nilai Indeks Plastisitas hingga 43%
9. Kadar semen 5% dapat menurunkan kembang bebas tanah (*free swell*) hingga 13 kali lebih kecil.

10. Kadar semen 5% dapat menurunkan *swelling pressure*.
11. Kadar semen 5% dapat menaikkan nilai c dan θ dalam pengujian *triaxial* sehingga dapat meningkatkan nilai tegangan geser tanahnya.

5.2 Saran

Pada kesimpulan yang penulis dapatkan dari pengujian ternyata tidak sesuai dengan hipotesa dan dari referensi pengujian yang telah dilakukan oleh Luis Tono Aspari (21499080) dan Sutikno Gautama (21499107), Universitas Kristen Petra di Surabaya, padahal dalam hal ini penulis sudah berusaha mengantisipasi kesalahan-kesalahan yang diakibatkan oleh human error sehingga penulis ingin menyampaikan saran kepada peneliti berikutnya yang ingin melanjutkan penelitian stabilisasi tanah ekspansif. Adapun saran yang ingin diberikan penulis adalah sebagai berikut :

1. Pada saat pengambilan sampel tanah dari lapangan, pilih sampel yang berada beberapa puluh sentimeter di bawah permukaan tanah dengan tujuan agar sampel yang didapat lebih bersih dan tidak tercampur dengan rumput-rumput maupun kotoran dipermukaan. Sehingga dalam pengujian tanah asli tidak mempengaruhi sifat atau karakteristik tanah ekspansif itu sendiri.
2. Sebelum melakukan pengujian di laboratorium terlebih dahulu diusahakan membuat *scadule* pengujian untuk mempermudah dalam melakukan penelitian stabilisasi tanah ekspansif agar dapat memaksimalkan waktu, tenaga dan keterbatasan alat yang ada di laboratorium.
3. Alat yang digunakan pada pengujian stabilisasi tanah ekspansif diharuskan dalam kondisi baik (normal) agar tidak mempengaruhi hasil dari pengujian yang dilakukan.
4. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar mencoba melakukan stabilisasi tanah ekspansif dengan campuran semen dan *silica fume* dengan kadar semen yang berbeda.
5. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar mencoba stabilisasi tanah ekspansif dengan campuran yang sama tetapi dengan masa *curing* kurang dari 7 hari dan lebih dari 14 hari. Untuk membandingkan bagaimana pengaruh masa *curing* pada stabilisasi tanah ekspansif.[]

DAFTAR PUSTAKA

Idrus.1991. *Stabilisasi pada Lempung Losari dengan Kapur dan Semen (Tesis)*,
Institut Teknologi Bandung (ITB) : Bandung.

Internet, *www.petra.com*.

Jitno, Hendra.1996. *Masalah Tanah Ekspansif dan Kaitannya dengan
Pembangunan Infrastruktur*, Institut Teknologi Bandung (ITB) : Bandung.

Koordinator Laboratorium Sipil.2001. *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah*,
Universitas Mercu Buana : Jakarta.

M. Das, Braja.1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid
1 dan 2*, Erlangga : Jakarta.

Nasution, Syarifuddin.1996. *Perbaikan Tanah*, Institut Teknologi Bandung (ITB)
: Bandung.

Vidayanti, Desiana.2005. *Modul Mata Kuliah Mekanika Tanah*, Universitas
Mercu Buana : Jakarta.

Lampiran I :**A. Data-Data Pengujian Index Properties Tanah Asli :****A.1 Pengujian Kadar Air (*Water Content*)****Spesimen 1**

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 38,8 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 32 gr

$$\begin{aligned} WI &= \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{38,8 - 32}{32 - 10} \times 100\% \\ &= \frac{6,8}{22} \times 100\% = 30,9\% \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 39 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 33 gr

$$\begin{aligned} WII &= \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{39 - 33}{33 - 10} \times 100\% \\ &= \frac{6}{23} \times 100\% = 26,1\% \end{aligned}$$

$$W \text{ rata-rata} = \frac{WI + WII}{2} \times 100\% = \frac{30,9\% + 26,1\%}{2} \times 100\% = 28,5\%$$

A.2 Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)**Spesimen 1**

W1 = Berat piknometer = 34,8 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 58,2 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 145,5 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 131 gr

$$\begin{aligned} GS \text{ I} &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{58,2 - 34,8}{(131 - 34,8) - (145,5 - 58,2)} \\ &= \frac{23,4}{8,9} = 2,63 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat piknometer = 32 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 58 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 140 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 123,6 gr

$$\begin{aligned} \text{GS II} &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{58 - 32}{(123,6 - 32) - (140 - 58)} \\ &= \frac{26}{9,6} = 2,71 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Persentase Kesalahan

$$\frac{GsI - GsII}{(GsI + GsII) : 2} \times 100\% = \frac{2,63 - 2,71}{(2,63 + 2,71) : 2} \times 100\% = \frac{0,08}{2,67} \times 100\% = 2,99 \%$$

$$\text{GS rata-rata} = \frac{GsI + GsII}{2} = \frac{2,63 + 2,71}{2} = 2,67 \text{ gr/cm}^3$$

A.3 Pengujian Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Pengujian batas-batas atterberg terdiri dari pengujian batas plastis (*Plastic Limit*), batas cair (*Liquid Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*).

A.3.1 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Spesimen 1

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,7 gr

$$\begin{aligned} \text{PL I} &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,7}{39,7 - 24} \times 100\% \\ &= \frac{4,3}{15,7} \times 100\% = 27\% \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,9 gr

$$\text{PL II} = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,9}{39,9 - 24} \times 100\%$$

$$= \frac{4,1}{15,9} \times 100\% = 25,79\%$$

$$PL \text{ rata-rata} = \frac{PLI + PLII}{2} = \frac{27 + 25,79}{2} = \frac{52,79}{2} = 26,395\% = 26,4\%$$

A.3.2 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Spesimen 1 (Jumlah ketukan = 27 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 34,6 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 24,8 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W1 = \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{34,6 - 24,8}{24,8 - 10} \times 100\%$$

$$= \frac{9,8}{14,8} \times 100\% = 66,22\%$$

Spesimen 2 (Jumlah ketukan = 22 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,2 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35,4 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 25 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W2 = \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35,4 - 25}{25 - 10,2} \times 100\%$$

$$= \frac{10,4}{14,8} \times 100\% = 70,27\%$$

Spesimen 3 (Jumlah ketukan = 29 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 25,4 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W3 = \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35 - 25,4}{25,4 - 10} \times 100\%$$

$$= \frac{9,6}{15,4} \times 100\% = 62,34\%$$

Spesimen 4 (Jumlah ketukan = 21 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35,6 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 25 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W4 &= \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35,6 - 25}{25 - 10} \times 100\% \\ &= \frac{10,6}{15} \times 100\% = 70,67\% \end{aligned}$$

A.3.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Spesimen 1

Ww = Berat tanah basah = 24,6 gr

Wd = Berat tanah kering = 14,8 gr

Vw = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{217 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,25 \text{ cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{\text{BJ air raksa}} = \frac{454 \text{ gr} - 338,5 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{115,5 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 8,65 \text{ cm}^3$$

Pw = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_1 = \frac{(Ww - Wd) - (Vw - Vd) \rho_w}{Ww} \times 100\%$$

$$SL_1 = \frac{(24,6 - 14,8) - (16,25 - 8,65) \cdot 1}{24,6} \times 100\% = 8,94\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_1) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{14,8 \text{ gr}}{8,65 \text{ cm}^3} = 1,71 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 2

Ww = Berat tanah basah = 25,2 gr

Wd = Berat tanah kering = 14,8 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{214,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,09 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{\text{BJ air raksa}} = \frac{454 \text{ gr} - 340,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{113,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 8,47 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm^3

$$SL_{II} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

$$SL_{II} = \frac{(25,2 - 14,8) - (16,09 - 8,47) \cdot 1}{25,2} \times 100\% = 11,03\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{II}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{14,8 \text{ gr}}{8,47 \text{ cm}^3} = 1,75 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 3

W_w = Berat tanah basah = 25 gr

W_d = Berat tanah kering = 15,4 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{215,5 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,14 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{\text{BJ air raksa}} = \frac{454 \text{ gr} - 342,5 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{111,5 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 8,35 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm^3

$$SL_{III} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_{III} = \frac{(25 - 15,4) - (16,14 - 8,35) \cdot 1}{25} \times 100\% = 7,24\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{III}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{15,4 \text{ gr}}{8,35 \text{ cm}^3} = 1,84 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 4

W_w = Berat tanah basah = 25,6 gr

W_d = Berat tanah kering = 15 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{213,5 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,99 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{454 \text{ gr} - 344,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{109,7 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 8,22 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{IV} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_{IV} = \frac{(25,6 - 15) - (15,99 - 8,22) \cdot 1}{25,6} \times 100\% = 11,05\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{IV}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{15 \text{ gr}}{8,22 \text{ cm}^3} = 1,82 \text{ gr/cm}^3$$

Shrinkage limit rata-rata (SL rata-rata) = (SL_I + SL_{II} + SL_{III} + SL_{IV}) % : 4

$$= (8,94 + 11,03 + 7,24 + 11,05) \% : 4$$

$$= 9,56 \%$$

Shrinkage ratio rata-rata (SR rata-rata) = (SR_I + SR_{II} + SR_{III} + SR_{IV}) gr/cm³ : 4

$$= (1,71 + 1,75 + 1,84 + 1,82) \text{ gr/cm}^3 : 4$$

$$= 1,78 \text{ gr/cm}^3$$

A.4 Hasil Pengujian Index Properties Tanah Asli

Pengujian	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Spesimen 4	Hasil
Kadar Air, W_c (%)	30,9	26,1	-	-	28,5
Berat Jenis, G_s (gr/cm ³)	2,63	2,71	-	-	2,67
Batas Plastis, PL (%)	27	25,79	-	-	26,4
Batas Cair, W_c (%)	66,22	70,27	62,34	70,67	67,2
Batas Susut, SL (%)	8,94	11,03	7,24	11,05	9,56
Rasio Susut, SR (gr/cm ³)	1,71	1,75	1,84	1,82	1,78

Indeks Plastisitas, PI (%)	PI = LL – PL, di mana LL yaitu pada saat 25 pukulan dan PL yaitu hasil rata-rata dari keempat spesimen	40,8
Indeks Kecairan, LI(%)	LI = $\frac{W_n - PL}{PI}$, di mana Wn = kadar air natural dan PL yaitu rata-rata keempat spesimen	0,04
Analisa Saringan (%)	Tanah yang lolos saringan nomor 200 ASTM	94,93

B. Data-Data Pengujian Engineering Properties Tanah Asli :

B.1 Pengujian Pemadatan Standard (*Standard Proctor Test*)

Data alat :

Berat mold = 1798 gr

Berat base plate = 1912 gr

Tinggi mold (t) = 11,7 cm

Diameter mold = 10,1 cm, r = 5 cm

Volume mold = $\pi \cdot r^2 \cdot t = 3,14 \cdot 5^2 \cdot 11,7 = 918,45 \text{ cm}^3$

γ = Berat volume basah (gr/cm^3)

W = Berat tanah padat dalam cetakan (gr)

V = Volume cetakan (cm^3)

w = Kadar air (%)

γ_d = Berat volume kering (gr/cm^3)

1. Kadar air 0 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1420 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,55 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}} = \frac{1,55}{1 + \frac{0}{100}} = \frac{1,55}{1+0} = 1,55 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

2. Kadar air 4 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1516 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,65 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,65}{1 + \frac{4}{100}} = 1,58 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

3. Kadar air 8 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1584 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,72 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,72}{1 + \frac{8}{100}} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

4. Kadar air 12 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1590 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,73 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,73}{1 + \frac{12}{100}} = 1,54 \text{ gr/cm}^3$$

5. Kadar air 16 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1667 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,81 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,81}{1 + \frac{16}{100}} = 1,56 \text{ gr/cm}^3$$

6. Kadar air 20 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1725 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,88 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,88}{1 + \frac{20}{100}} = 1,57 \text{ gr/cm}^3$$

7. Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1809 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,97 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,97}{1 + \frac{22}{100}} = 1,61 \text{ gr/cm}^3$$

8. Kadar air 23 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1802 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,96 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,96}{1 + \frac{23}{100}} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

9. Kadar air 25 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1797 \text{ gr}}{918,45 \text{ cm}^3} = 1,96 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,96}{1 + \frac{25}{100}} = 1,56 \text{ gr/cm}^3$$

Zero Air Void (ZAV)

GS = Berat jenis tanah (gr/cm^3)

W = Kadar air (%)

