

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung

Menurut Grim (1953), tanah lempung adalah jenis tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis bila bercampur dengan air. Braja M. Das (1988) menambahkan bahwa tanah lempung juga mengandung beberapa mineral lain yang bukan termasuk mineral lempung (*non-clay minerals*), artinya tidak memberikan sifat plastis pada tanah lempung antara lain kuarsa, feldspar dan mika.

Pada dasarnya, terdapat dua jenis tanah lempung yaitu tanah lempung primer dan tanah lempung sekunder. Tanah lempung primer merupakan tanah lempung murni hasil pelapukan batuan feldspatik yang tidak bersifat plastis. Sedangkan tanah lempung sekunder merupakan hasil pelapukan batuan feldspatik yang bercampur dengan material lain dan bersifat lebih plastis.

Dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasi suatu jenis tanah, sedikitnya ada tiga hal yang perlu ditinjau antara lain tekstur, komposisi mineral, serta karakteristiknya. Tekstur merupakan perbandingan relatif tiap bagian tanah menurut ukuran partikel-partikelnya dan ditentukan oleh besarnya butiran tanah. Komposisi mineral adalah susunan mineral-mineral pembentuk tanah. Sedangkan karakteristik adalah sifat khas yang dihasilkan