γ_w = Berat volume air = 1 gr/cm^3

$$\text{ZAV}(w = 0 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (0 \cdot 2,67) / 100} = 2,67 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 4 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (4 \cdot 2,67) / 100} = 2,41 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 8 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (8 \cdot 2,67) / 100} = 2,2 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 12 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (12 \cdot 2,67) / 100} = 2,02 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 16 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (16 \cdot 2,67) / 100} = 1,89 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 20 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (20 \cdot 2,67) / 100} = 1,74 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 22 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (22 \cdot 2,67) / 100} = 1,68 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 23 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (23 \cdot 2,67) / 100} = 1,65 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 25 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (25 \cdot 2,67) / 100} = 1,60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{ZAV}(w = 28 \%) = \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot GS) / Sr} = \frac{2,67 \cdot 1}{1 + (28 \cdot 2,67) / 100} = 1,53 \text{ gr/cm}^3$$

B.2 Pengujian Triaksial UU (*Triaxial Unconsolidated Undrained*)

Spesimen 1

Tinggi spesimen awal = $L_0 = 7,56$ cm

Diameter sampel awal = $d = 3,18$ cm, $r = 1,59$ cm

Berat cincin = 116,1 gr

Berat tanah basah = 164,5 gr

Luas penampang awal = $A_0 = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 1,59^2 = 7,94$ cm²

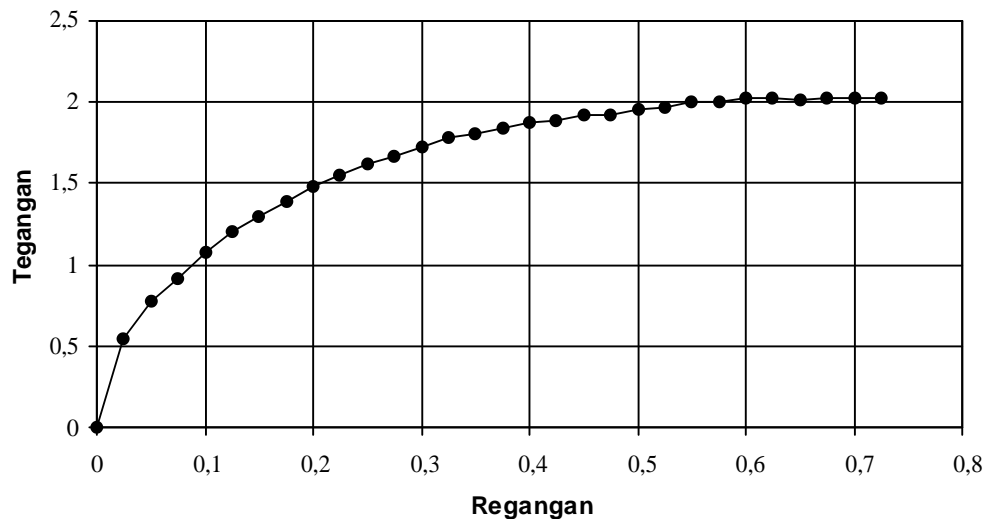
Tekanan sel = $\sigma_3 = 1$ kg/cm²

B.2.1 Hasil Pengujian Triaksial (Spesimen 1)

Deformasi dial reading (x 10 ⁻³)	Load Dial Reading (P)	Sample deformation (ΔL) Dalam cm	Unit strain (e) $\Delta L/L_0$	Area correction factor (1 - ($\Delta L/L_0$))	Correct Area	Deviator Stress ($\Delta\sigma$) P/A
					(A) Sq.in.cm $\frac{A_0}{(1 - (\Delta L/L_0))}$	
25	4,3	0,025	0,0033	0,9967	7,97	0,54
50	6,2	0,05	0,0066	0,9934	7,99	0,78
75	7,4	0,075	0,0099	0,9901	8,02	0,92
100	8,7	0,1	0,0132	0,9868	8,05	1,08
125	9,7	0,125	0,0165	0,9835	8,07	1,20
150	10,5	0,15	0,0198	0,9802	8,10	1,30
175	11,3	0,175	0,0231	0,9769	8,13	1,39
200	12,1	0,2	0,0264	0,9736	8,16	1,48
225	12,7	0,225	0,0297	0,9703	8,18	1,55
250	13,3	0,25	0,033	0,967	8,21	1,62
275	13,8	0,275	0,0363	0,9637	8,24	1,67
300	14,3	0,3	0,0396	0,9604	8,27	1,73
325	14,8	0,325	0,0429	0,9571	8,30	1,78
350	15,1	0,35	0,0462	0,9538	8,32	1,81
375	15,4	0,375	0,0496	0,9504	8,35	1,84
400	15,7	0,4	0,0529	0,9471	8,38	1,87
425	15,9	0,425	0,0562	0,9438	8,41	1,89
450	16,2	0,45	0,0595	0,9405	8,44	1,92
475	16,3	0,475	0,0628	0,9372	8,47	1,92

500	16,7	0,5	0,0661	0,9339	8,50	1,96
525	16,8	0,525	0,0694	0,9306	8,53	1,97
550	17,1	0,55	0,0727	0,9273	8,56	2,00
575	17,2	0,575	0,076	0,924	8,59	2,00
600	17,4	0,6	0,0794	0,9206	8,62	2,02
625	17,5	0,625	0,0827	0,9173	8,66	2,02
650	17,5	0,65	0,0859	0,9141	8,69	2,01
675	17,7	0,675	0,0893	0,9107	8,72	2,03
700	17,8	0,7	0,0926	0,9074	8,75	2,03
725	17,9	0,725	0,0959	0,9041	8,78	2,03

Grafik Hubungan antara Regangan dan Tegangan Tanah Asli (Spesimen 1)



Dari hasil pengujian triaksial, didapatkan nilai :

$$P_{\text{runtuh}} = 17,9 \text{ kg}$$

$$A_{\text{runtuh}} = 8,78 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{P}{A} = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{17,9 \text{ kg}}{8,78 \text{ cm}^2} = (\sigma_1 - 1 \text{ kg/cm}^2)$$

$$2,04 \text{ kg/cm}^2 = (\sigma_1 - 1 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\sigma_1 = 2,04 \text{ kg/cm}^2 + 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 3,04 \text{ kg/cm}^2$$

Pusat dan radius lingkaran I :

$$\text{Pusat} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{3,04 \text{ kg/cm}^2 + 1 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{4,04 \text{ kg/cm}^2}{2} = 2,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Radius} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3,04 \text{ kg/cm}^2 - 1 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{2,04 \text{ kg/cm}^2}{2} = 1,02 \text{ kg/cm}^2$$

Spesimen 2

Tinggi sampel awal = $L_0 = 7,56 \text{ cm}$

Diameter sampel awal = $d = 3,18 \text{ cm}$, $r = 1,59 \text{ cm}$

Berat cincin = $116,1 \text{ gr}$

Berat tanah basah = $165,5 \text{ gr}$

Volume awal = $V_0 = \pi \cdot r^2 \cdot L_0 = 3,14 \cdot 1,59^2 \cdot 7,56 = 7,94 \text{ cm}^3$

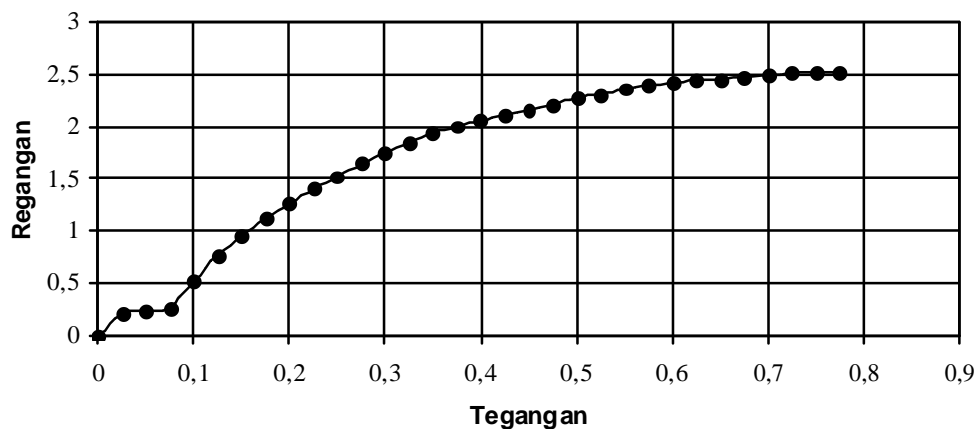
Tekanan sel = $\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$

B.2.2 Hasil Pengujian Triaksial (Spesimen 2)

Deformasi dial reading (x 10 ³)	Load Dial Reading (P)	Sample deformation (ΔL) Dalam cm	Unit strain (e) $\Delta L/L_0$	Area correction factor (1 - ($\Delta L/L_0$))	Correct Area (A) Sq.in.cm $\frac{A_0}{(1 - (\Delta L/L_0))}$	Deviator Stress ($\Delta\sigma$) P/A
25	1,7	0,025	0,0033	0,9967	7,97	0,21
50	1,9	0,05	0,0066	0,9934	7,99	0,24
75	2,2	0,075	0,0099	0,9901	8,02	0,27
100	4,2	0,1	0,0132	0,9868	8,05	0,52
125	6,2	0,125	0,0165	0,9835	8,07	0,77
150	7,7	0,15	0,0198	0,9802	8,10	0,95
175	9,1	0,175	0,0231	0,9769	8,13	1,12
200	10,3	0,2	0,0264	0,9736	8,16	1,26
225	11,5	0,225	0,0297	0,9703	8,18	1,41

250	12,5	0,25	0,033	0,967	8,21	1,52
275	13,5	0,275	0,0363	0,9637	8,24	1,64
300	14,5	0,3	0,0396	0,9604	8,27	1,75
325	15,3	0,325	0,0429	0,9571	8,30	1,84
350	16,1	0,35	0,0462	0,9538	8,32	1,94
375	16,7	0,375	0,0496	0,9504	8,35	2,00
400	17,2	0,4	0,0529	0,9471	8,38	2,05
425	17,7	0,425	0,0562	0,9438	8,41	2,10
450	18,2	0,45	0,0595	0,9405	8,44	2,16
475	18,7	0,475	0,0628	0,9372	8,47	2,21
500	19,3	0,5	0,0661	0,9339	8,50	2,27
525	19,7	0,525	0,0694	0,9306	8,53	2,31
550	20,2	0,55	0,0727	0,9273	8,56	2,36
575	20,5	0,575	0,076	0,924	8,59	2,39
600	20,8	0,6	0,0794	0,9206	8,62	2,41
625	21,1	0,625	0,0827	0,9173	8,66	2,44
650	21,3	0,65	0,0859	0,9141	8,69	2,45
675	21,5	0,675	0,0893	0,9107	8,72	2,47
700	21,8	0,7	0,0926	0,9074	8,75	2,49
725	22	0,725	0,0959	0,9041	8,78	2,51
750	22,2	0,75	0,0992	0,9008	8,81	2,51
775	22,2	0,775	0,1025	0,8975	8,85	2,51

Grafik Hubungan antara Regangan dan Tegangan Tanah Asli (Spesimen2)



Dari hasil pengujian triaksial, didapatkan nilai :

$$P_{\text{runtuh}} = 22,2 \text{ kg}$$

$$A_{\text{runtuh}} = 8,85 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{P}{A} = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{22,2 \text{ kg}}{8,85 \text{ cm}^2} = (\sigma_1 - 2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$2,50 \text{ kg/cm}^2 = (\sigma_1 - 2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\sigma_1 = 2,50 \text{ kg/cm}^2 + 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 4,50 \text{ kg/cm}^2$$

Pusat dan radius lingkaran II :

$$\text{Pusat} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{4,50 \text{ kg/cm}^2 + 2 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{6,5 \text{ kg/cm}^2}{2} = 3,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Radius} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{4,50 \text{ kg/cm}^2 - 2 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{2,50 \text{ kg/cm}^2}{2} = 1,25 \text{ kg/cm}^2$$

B.3 Pengujian Kembang Bebas (*Free Swell Test*)

Spesimen 1

Tinggi tanah awal = $t_o = 2,11 \text{ cm}$

Diameter tanah = 5,89 cm, jari-jari = $r = 2,94 \text{ cm}$

Volume tanah awal = $V_o = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,11 = 57,27 \text{ cm}^3$

Berat tanah sebelum direndam = 192 gr

Berat tanah sesudah direndam = $W_o = 206 \text{ gr}$

Berat tanah setelah dioven = $W_r = 158,2 \text{ gr}$

$$\% \text{ kadar air yang terserap} = \frac{W_o - W_r}{W_r} \times 100\% = \frac{206 - 158,2}{158,2} \times 100\% = 29,6\%$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,26 \text{ cm}$

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,26 = 61,34 \text{ cm}^3$

$$\% \text{ Nilai free swell tanah (24 jam)} = \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{61,34 - 57,27}{57,27} \times 100\% = 7,11\%$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,34$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,34 = 63,51$ cm³

% Nilai *free swell* tanah (48 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{63,51 - 57,27}{57,27} \times 100\% = 10,89\%$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,39$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,39 = 64,87$ cm³

% Nilai *free swell* tanah (72 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{64,87 - 57,27}{57,27} \times 100\% = 13,27\%$

Spesimen 2

Tinggi tanah = 1,9 cm

Diameter tanah = 5,87 cm, jari-jari = $r = 2,94$ cm

Volume tanah awal = volume tabung = $\pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 1,9 = 51,57$ cm³

Berat tanah sebelum direndam = 136 gr

Berat tanah sesudah direndam = 146 gr

Berat tanah setelah dioven = 113 gr

% kadar air yang terserap = $\frac{146 - 113}{113} \times 100\% = 29,2\%$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,06$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,06 = 55,91$ cm³

% Nilai *free swell* tanah (24 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{55,91 - 51,57}{51,57} \times 100\% = 8,42\%$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,07 = 56,18$ cm³

% Nilai *free swell* tanah (48 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{56,18 - 51,57}{51,57} \times 100\% = 8,94\%$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (2,94)^2 \times 2,07 = 56,18$ cm³

$$\% \text{ Nilai free swell tanah (72 jam)} = \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{56,18 - 51,57}{51,57} \times 100\% = 8,94\%$$

Besar nilai *free swell* setiap 24 jam selama 3 hari didapat dari nilai rata-rata tiap spesimen:

$$\text{Nilai free swell 24 jam} = (7,11\% + 8,42\%) : 2 = 7,76\%$$

$$\text{Nilai free swell 48 jam} = (10,89\% + 8,94\%) : 2 = 9,92\%$$

$$\text{Nilai free swell 72 jam} = (13,27\% + 8,94\%) : 2 = 11,11\%$$

B.4 Pengujian CBR Terendam (*California Bearing Ratio Soaked*)

B.4.1 Perhitungan Swelling CBR Terendam

Swelling CBR Spesimen 1 :

Diameter tanah = 14,59 cm, r = 7,29 cm

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,08$ cm

$$\text{Volume tanah awal} = V_o = \pi \times r^2 \times t_o = 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,08 = 1848,95 \text{ cm}^3$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,22$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} &= V_r = \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,22 = 1872,31 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1872,31 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,26\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,23$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} &= V_r = \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,23 = 1873,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1873,98 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,35\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,27$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,27 = 1880,65 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1880,65 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,71\% \end{aligned}$$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

$$\text{Tinggi tanah setelah direndam} = t_r = 11,28 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,28 = 1882,32 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1882,32 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,80\% \end{aligned}$$

Swelling CBR Spesimen 2 :

$$\text{Diameter tanah} = 14,59 \text{ cm, } r = 7,29 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi tanah} = 11,08 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tanah} = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,08 = 1848,95 \text{ cm}^3$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

$$\text{Tinggi tanah setelah direndam} = t_r = 11,24 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,24 = 1875,65 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1875,65 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,44\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

$$\text{Tinggi tanah setelah direndam} = t_r = 11,26 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,26 = 1878,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1878,98 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,62\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,27$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,27 = 1880,65 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1880,65 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,71\% \end{aligned}$$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,29$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,29 = 1883,99 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1883,99 - 1848,95}{1848,95} \times 100\% = 1,89\% \end{aligned}$$

Besar nilai *swelling* setiap 24 jam selama 4 hari didapat dari nilai rata-rata tiap spesimen:

$$\text{Nilai } swelling \text{ 24 jam} = (1,26 \% + 1,44 \%) : 2 = 1,35 \%$$

$$\text{Nilai } swelling \text{ 48 jam} = (1,35 \% + 1,62 \%) : 2 = 1,48 \%$$

$$\text{Nilai } swelling \text{ 72 jam} = (1,71 \% + 1,71 \%) : 2 = 1,71 \%$$

$$\text{Nilai } swelling \text{ 96 jam} = (1,80 \% + 1,89 \%) : 2 = 1,84 \%$$

B.4.2 Perhitungan CBR Machine

Spesimen 1 :

Diameter tanah = 14,59 cm, $r = 7,29$ cm

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,08$ cm

$$\text{Volume tanah awal} = V_o = \pi \times r^2 \times t_o = 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,08 = 1848,95 \text{ cm}^3$$

Mold + base plate + baja alas = 15800 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19820 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 4020 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19890 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 4090 gr

Kadar air :

Cawan = w1 = 10 gr

Tanah basah + cawan = w2 = 39,5 gr

Tanah kering + cawan = w3 = 33,5 gr

$$w = \frac{w2 - w3}{w3 - w1} \times 100\% = \frac{39,5 - 33,5}{33,5 - 10} \times 100\% = 25,5\%$$

B.4.1 Hasil Pengujian CBR Machine (Spesimen 1)

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	4	34,00
0,5	0,025	5	42,50
1	0,05	6	51,00
1,5	0,075	6,5	55,25
2	0,10	7,5	63,75
3	0,15	9	76,50
4	0,20	10,1	85,85
6	0,30	12,9	109,65
8	0,40	15,5	131,75
10	0,50	18,1	153,85

Keterangan :

* LRC = 8,5

$$\text{Harga CBR untuk } 0,1'' \text{ rumus harga CBR} = \frac{63,75}{3 \times 1000} \times 100 = 2,125 \%$$

$$\text{Harga CBR untuk } 0,2'' \text{ rumus harga CBR} = \frac{85,85}{3 \times 1500} \times 100 = 1,91 \%$$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR sebesar 2,02 %.

Spesimen 2 :

Diameter tanah = 14,59 cm, r = 7,29 cm

Tinggi tanah = 11,08 cm

$$\text{Volume tanah} = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,29)^2 \times 11,08 = 1848,95 \text{ cm}^3$$

Mold + base plate + baja alas = 15800 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19829,5 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 4029,5 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19915 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 4115 gr

Kadar air :

Cawan = w1 = 10 gr

Tanah basah + cawan = w2 = 39,2 gr

Tanah kering + cawan = w3 = 34 gr

$$w = \frac{w2 - w3}{w3 - w1} \times 100\% = \frac{39,2 - 34}{34 - 10} \times 100\% = 21,7\%$$

B.4.2 Hasil Pengujian CBR Machine (Spesimen 2)

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	5,5	46,75
0,5	0,025	6,1	51,85
1	0,05	6,6	56,10
1,5	0,075	7,2	61,20
2	0,10	7,9	67,15
3	0,15	9,3	79,05
4	0,20	11,8	100,30

6	0,30	13	110,50
8	0,40	16,7	141,95
10	0,50	19,3	164,05

Keterangan :

* LRC = 8,5

$$\text{Harga CBR untuk 0,1'' rumus harga CBR} = \frac{67,15}{3 \times 1000} \times 100 = 2,24 \%$$

$$\text{Harga CBR untuk 0,2'' rumus harga CBR} = \frac{100,30}{3 \times 1500} \times 100 = 2,23 \%$$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR sebesar 2,24 %.

Setelah diketahui nilai CBR dari kedua spesimen maka hasilnya dapat dirata-rata dan disimpulkan bahwa nilai CBR tanah asli adalah sebesar 2,13 %.

Lampiran II :**A. Data-Data Pengujian Index Properties Tanah Campuran :****A.1 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)****Campuran 1 (5 % semen + 0 % *silica fume*)****Spesimen 1**

W1 = Berat piknometer = 36,3 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 59gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 144,7 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 130,2 gr

$$\begin{aligned} Gs I &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{59 - 36,3}{(130,2 - 36,3) - (144,7 - 59)} \\ &= \frac{22,7}{8,2} = 2,77 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat piknometer = 34,6 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 58,5 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 142,7 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 127,5 gr

$$\begin{aligned} Gs II &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{58,5 - 34,6}{(127,5 - 34,6) - (142,7 - 58,5)} \\ &= \frac{23,9}{8,7} = 2,75 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Persentase Kesalahan

$$\frac{GsI - GsII}{(GsI + GsII) : 2} \times 100\% = \frac{2,77 - 2,75}{(2,77 + 2,75) : 2} \times 100\% = \frac{0,02}{2,76} \times 100\% = 0,72 \%$$

$$Gs \text{ rata-rata Campuran 1} = \frac{GsI + GsII}{2} = \frac{2,77 + 2,75}{2} = 2,76 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % *silica fume*)**Spesimen 1**

W1 = Berat piknometer = 24,7 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 45,7 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 136,2 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 123,7 gr

$$\begin{aligned}
 Gs I &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{45,7 - 24,7}{(123,7 - 24,7) - (136,2 - 45,7)} \\
 &= \frac{21}{8,5} = 2,47 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat piknometer = 32,5 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 60,2 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 143,5 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 127,3 gr

$$\begin{aligned}
 Gs II &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{60,2 - 32,5}{(127,3 - 32,5) - (143,5 - 60,2)} \\
 &= \frac{27,7}{11,5} = 2,41 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Persentase Kesalahan

$$\frac{GsI - GsII}{(GsI + GsII) : 2} \times 100\% = \frac{2,47 - 2,41}{(2,47 + 2,41) : 2} \times 100\% = \frac{0,06}{2,44} \times 100\% = 2,46\%$$

$$Gs \text{ rata-rata Campuran 2} = \frac{GsI + GsII}{2} = \frac{2,47 + 2,41}{2} = 2,44 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % silica fume)**Spesimen 1**

W1 = Berat piknometer = 36,8 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 58,5 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 148,5 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 136 gr

$$\begin{aligned}
 Gs I &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{58,5 - 36,8}{(136 - 36,8) - (148,5 - 58,5)} \\
 &= \frac{21,7}{9,2} = 2,36 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat piknometer = 35 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 57,6 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 141,26 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 128,4 gr

$$\begin{aligned} Gs \text{ II} &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{57,6 - 35}{(128,4 - 35) - (141,26 - 57,6)} \\ &= \frac{22,6}{9,74} = 2,32 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Persentase Kesalahan

$$\frac{GsI - GsII}{(GsI + GsII) : 2} \times 100\% = \frac{2,36 - 2,32}{(2,36 + 2,32) : 2} \times 100\% = \frac{0,04}{2,34} \times 100\% = 1,7 \%$$

$$Gs \text{ rata-rata Campuran 3} = \frac{GsI + GsII}{2} = \frac{2,36 + 2,32}{2} = 2,34 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % silica fume)**Spesimen 1**

W1 = Berat piknometer = 36,3 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 58,3 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 142,6 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 130,2 gr

$$\begin{aligned} Gs \text{ I} &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{58,3 - 36,3}{(130,2 - 36,3) - (142,6 - 58,3)} \\ &= \frac{22}{9,6} = 2,29 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat piknometer = 33,5 gr

W2 = Berat piknometer + Berat tanah kering = 55,8 gr

W3 = Berat piknometer + Berat tanah kering + Berat air = 147,39 gr

W4 = Berat piknometer + Berat air = 132 gr

$$\begin{aligned} Gs \text{ II} &= \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} = \frac{55,8 - 33,5}{(132 - 33,5) - (147,39 - 58,8)} \\ &= \frac{22,3}{9,91} = 2,25 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Persentase Kesalahan

$$\frac{GsI - GsII}{(GsI + GsII) : 2} \times 100\% = \frac{2,29 - 2,25}{(2,29 + 2,25) : 2} \times 100\% = \frac{0,04}{2,27} \times 100\% = 1,76\%$$

$$Gs \text{ rata-rata Campuran 4} = \frac{GsI + GsII}{2} = \frac{2,29 + 2,25}{2} = 2,27 \text{ gr/cm}^3$$

A. 2 Batas-batas Atterberg (Atterberg Limit)**A.2.1 Batas Plastis (Plastic Limit)****Campuran 1 (5 % semen + 0 % silica fume)****Spesimen 1**

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,1 gr

$$\begin{aligned} PL \text{ I} &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,1}{39,1 - 24} \times 100\% \\ &= \frac{4,9}{15,1} \times 100\% = 32,45\% \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,3 gr

$$\begin{aligned} PL \text{ II} &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,3}{39,3 - 24} \times 100\% \\ &= \frac{4,7}{15,3} \times 100\% = 30,72\% \end{aligned}$$

$$PL \text{ rata-rata} = \frac{PLI + PLII}{2} = \frac{32,45 + 30,72}{2} = \frac{63,17}{2} = 31,59\%$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % silica fume)**Spesimen 1**

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,7 gr

$$PL \text{ II} = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,7}{39,7 - 24} \times 100\%$$

$$= \frac{4,3}{15,7} \times 100\% = 27,39\%$$

Spesimen 2

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 40 gr

$$PL II = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 40}{40 - 24} \times 100\%$$

$$= \frac{4}{16} \times 100\% = 25\%$$

$$PL \text{ rata-rata} = \frac{PLI + PLII}{2} = \frac{27,39 + 25}{2} = \frac{52,39}{2} = 26,19\%$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % silica fume)**Spesimen 1**

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,6 gr

$$PL II = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,6}{39,6 - 24} \times 100\%$$

$$= \frac{4,4}{15,6} \times 100\% = 28\%$$

Spesimen 2

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,5 gr

$$PL II = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{44 - 39,5}{39,5 - 24} \times 100\%$$

$$= \frac{4,5}{15,5} \times 100\% = 29,03\%$$

$$PL \text{ rata-rata} = \frac{PLI + PLII}{2} = \frac{28 + 29,03}{2} = 28,52 \%$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % *silica fume*)**Spesimen 1**

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,7 gr

$$\begin{aligned} PL I &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% = \frac{44 - 39,7}{39,7 - 24} \times 100\% \\ &= \frac{4,3}{15,7} \times 100\% = 27,39\% \end{aligned}$$

Spesimen 2

W1 = Berat cawan = 24 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 44 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 39,6 gr

$$\begin{aligned} PL II &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% = \frac{44 - 39,6}{39,6 - 24} \times 100\% \\ &= \frac{4,4}{15,6} \times 100\% = 28,21\% \end{aligned}$$

$$PL \text{ rata-rata} = \frac{PLI + PLII}{2} = \frac{27,39 + 28,21}{2} = \frac{55,6}{2} = 27,8\%$$

A.2.2 Batas Cair (*Liquid Limit*)**Campuran 1 (5 % semen + 0 % *silica fume*)****Spesimen 1 (Jumlah ketukan = 21 ketukan)**

W1 = Berat cawan = 10,3 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 36,7 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 26,6 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% = \frac{36,7 - 26,6}{26,6 - 10,3} \times 100\% \\ &= \frac{10,1}{16,3} \times 100\% = 61,96\% \end{aligned}$$

Spesimen 2 (Jumlah ketukan = 24 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,5 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 37 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 27,5 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W2 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{37 - 27,5}{27,5 - 10,5} \times 100\% \\ &= \frac{9,5}{17} \times 100\% = 55,88\% \end{aligned}$$

Spesimen 3 (Jumlah ketukan = 26 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,3 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 36,5 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 27,6 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W3 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{36,5 - 27,6}{27,6 - 10,3} \times 100\% \\ &= \frac{9}{17,3} \times 100\% = 52,02\% \end{aligned}$$

Spesimen 4 (Jumlah ketukan = 28 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,3 gr

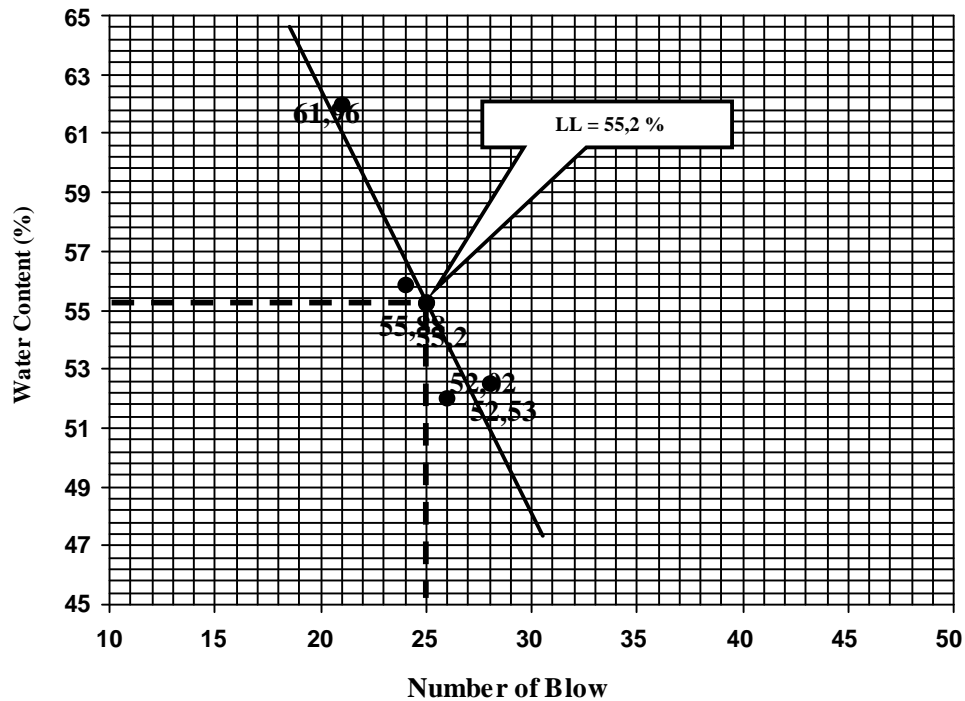
W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 36,2 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 27,3 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W4 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{36,2 - 27,3}{27,3 - 10,3} \times 100\% \\ &= \frac{8,9}{17} \times 100\% = 52,35\% \end{aligned}$$



Campuran 2 (5 % semen + 10 % silica fume)

Spesimen 1 (Jumlah ketukan = 27 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,5 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 36 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 27,1 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W1 = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{36 - 27,1}{27,1 - 10,5} \times 100\%$$

$$= \frac{8,9}{16,6} \times 100\% = 53,6 \%$$

Spesimen 2 (Jumlah ketukan = 24 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,5 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35,2 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 25,7 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W3 = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35,2 - 25,7}{25,7 - 10,5} \times 100\%$$

$$= \frac{9,5}{15,2} \times 100\% = 62,5\%$$

Spesimen 3 (Jumlah ketukan = 29 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35,8 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 26,5 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W3 = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35,8 - 26,5}{26,5 - 10} \times 100\%$$

$$= \frac{9,3}{16,5} \times 100\% = 56,36\%$$

Spesimen 4 (Jumlah ketukan = 22 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,4 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35 gr

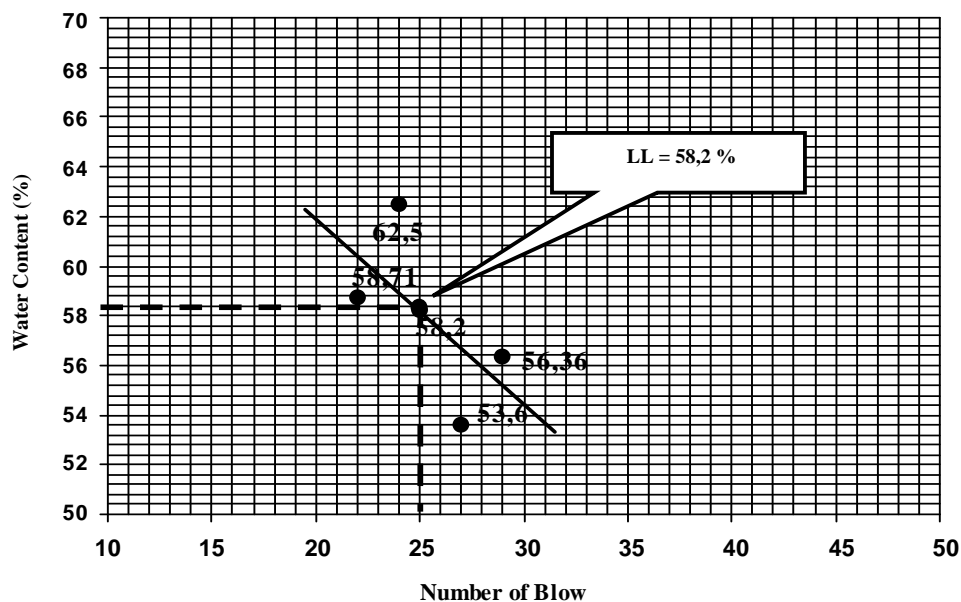
W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 25,9 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$W4 = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35 - 25,9}{25,9 - 10,4} \times 100\%$$

$$= \frac{9,1}{15,5} \times 100\% = 58,71\%$$



Campuran 3 (5 % semen + 20 % *silica fume*)**Spesimen 1 (Jumlah ketukan = 22 ketukan)**

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 37,5 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 28,5 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W1 &= \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{37,5 - 28,5}{28,5 - 10} \times 100\% \\ &= \frac{9}{18,5} \times 100\% = 48,65\% \end{aligned}$$

Spesimen 2 (Jumlah ketukan = 24 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,3 gr

W2 = Berat tanah basah lagi+ Berat cawan = 37,6 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 28 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W2 &= \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{37,6 - 28}{28 - 10,3} \times 100\% \\ &= \frac{9,6}{17,7} \times 100\% = 54,24\% \end{aligned}$$

Spesimen 3 (Jumlah ketukan = 26 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,3 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 37,9 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 28,1 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W3 &= \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{37,9 - 28,1}{28,1 - 10,3} \times 100\% \\ &= \frac{9,8}{17,8} \times 100\% = 55,06\% \end{aligned}$$

Spesimen 4 (Jumlah ketukan = 29 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,4 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 37,6 gr

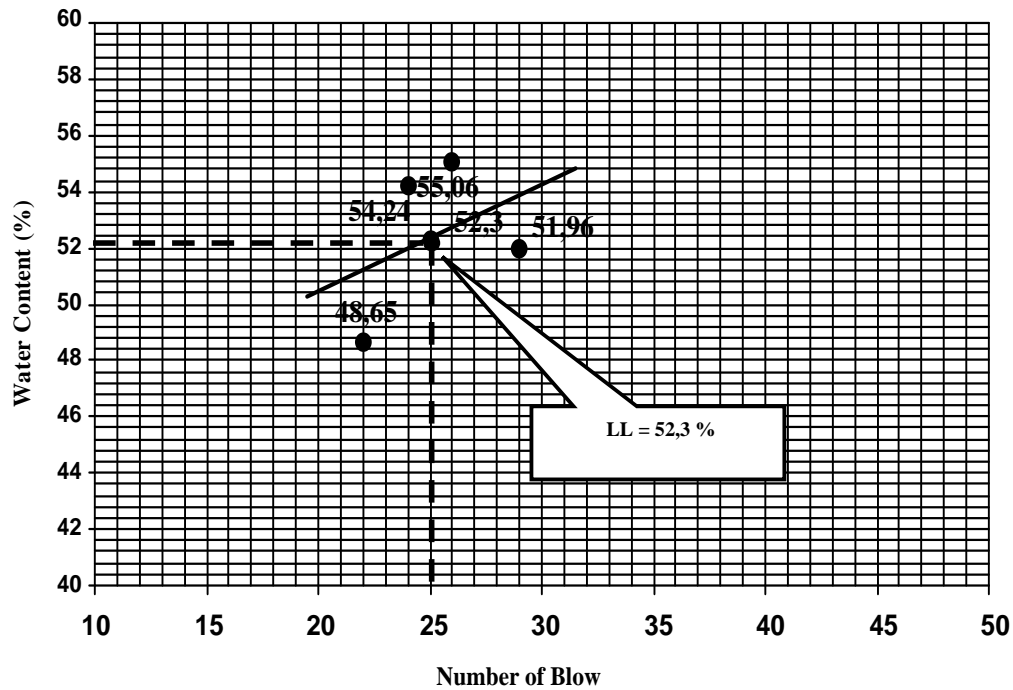
$W3 = \text{Berat tanah kering} + \text{Berat cawan} = 28,3 \text{ gr}$

$Mw = \text{Berat air (gram)}$

$Ms = \text{Berat tanah kering (gram)}$

$$W4 = \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{37,6 - 28,3}{28,3 - 10,4} \times 100\%$$

$$= \frac{9,3}{17,9} \times 100\% = 51,96 \%$$



Campuran 4 (5 % semen + 30 % *silica fume*)

Spesimen 1 (Jumlah ketukan = 21 ketukan)

$W1 = \text{Berat cawan} = 10,5 \text{ gr}$

$W2 = \text{Berat tanah basah} + \text{Berat cawan} = 38,1 \text{ gr}$

$W3 = \text{Berat tanah kering} + \text{Berat cawan} = 28,9 \text{ gr}$

$Mw = \text{Berat air (gram)}$

$Ms = \text{Berat tanah kering (gram)}$

$$W1 = \frac{Mw}{Ms} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{38,1 - 28,9}{28,9 - 10,5} \times 100\%$$

$$= \frac{9,2}{18,4} \times 100\% = 50\%$$

Spesimen 2 (Jumlah ketukan = 28 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35,5 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 26,7 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W2 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35,5 - 26,7}{26,7 - 10} \times 100\% \\ &= \frac{8,8}{16,7} \times 100\% = 52,7\% \end{aligned}$$

Spesimen 3 (Jumlah ketukan = 26 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10 gr

W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 37,2 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 28,4 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W3 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{37,2 - 28,4}{28,4 - 10} \times 100\% \\ &= \frac{8,8}{18,4} \times 100\% = 47,83\% \end{aligned}$$

Spesimen 4 (Jumlah ketukan = 24 ketukan)

W1 = Berat cawan = 10,3 gr

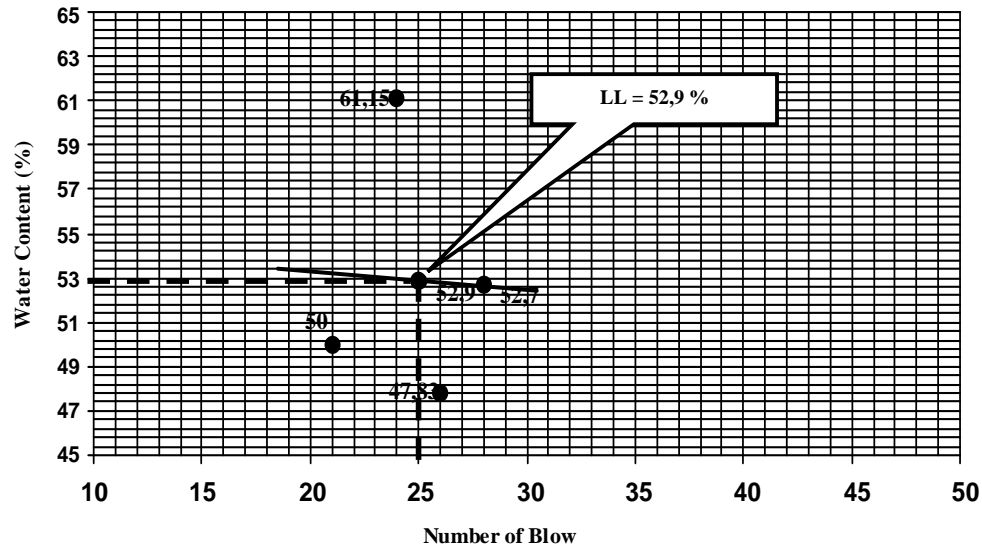
W2 = Berat tanah basah + Berat cawan = 35,6 gr

W3 = Berat tanah kering + Berat cawan = 26 gr

Mw = Berat air (gram)

Ms = Berat tanah kering (gram)

$$\begin{aligned} W4 &= \frac{M_w}{M_s} \times 100\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\% = \frac{35,6 - 26}{26 - 10,3} \times 100\% \\ &= \frac{9,6}{15,7} \times 100\% = 61,15\% \end{aligned}$$



A.2.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Campuran 1 (5 % semen + 0 % silica fume)

Spesimen 1

W_w = Berat tanah basah = 26,4 gr

W_d = Berat tanah kering = 16,3 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{214,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,09 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 335,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{137,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,33 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_l = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d)\rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_l = \frac{(26,4 - 16,3) - (16,09 - 10,33) \cdot 1}{26,4} \times 100\% = 16,44\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_l) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{16,3 \text{ gr}}{10,33 \text{ cm}^3} = 1,58 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 2

W_w = Berat tanah basah = 26,5 gr

W_d = Berat tanah kering = 17 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{210,7 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,78 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 329,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{143,4 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,74 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{II} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

$$SL_{II} = \frac{(26,5 - 17) - (15,78 - 10,74) \cdot 1}{26,5} \times 100\% = 16,83 \%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{II}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{17 \text{ gr}}{10,74 \text{ cm}^3} = 1,58 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 3

W_w = Berat tanah basah = 26,2 gr

W_d = Berat tanah kering = 17,3 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{213,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,96 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 329,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{143,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,78 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{III} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

$$SL_{III} = \frac{(26,2 - 17,3) - (15,96 - 10,78) \cdot 1}{26,2} \times 100\% = 14,19 \%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{III}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{17,3 \text{ gr}}{10,78 \text{ cm}^3} = 1,6 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 4

W_w = Berat tanah basah = 25,9 gr

W_d = Berat tanah kering = 17 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{214,7 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,08 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 329,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{143,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,78 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{IV} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_{IV} = \frac{(25,9 - 17) - (16,08 - 10,78) \cdot 1}{25,9} \times 100\% = 13,89\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{IV}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{17 \text{ gr}}{10,78 \text{ cm}^3} = 1,58 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage limit rata-rata (SL rata-rata)} &= (SL_I + SL_{II} + SL_{III} + SL_{IV}) \% : 4 \\ &= (16,44 + 16,83 + 14,19 + 13,89) \% : 4 \\ &= 15,34 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage ratio rata-rata (SR rata-rata)} &= (SR_I + SR_{II} + SR_{III} + SR_{IV}) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= (1,58 + 1,58 + 1,6 + 1,58) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= 1,59 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % silica fume)**Spesimen 1**

W_w = Berat tanah basah = 25,5 gr

W_d = Berat tanah kering = 16,6 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{215,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,13 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 328,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{144,4 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,82 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm^3

$$SL_I = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d)\rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_I = \frac{(25,5 - 16,6) - (16,13 - 10,82) \cdot 1}{25,5} \times 100\% = 14,08\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_I) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{16,6 \text{ gr}}{10,82 \text{ cm}^3} = 1,53 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 2

W_w = Berat tanah basah = 24,7 gr

W_d = Berat tanah kering = 15,2 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{213,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,96 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 340,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{132,4 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 9,92 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm^3

$$SL_{II} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d)\rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_{II} = \frac{(24,7 - 15,2) - (15,96 - 9,92) \cdot 1}{24,7} \times 100\% = 13,99\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{II}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{15,2 \text{ gr}}{9,92 \text{ cm}^3} = 1,53 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 3

W_w = Berat tanah basah = 25,8 gr

W_d = Berat tanah kering = 16,5 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{213,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,96 \text{ cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 334,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{138,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,40 \text{ cm}^3$$

Pw = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{III} = \frac{(Ww - Wd) - (Vw - Vd) \rho_w}{Ww} \times 100 \%$$

$$SL_{III} = \frac{(25,8 - 16,5) - (15,96 - 10,4) \cdot 1}{25,8} \times 100\% = 14,5 \%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{III}) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{16,5 \text{ gr}}{10,4 \text{ cm}^3} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 4

Ww = Berat tanah basah = 24,6 gr

Wd = Berat tanah kering = 15,5 gr

Vw = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{212,6 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,93 \text{ cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 334,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{138,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,36 \text{ cm}^3$$

Pw = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{IV} = \frac{(Ww - Wd) - (Vw - Vd) \rho_w}{Ww} \times 100 \%$$

$$SL_{IV} = \frac{(24,6 - 15,5) - (15,93 - 10,36) \cdot 1}{24,6} \times 100\% = 14,37 \%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{IV}) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{15,5 \text{ gr}}{10,36 \text{ cm}^3} = 1,5 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage limit rata-rata (SL rata-rata)} &= (SL_I + SL_{II} + SL_{III} + SL_{IV}) \% : 4 \\ &= (14,08 + 13,99 + 14,5 + 14,37) \% : 4 \\ &= 14,24 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage ratio rata-rata (SR rata-rata)} &= (SR_I + SR_{II} + SR_{III} + SR_{IV}) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= (1,53 + 1,53 + 1,59 + 1,5) \text{ gr/cm}^3 : 4 \end{aligned}$$

$$= 1,54 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % *silica fume*)

Spesimen 1

W_w = Berat tanah basah = 27,5 gr

W_d = Berat tanah kering = 18,5 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{212,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,95 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 305,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{167,4 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 12,54 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_I = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_I = \frac{(27,5 - 18,5) - (15,95 - 12,54) \cdot 1}{27,5} \times 100\% = 20,33\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_I) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{18,5 \text{ gr}}{12,54 \text{ cm}^3} = 1,48 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 2

W_w = Berat tanah basah = 27,2 gr

W_d = Berat tanah kering = 17,9 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{214,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,04 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{W_{hg1} - W_{hg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 312,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{160,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 12,05 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{II} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100\%$$

$$SL_{II} = \frac{(27,2 - 17,9) - (16,04 - 12,05) \cdot 1}{27,2} \times 100\% = 19,54\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{II}) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{17,9\text{gr}}{12,05\text{cm}^3} = 1,49 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 3

Ww = Berat tanah basah = 27,6 gr

Wd = Berat tanah kering = 17,8 gr

Vw = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{214,7\text{gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,08\text{cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{\text{Whg1} - \text{Whg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 311,3\text{gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{161,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 12,13 \text{ cm}^3$$

Pw = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{III} = \frac{(Ww - Wd) - (Vw - Vd) \rho_w}{Ww} \times 100 \%$$

$$SL_{III} = \frac{(27,6 - 17,8) - (16,08 - 12,13) \cdot 1}{27,6} \times 100\% = 21,18\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{III}) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{17,8\text{gr}}{12,13\text{cm}^3} = 1,47 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 4

Ww = Berat tanah basah = 27,3 gr

Wd = Berat tanah kering = 17,7 gr

Vw = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{213,7 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,01 \text{ cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{\text{Whg1} - \text{Whg2}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 312,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{160,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 12,01 \text{ cm}^3$$

Pw = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{IV} = \frac{(Ww - Wd) - (Vw - Vd) \rho_w}{Ww} \times 100 \%$$

$$SL_{IV} = \frac{(27,3 - 17,7) - (16,01 - 12,01) \cdot 1}{27,3} \times 100\% = 20,51\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{IV}) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{17,7 \text{ gr}}{12,01 \text{ cm}^3} = 1,47 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage limit rata-rata (SL rata-rata)} &= (SL_I + SL_{II} + SL_{III} + SL_{IV}) \% : 4 \\ &= (20,33 + 19,54 + 21,18 + 20,51) \% : 4 \\ &= 20,39 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage ratio rata-rata (SR rata-rata)} &= (SR_I + SR_{II} + SR_{III} + SR_{IV}) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= (1,48 + 1,49 + 1,47 + 1,47) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= 1,48 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % silica fume)

Spesimen 1

Ww = Berat tanah basah = 27,6 gr

Wd = Berat tanah kering = 18,4 gr

Vw = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{214,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 16,04 \text{ cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{\text{BJ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 310,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{162,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 12,20 \text{ cm}^3$$

Pw = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_I = \frac{(Ww - Wd) - (Vw - Vd) \rho_w}{Ww} \times 100\%$$

$$SL_I = \frac{(27,6 - 18,4) - (16,04 - 12,20) \cdot 1}{27,6} \times 100\% = 19,44\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_I) = \frac{Wd}{Vd} = \frac{18,4 \text{ gr}}{12,2 \text{ cm}^3} = 1,51 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 2

Ww = Berat tanah basah = 25,5 gr

Wd = Berat tanah kering = 16,7 gr

Vw = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{\text{BJ air raksa}} = \frac{210,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,79 \text{ cm}^3$$

Vd = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 325,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{147,4 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 11,04 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{II} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

$$SL_{II} = \frac{(25,5 - 16,7) - (15,79 - 11,04) \cdot 1}{25,5} \times 100\% = 15,89\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{II}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{16,7 \text{ gr}}{11,04 \text{ cm}^3} = 1,51 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 3

W_w = Berat tanah basah = 27,2 gr

W_d = Berat tanah kering = 18,4 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{213,1 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,96 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 313,4 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{159,8 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 11,97 \text{ cm}^3$$

P_w = Berat volume air = 1 gr/cm³

$$SL_{III} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

$$SL_{III} = \frac{(27,2 - 18,4) - (15,96 - 11,97) \cdot 1}{27,2} \times 100\% = 17,67\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{III}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{18,4 \text{ gr}}{11,97 \text{ cm}^3} = 1,54 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen 4

W_w = Berat tanah basah = 25,3 gr

W_d = Berat tanah kering = 15,7 gr

V_w = Volume tanah basah = Volume air raksa

$$= \frac{\text{Berat air raksa}}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{211 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 15,81 \text{ cm}^3$$

V_d = Volume tanah kering = Volume air raksa yang tumpah

$$= \frac{Whg1 - Whg2}{BJ \text{ air raksa}} = \frac{473,2 \text{ gr} - 335,3 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = \frac{137,9 \text{ gr}}{13,35 \text{ gr/cm}^3} = 10,33 \text{ cm}^3$$

$$P_w = \text{Berat volume air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$SL_{IV} = \frac{(W_w - W_d) - (V_w - V_d) \rho_w}{W_w} \times 100 \%$$

$$SL_{IV} = \frac{(25,3 - 15,7) - (15,81 - 10,33) \cdot 1}{25,3} \times 100\% = 16,3\%$$

$$\text{Shrinkage Ratio}(SR_{IV}) = \frac{W_d}{V_d} = \frac{15,7 \text{ gr}}{10,33 \text{ cm}^3} = 1,52 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage limit rata-rata (SL rata-rata)} &= (SL_I + SL_{II} + SL_{III} + SL_{IV}) \% : 4 \\ &= (19,44 + 15,89 + 17,67 + 16,3) \% : 4 \\ &= 17,33 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Shrinkage ratio rata-rata (SR rata-rata)} &= (SR_I + SR_{II} + SR_{III} + SR_{IV}) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= (1,51 + 1,51 + 1,54 + 1,52) \text{ gr/cm}^3 : 4 \\ &= 1,52 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

B. Data-Data Pengujian *Engineering Properties* Tanah Campuran :

B. 1 Pengujian Pemadatan Standard (*Standard Proctor Test*)

$$\gamma = \text{Berat volume basah (gr/cm}^3\text{)}$$

$$W = \text{Berat tanah padat dalam cetakan (gr)}$$

$$V = \text{Volume cetakan (cm}^3\text{)}$$

$$w = \text{Kadar air (\%)}$$

$$\gamma_d = \text{Berat volume kering (gr/cm}^3\text{)}$$

B.1.1 Curing Usia 7 Hari

Campuran 1 (5 % semen + 0 % *silica fume*)

Data Alat :

$$\text{Berat mold} = 15550 \text{ gr}$$

$$\text{Tinggi mold (t)} = 11,07 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter tanah} = 14,6 \text{ cm, } r = 7,3 \text{ cm}$$

$$\text{Volume mold} = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3$$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3758 \text{ gr}}{1852,35 \text{ cm}^3} = 2,03 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{2,03}{1 + \frac{22}{100}} = 1,66 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % silica fume)

Data Alat :

Berat mold = 15800 gr

Tinggi mold (t) = 11,1 cm

Diameter tanah = 14,59 cm, r = 7,3 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3647 \text{ gr}}{1857,37 \text{ cm}^3} = 1,96 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,96}{1 + \frac{22}{100}} = 1,61 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % silica fume)

Data Alat :

Berat mold = 15750 gr

Tinggi mold (t) = 11,05 cm

Diameter tanah = 14,56 cm, r = 7,28 cm

Volume mold = $\pi \cdot r^2 \cdot t = 3,14 \cdot 7,28^2 \cdot 11,05 = 1838,89 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3621 \text{ gr}}{1838,89 \text{ cm}^3} = 1,97 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,97}{1 + \frac{22}{100}} = 1,61 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % silica fume)

Data Alat :

Berat mold = 15500 gr

Tinggi mold (t) = 11,04 cm

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Volume mold = $\pi \cdot r^2 \cdot t = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,04 = 1847,33 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3555 \text{ gr}}{1847,33 \text{ cm}^3} = 1,92 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,92}{1 + \frac{22}{100}} = 1,57 \text{ gr/cm}^3$$

B.1.2 Curing Usia 14 Hari

Campuran 1 (5 % semen + 0 % *silica fume*)

Data Alat :

Berat mold = 15550 gr

Tinggi mold (t) = 11,07 cm

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Volume mold = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3665 \text{ gr}}{1852,35 \text{ cm}^3} = 1,98 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,98}{1 + \frac{22}{100}} = 1,62 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % *silica fume*)

Data Alat :

Berat mold = 15800 gr

Tinggi mold (t) = 11,1 cm

Diameter tanah = 14,59 cm, r = 7,3 cm

Volume mold = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3533 \text{ gr}}{1857,37 \text{ cm}^3} = 1,9 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,9}{1 + \frac{22}{100}} = 1,56 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % silica fume)

Data Alat :

Berat mold = 15750 gr

Tinggi mold (t) = 11,05 cm

Diameter tanah = 14,56 cm, r = 7,28 cm

Volume mold = $\pi \cdot r^2 \cdot t = 3,14 \cdot 7,28^2 \cdot 11,05 = 1838,89 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3487 \text{ gr}}{1838,89 \text{ cm}^3} = 1,89 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,89}{1 + \frac{22}{100}} = 1,55 \text{ gr/cm}^3$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % silica fume)

Data Alat :

Berat mold = 15500 gr

Tinggi mold (t) = 11,04 cm

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Volume mold = $\pi \cdot r^2 \cdot t = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,04 = 1847,33 \text{ cm}^3$

Kadar air 22 %

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3389 \text{ gr}}{1847,33 \text{ cm}^3} = 1,83 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} = \frac{1,83}{1 + \frac{22}{100}} = 1,5 \text{ gr/cm}^3$$

B. 2 Pengujian CBR Terendam (CBR Soaked)

B.2.1 Waktu Curing 7 Hari

B.2.1.1 Perhitungan Swelling CBR Soaked

Campuran 1 (5% semen + 0 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_0 = 11,07 \text{ cm}$

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Volume tanah awal = $V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,09 \text{ cm}$

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,09 = 1855,7 \text{ cm}^3$

% Nilai *swelling* tanah (24 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\%$
 $= \frac{1855,7 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = 0,18\%$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,08 \text{ cm}$

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,08 = 1854,02 \text{ cm}^3$

% Nilai *swelling* tanah (48 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\%$
 $= \frac{1854,02 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = 0,09\%$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,1 \text{ cm}$

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$

% Nilai *swelling* tanah (72 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\%$
 $= \frac{1857,37 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = 0,27\%$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,1 \text{ cm}$

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,34 = 1857,37 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1857,37 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = 0,27\% \end{aligned}$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,1$ cm

Diameter tanah = 14,59 cm, $r = 7,3$ cm

Volume tanah awal = $V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1852,35 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = -0,27\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,06$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,06 = 1850,68 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1850,68 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = -0,36\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1852,35 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = -0,27\% \end{aligned}$$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,07$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1852,35 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = -0,27\% \end{aligned}$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,05$ cm

Diameter tanah = 14,56 cm, $r = 7,28$ cm

$$\text{Volume tanah awal} = V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,28^2 \cdot 11,05 = 1838,89 \text{ cm}^3$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,09$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,09 = 1845,54 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1845,54 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,09$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,09 = 1845,54 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1845,54 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,09$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,09 = 1845,54 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1845,54 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,09$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,09 = 1845,54 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1845,54 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,04$ cm

Diameter tanah = 14,6 cm, $r = 7,3$ cm

$$\text{Volume tanah awal} = V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,04 = 1847,33 \text{ cm}^3$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,72\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,72\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,72\% \end{aligned}$$

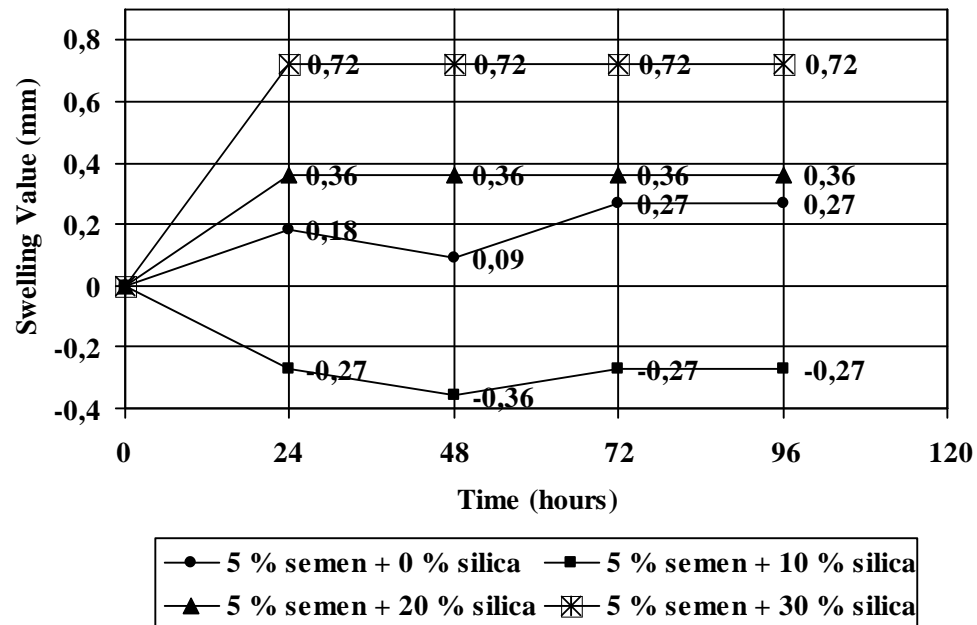
d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,72\% \end{aligned}$$

Grafik Swelling CBR Tanah Stabilisasi (Curing 7 hari)



B.2.2 Waktu Curing 14 Hari

B.2.2.1 Perhitungan Swelling CBR Soaked

Campuran 1 (5% semen + 0 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,07$ cm

Diameter tanah = 14,6 cm, $r = 7,3$ cm

Volume tanah awal = $V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,07 = 1852,35$ cm³

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,05$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,05 = 1849$ cm³

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1849 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = -0,18\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,05$ cm

$$\begin{aligned}\text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,05 = 1849 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Nilai swelling tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1849 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = -0,18\%\end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

$$\text{Tinggi tanah setelah direndam} = t_r = 11,05 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,05 = 1849 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Nilai swelling tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1849 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = -0,18\%\end{aligned}$$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

$$\text{Tinggi tanah setelah direndam} = t_r = 11,05 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,34 = 1849 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Nilai swelling tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1849 - 1852,35}{1852,35} \times 100\% = -0,18\%\end{aligned}$$

Campuran 2 (5 % semen + 10 % silica fume)

$$\text{Tinggi tanah awal} = t_o = 11,1 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter tanah} = 14,59 \text{ cm}, r = 7,3 \text{ cm}$$

$$\text{Volume tanah awal} = V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

$$\text{Tinggi tanah setelah direndam} = t_r = 11,12 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = 0,18\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = 0,18\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = 0,18\% \end{aligned}$$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,12$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} = V_r &= \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,12 = 1860,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% Nilai swelling tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1860,72 - 1857,37}{1857,37} \times 100\% = 0,18\% \end{aligned}$$

Campuran 3 (5 % semen + 20 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,05$ cm

Diameter tanah = 14,56 cm, $r = 7,28$ cm

Volume tanah awal = $V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,28^2 \cdot 11,05 = 1838,89 \text{ cm}^3$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,08$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,08 = 1843,88 \text{ cm}^3$

% Nilai *swelling* tanah (24 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\%$
 $= \frac{1843,88 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,27\%$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,09$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,09 = 1845,54 \text{ cm}^3$

% Nilai *swelling* tanah (48 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\%$
 $= \frac{1845,54 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,36\%$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,1$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,1 = 1847,21 \text{ cm}^3$

% Nilai *swelling* tanah (72 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\%$
 $= \frac{1847,21 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,45\%$

d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,1$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,1 = 1847,21 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1847,21 - 1838,89}{1838,89} \times 100\% = 0,45\% \end{aligned}$$

Campuran 4 (5 % semen + 30 % silica fume)

Tinggi tanah awal = $t_o = 11,04$ cm

Diameter tanah = 14,6 cm, $r = 7,3$ cm

Volume tanah awal = $V_o = \pi \cdot r^2 \cdot t_o = 3,14 \cdot 7,3^2 \cdot 11,04 = 1847,33$ cm³

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35$ cm³

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (24 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1852,35 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,27\% \end{aligned}$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35$ cm³

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai } swelling \text{ tanah (48 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1852,35 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,27\% \end{aligned}$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,07$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r$
 $= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35$ cm³

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (72 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1852,35 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,27\% \end{aligned}$$

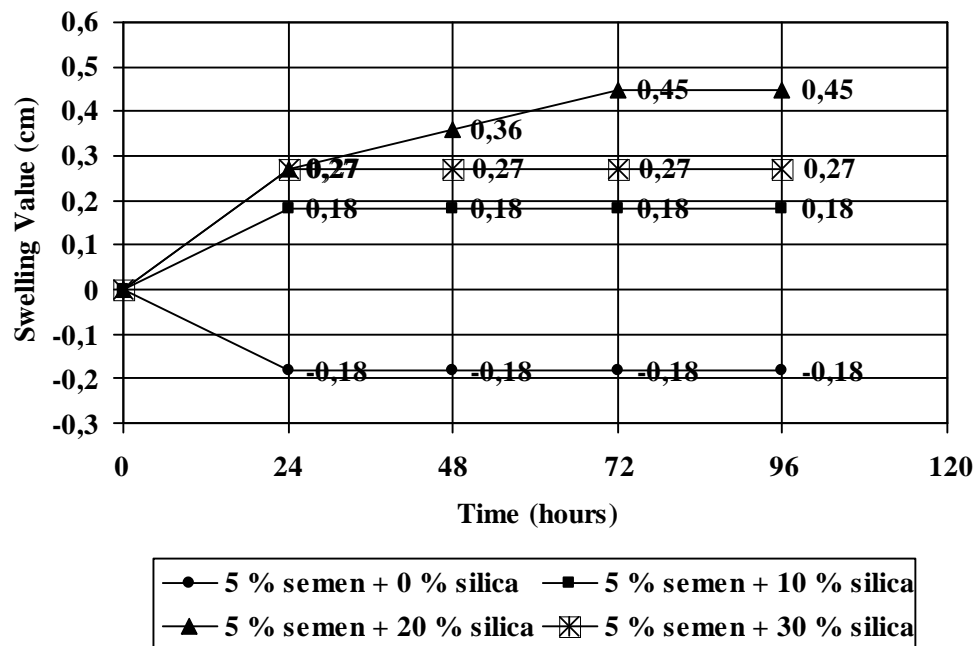
d. Pengembangan 4 hari (96 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 11,08$ cm

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah setelah direndam} &= V_r = \pi \times r^2 \times t_r \\ &= 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,08 = 1854,02 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Nilai swelling tanah (96 jam)} &= \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% \\ &= \frac{1854,02 - 1847,33}{1847,33} \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

Grafik Pengujian Swelling CBR Tanah Stabilisasi (Curing 14 hari).



B.2.3 Pengujian CBR Machine Terendam (California Bearing Ratio Soaked)

A.2.3.1 Curing 7 Hari

Campuran 1 (semen 5% + 0% silica fume)

Diameter tanah = 14,6 cm, $r = 7,3$ cm

Tinggi tanah = 11,07 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1852,35 \text{ cm}^3$

Mold + base plate + baja alas = 15550 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19308 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3758 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19439 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3889 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	60	510,00
0,5	0,025	90	765,00
1	0,05	98	833,00
1,5	0,075	99	841,50
2	0,10	101	858,50
3	0,15	106	901,00
4	0,20	111	943,50
6	0,30	118	1003,00
8	0,40	122	1037,00
10	0,50	144	1224,00

Keterangan :

* LRC = 8,5

Harga CBR untuk 0,1" rumus harga CBR = $\frac{429,25}{3 \times 1000} \times 100 = 28,62 \%$

Harga CBR untuk 0,2" rumus harga CBR = $\frac{471,75}{3 \times 1500} \times 100 = 20,97 \%$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

sebesar $\frac{28,62 + 20,97}{2} = 24,8 \%$.

Campuran 2 (semen 5% + 10% *silica fume*)

Diameter tanah = 14,59 cm, r = 7,3 cm

Tinggi tanah = 11,1 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$

Mold + base plate + baja alas = 15800 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19447 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3647 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19620 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3820 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	38	323,00
0,5	0,025	64	544,00
1	0,05	85	722,50
1,5	0,075	87	739,50
2	0,10	92	782,00
3	0,15	92	782,00
4	0,20	93	790,50
6	0,30	100	850,00
8	0,40	110	935,00
10	0,50	121	1028,50

Keterangan :

* LRC = 8,5

Harga CBR untuk 0,1" rumus harga CBR = $\frac{782}{3 \times 1000} \times 100 = 26,1 \%$

Harga CBR untuk 0,2" rumus harga CBR = $\frac{790,50}{3 \times 1500} \times 100 = 17,57 \%$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

sebesar $\frac{26,1 + 17,57}{2} = 21,83 \%$.

Campuran 3 (semen 5% + 20% silica fume)

Diameter tanah = 14,56 cm, r = 7,28 cm

Tinggi tanah = 11,05 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,05 = 1838,89 \text{ cm}^3$

Mold + base plate + baja alas = 15750 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19371 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3621 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19570,7 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3820,7 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	19	161,50
0,5	0,025	48	408,00
1	0,05	54	459,00
1,5	0,075	68	578,00
2	0,10	77	654,50
3	0,15	80	680,00
4	0,20	80	680,00
6	0,30	88	748,00
8	0,40	98	833,00
10	0,50	104	884,00

Keterangan :

* LRC = 8,5

Harga CBR untuk 0,1" rumus harga CBR = $\frac{654,5}{3 \times 1000} \times 100 = 21,82 \%$

Harga CBR untuk 0,2" rumus harga CBR = $\frac{680}{3 \times 1500} \times 100 = 15,1 \%$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

sebesar $\frac{10,91 + 7,56}{2} = 18,47 \%$.

Campuran 4 (semen 5% + 30% *silica fume*)

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Tinggi tanah = 11,04 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,04 = 1847,33 \text{ cm}^3$

Mold + base plate + baja alas = 15500 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19055 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3555 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19344 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3844 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	15	127,50
0,5	0,025	22	187,00
1	0,05	31	263,50
1,5	0,075	43	365,50
2	0,10	52	442,00
3	0,15	62	527,00
4	0,20	64	544,00
6	0,30	71	603,50
8	0,40	77	654,50
10	0,50	88	748,00

Keterangan :

* LRC = 8,5

Harga CBR untuk 0,1" rumus harga CBR = $\frac{442}{3 \times 1000} \times 100 = 14,73 \%$

Harga CBR untuk 0,2" rumus harga CBR = $\frac{544}{3 \times 1500} \times 100 = 12,09 \%$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

sebesar $\frac{14,73 + 12,09}{2} = 13,41 \%$.

B.2.3.2 Curing 14 Hari**Campuran 1 (semen 5% + 0% silica fume)**

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Tinggi tanah = 11,07 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,07 = 1.852,35 \text{ cm}^3$

Mold + base plate + baja alas = 15.550 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19.215 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3.665 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19.349 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3.799 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	6	51,00
0,5	0,025	20	170,00
1	0,05	100	850,00
1,5	0,075	108	918,00
2	0,10	120	1020,00
3	0,15	130	1105,00
4	0,20	148	1258,00
6	0,30	150	1275,00
8	0,40	153	1300,50
10	0,50	159	1351,50

Keterangan :

* LRC = 8,5

Harga CBR untuk 0,1" rumus harga CBR = $\frac{1020}{3 \times 1000} \times 100 = 34 \%$

Harga CBR untuk 0,2" rumus harga CBR = $\frac{1258}{3 \times 1500} \times 100 = 27,96 \%$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

$$\text{sebesar } \frac{34 + 27,96}{2} = 30,98 \%$$

Campuran 2 (semen 5% + 10% *silica fume*)

Diameter tanah = 14,59 cm, r = 7,3 cm

Tinggi tanah = 11,1 cm

$$\text{Volume tanah} = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,1 = 1857,37 \text{ cm}^3$$

Mold + base plate + baja alas = 15800 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19333 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3533 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19464 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3664 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	56	476,00
0,5	0,025	58	493,00
1	0,05	60	510,00
1,5	0,075	61	518,50
2	0,10	63	535,50
3	0,15	67	569,50
4	0,20	72,5	616,25
6	0,30	87	739,50
8	0,40	102	867,00
10	0,50	115	977,50

Keterangan :

* LRC = 8,5

$$\text{Harga CBR untuk 0,1'' rumus harga CBR} = \frac{535,5}{3 \times 1000} \times 100 = 17,85 \%$$

Harga CBR untuk 0,2" rumus harga CBR = $\frac{616,25}{3 \times 1500} \times 100 = 13,7 \%$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

sebesar $\frac{17,85 + 13,7}{2} = 15,77 \%$.

Campuran 3 (semen 5% + 20% silica fume)

Diameter tanah = 14,56 cm, r = 7,28 cm

Tinggi tanah = 11,05 cm

Volume tanah = $\pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,28)^2 \times 11,05 = 1838,86 \text{ cm}^3$

Mold + base plate + baja alas = 15750 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 19237 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3487 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19486 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3736 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	49	416,50
0,5	0,025	58,5	497,25
1	0,05	59	501,50
1,5	0,075	59,5	505,75
2	0,10	63	535,50
3	0,15	64	544,00
4	0,20	70	595,00
6	0,30	85	722,50
8	0,40	100	850,00
10	0,50	107	909,50

Keterangan :

* LRC = 8,5

$$\text{Harga CBR untuk 0,1'' rumus harga CBR} = \frac{535,5}{3 \times 1000} \times 100 = 17,85 \%$$

$$\text{Harga CBR untuk 0,2'' rumus harga CBR} = \frac{595}{3 \times 1500} \times 100 = 13,22 \%$$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

$$\text{sebesar } \frac{17,85 + 13,22}{2} = 15,54 \%$$

Campuran 4 (semen 5% + 30% silica fume)

Diameter tanah = 14,6 cm, r = 7,3 cm

Tinggi tanah = 11,04 cm

$$\text{Volume tanah} = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times (7,3)^2 \times 11,04 = 1847,33 \text{ cm}^3$$

Mold + base plate + baja alas = 15500 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (sebelum direndam) = 18889 gr

Berat tanah basah (sebelum direndam) = 3389 gr

Mold + base plate + baja alas + tanah basah (setelah direndam) = 19185 gr

Berat tanah basah (setelah direndam) = 3685 gr

Hasil Pengujian CBR Machine

Waktu (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji	Beban (lb) Kol. (3) x LRC*
(1)	(2)	(3)	(4)
0,25	0,0125	36	306,00
0,5	0,025	40	340,00
1	0,05	42	357,00
1,5	0,075	45	382,50
2	0,10	47	399,50
3	0,15	51	433,50
4	0,20	54	459,00
6	0,30	60	510,00
8	0,40	69	586,50
10	0,50	81	688,50

Keterangan :

* LRC = 8,5

$$\text{Harga CBR untuk 0,1'' rumus harga CBR} = \frac{399,5}{3 \times 1000} \times 100 = 13,32 \%$$

$$\text{Harga CBR untuk 0,2'' rumus harga CBR} = \frac{459}{3 \times 1500} \times 100 = 10,2 \%$$

Kedua harga CBR tersebut kemudian dirata-rata dan menghasilkan nilai CBR

$$\text{sebesar } \frac{13,32 + 10,2}{2} = 11,76 \%$$

B.3 Pengujian Kembang Bebas (*Free Swell Test*)

Spesimen campuran semen 5 % dan *silica fume* 0 % dengan waktu curing 14 hari

Tinggi tanah awal = $t_o = 2,41$ cm

Diameter tanah = 6,51 cm, jari-jari = $r = 3,26$ cm

$$\text{Volume tanah awal} = V_o = \pi \times r^2 \times t_o = 3,14 \times (3,26)^2 \times 2,41 = 80,42 \text{ cm}^3$$

Berat tanah sebelum direndam = 157,7 gr

Berat tanah sesudah direndam = $W_o = 158,3$ gr

Berat tanah setelah dioven = $W_r = 136,4$ gr

$$\% \text{ kadar air yang terserap} = \frac{W_o - W_r}{W_r} \times 100\% = \frac{158,3 - 136,4}{136,4} \times 100\% = 16,06\%$$

a. Pengembangan 1 hari (24 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,43$ cm

$$\text{Volume tanah setelah direndam} = V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (3,26)^2 \times 2,43 = 81,09 \text{ cm}^3$$

$$\% \text{ Nilai free swell tanah (24 jam)} = \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{81,09 - 80,42}{80,42} \times 100\% = 0,83\%$$

b. Pengembangan 2 hari (48 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,43$ cm

$$\text{Volume tanah setelah direndam} = V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (3,26)^2 \times 2,43 = 81,09 \text{ cm}^3$$

$$\% \text{ Nilai free swell tanah (48 jam)} = \frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{81,09 - 80,42}{80,42} \times 100\% = 0,83\%$$

c. Pengembangan 3 hari (72 jam) :

Tinggi tanah setelah direndam = $t_r = 2,43$ cm

Volume tanah setelah direndam = $V_r = \pi \times r^2 \times t_r = 3,14 \times (3,26)^2 \times 2,43 = 81,09$ cm³

% Nilai *free swell* tanah (72 jam) = $\frac{V_r - V_o}{V_o} \times 100\% = \frac{81,09 - 80,42}{80,42} \times 100\% = 0,83\%$

B.4 Pengujian Triaksial UU (*Triaxial Unconsolidated Undrained*)**Spesimen 1**

Tinggi spesimen awal = $L_o = 7,68$ cm

Diameter sampel awal = $d = 3,79$ cm, $r = 1,9$ cm

Berat cincin = 116,1 gr

Berat tanah basah = 169,2 gr

Luas penampang awal = $A_o = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 1,9^2 = 11,34$ cm²

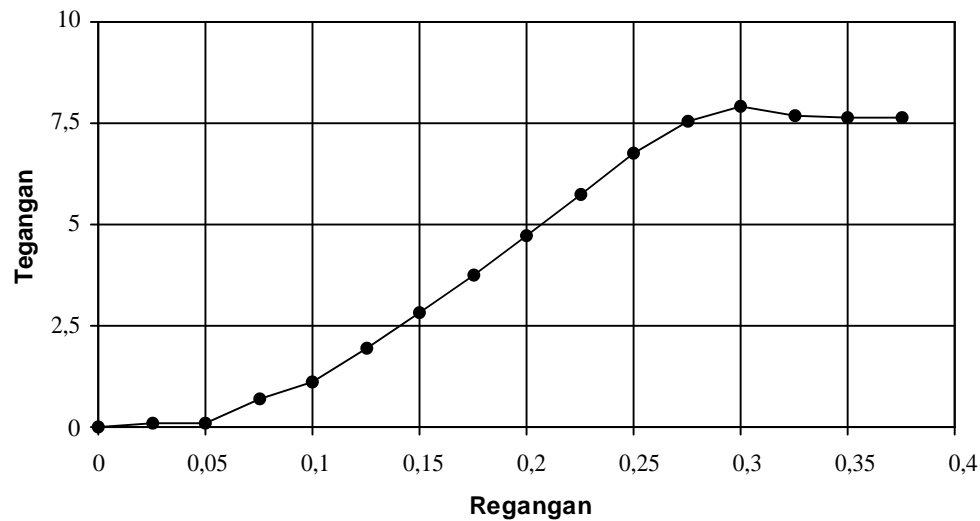
Tekanan sel = $\sigma_3 = 1$ kg/cm²

B.4.1 Hasil Pengujian Triaksial (Spesimen 1)

Deformasi dial reading (x 10 ⁻³)	Load Dial Reading (P)	Sample deformation (ΔL) Dalam cm	Unit strain (e) $\Delta L/L_o$	Area correction factor (1 - ($\Delta L/L_o$))	Correct Area (A) Sq.in.cm $\frac{A_o}{(1 - (\Delta L/L_o))}$	Deviator Stress ($\Delta\sigma$) P/A
25	0,9	0,025	0,0033	0,9967	11,38	0,08
50	1,3	0,05	0,0065	0,9935	11,41	0,11
75	7,8	0,075	0,0098	0,9902	11,45	0,68
100	12,5	0,1	0,0130	0,987	11,49	1,09
125	22,2	0,125	0,0163	0,9837	11,53	1,93
150	32,7	0,15	0,0196	0,9804	11,6	2,82
175	43,6	0,175	0,0228	0,9772	11,6	3,76
200	54,7	0,2	0,0260	0,974	11,64	4,7
225	66,8	0,225	0,0293	0,9707	11,68	5,74
250	79,1	0,25	0,0326	0,967	11,73	6,74
275	88,6	0,275	0,0358	0,9642	11,76	7,53
300	93,5	0,3	0,0391	0,9609	11,8	7,92

325	91	0,325	0,0423	0,9577	11,84	7,69
350	91	0,35	0,0456	0,9544	11,88	7,66
375	91	0,375	0,0488	0,9512	11,92	7,63

Grafik Hubungan antara Regangan dan Tegangan Tanah Stabilisasi



Dari hasil pengujian triaksial, didapatkan nilai :

$$P_{\text{runtuh}} = 93,5 \text{ kg}$$

$$A_{\text{runtuh}} = 7,92 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{P}{A} = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{93,5 \text{ kg}}{7,92 \text{ cm}^2} = (\sigma_1 - 1 \text{ kg/cm}^2)$$

$$11,81 \text{ kg/cm}^2 = (\sigma_1 - 1 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\sigma_1 = 11,81 \text{ kg/cm}^2 + 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 12,81 \text{ kg/cm}^2$$

Pusat dan radius lingkaran I :

$$\text{Pusat} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{12,81 \text{ kg/cm}^2 + 1 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{13,81 \text{ kg/cm}^2}{2} = 6,91 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Radius} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{12,81 \text{ kg/cm}^2 - 1 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{11,81 \text{ kg/cm}^2}{2} = 5,91 \text{ kg/cm}^2$$

Spesimen 2

Tinggi sampel awal = $L_0 = 7,6 \text{ cm}$

Diameter sampel awal = $d = 3,8 \text{ cm}$, $r = 1,9 \text{ cm}$

Berat cincin = $116,1 \text{ gr}$

Berat tanah basah = $169,3 \text{ gr}$

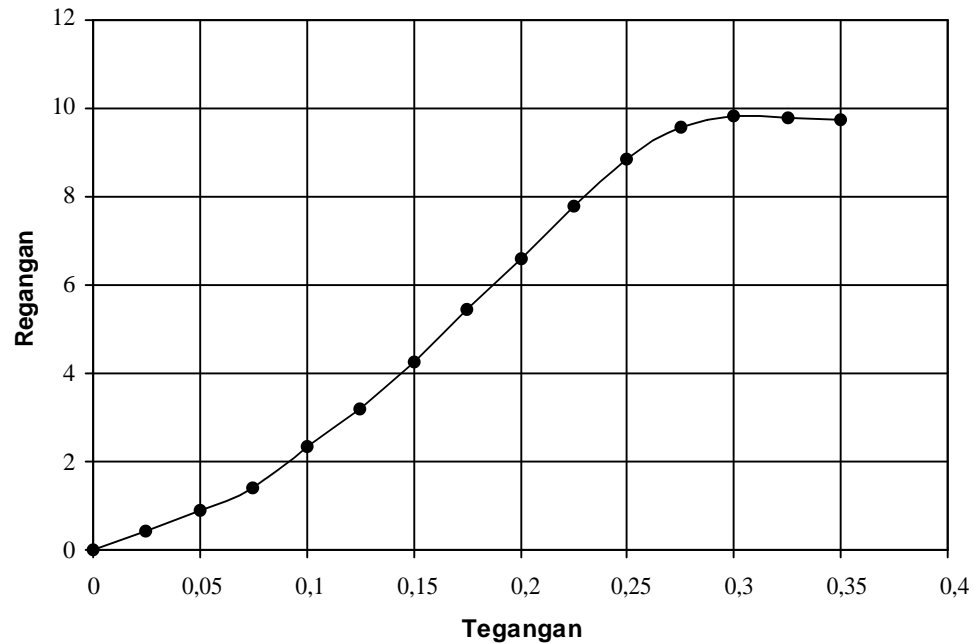
Luas penampang awal = $A_0 = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 1,9^2 = 11,34 \text{ cm}^2$

Tekanan sel = $\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$

B.4.2 Hasil Pengujian Triaksial (Spesimen 2)

Deformasi dial reading (x 10 ³)	Load Dial Reading (P)	Sample deformation (ΔL) Dalam cm	Unit strain (e) $\Delta L/L_0$	Area correction factor ($1 - (\Delta L/L_0)$)	Correct Area (A) Sq.in.cm $\frac{A_0}{(1 - (\Delta L/L_0))}$	Deviator Stress ($\Delta\sigma$) P/A
25	4,8	0,025	0,0033	0,9967	11,38	0,42
50	10	0,05	0,0066	0,9934	11,42	0,88
75	16	0,075	0,0099	0,9901	11,45	1,40
100	27	0,1	0,0132	0,9868	11,49	2,35
125	36,8	0,125	0,0164	0,9836	11,53	3,19
150	49	0,15	0,0197	0,9803	11,57	4,24
175	63,3	0,175	0,0230	0,9770	11,61	5,45
200	76,7	0,2	0,0263	0,9737	11,65	6,59
225	91	0,225	0,0296	0,9704	11,69	7,79
250	104	0,25	0,0329	0,9671	11,73	8,87
275	112,8	0,275	0,0362	0,9638	11,77	9,59
300	116	0,3	0,0395	0,9605	11,81	9,83
325	116	0,325	0,0428	0,9572	11,85	9,79
350	116	0,35	0,0461	0,9539	11,89	9,76

Grafik Hubungan antara Regangan dan Tegangan Tanah Stabilisasi



Dari hasil pengujian triaksial, didapatkan nilai :

$$P_{\text{runtuh}} = 116 \text{ kg}$$

$$A_{\text{runtuh}} = 9,83 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{P}{A} = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{116 \text{ kg}}{9,83 \text{ cm}^2} = (\sigma_1 - 2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$11,8 \text{ kg/cm}^2 = (\sigma_1 - 2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\sigma_1 = 11,8 \text{ kg/cm}^2 + 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 13,8 \text{ kg/cm}^2$$

Pusat dan radius lingkaran II :

$$\text{Pusat} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{13,8 \text{ kg/cm}^2 + 2 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{15,8 \text{ kg/cm}^2}{2} = 7,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Radius} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{13,8 \text{ kg/cm}^2 - 2 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{11,8 \text{ kg/cm}^2}{2} = 5,9 \text{ kg/cm}^2$$

Spesimen 3

Tinggi sampel awal = $L_0 = 7,6$ cm

Diameter sampel awal = $d = 3,78$ cm, $r = 1,9$ cm

Berat cincin = 116,1 gr

Berat tanah basah = 169,3 gr

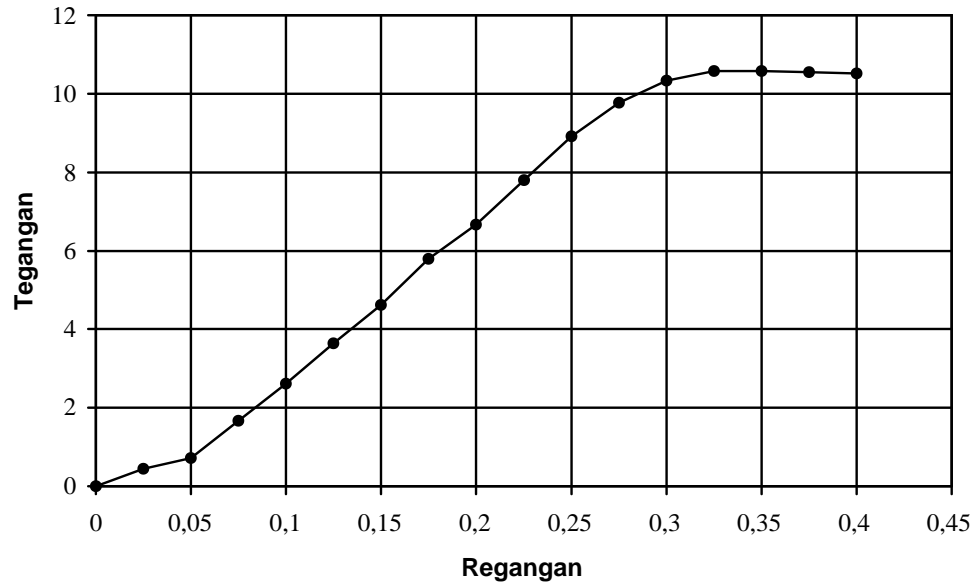
Luas penampang awal = $A_0 = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 1,9^2 = 11,34$ cm²

Tekanan sel = $\sigma_3 = 3$ kg/cm²

B.4.3 Hasil Pengujian Triaksial (Spesimen 3)

Deformasi dial reading (x 10 ⁻³)	Load Dial Reading (P)	Sample deformation (ΔL) Dalam cm	Unit strain (e) $\Delta L/L_0$	Area correction factor (1 - ($\Delta L/L_0$))	Correct Area (A)	Deviator Stress ($\Delta\sigma$) P/A
					Sq.in.cm $\frac{A_0}{(1 - (\Delta L/L_0))}$	
25	5	0,025	0,0033	0,9967	11,38	0,44
50	8,2	0,05	0,0066	0,9934	11,42	0,72
75	19	0,075	0,0099	0,9901	11,45	1,66
100	30	0,1	0,0132	0,9868	11,49	2,61
125	42	0,125	0,0164	0,9836	11,53	3,64
150	53,5	0,15	0,0197	0,9803	11,57	4,62
175	67,2	0,175	0,0230	0,9770	11,61	5,79
200	77,7	0,2	0,0263	0,9737	11,65	6,67
225	91	0,225	0,0296	0,9704	11,69	7,79
250	104,5	0,25	0,0329	0,9671	11,73	8,91
275	115	0,275	0,0362	0,9638	11,77	9,77
300	122	0,3	0,0395	0,9605	11,81	10,33
325	125,3	0,325	0,0428	0,9572	11,85	10,58
350	125,8	0,35	0,0461	0,9539	11,89	10,58
375	125,8	0,375	0,0493	0,9507	11,93	10,55
400	125,8	0,4	0,0526	0,9474	11,97	10,51

Grafik Hubungan antara Regangan dan Tegangan Tanah Stabilisasi



Dari hasil pengujian triaksial, didapatkan nilai :

$$P_{\text{runtuh}} = 125,8 \text{ kg}$$

$$A_{\text{runtuh}} = 10,58 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{P}{A} = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\frac{125,8 \text{ kg}}{10,58 \text{ cm}^2} = (\sigma_1 - 3 \text{ kg/cm}^2)$$

$$11,89 \text{ kg/cm}^2 = (\sigma_1 - 3 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\sigma_1 = 11,89 \text{ kg/cm}^2 + 3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 14,89 \text{ kg/cm}^2$$

Pusat dan radius lingkaran III :

$$\text{Pusat} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{14,89 \text{ kg/cm}^2 + 3 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{17,89 \text{ kg/cm}^2}{2} = 8,95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Radius} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{14,89 \text{ kg/cm}^2 - 3 \text{ kg/cm}^2}{2} = \frac{11,89 \text{ kg/cm}^2}{2} = 5,95 \text{ kg/cm}^2$$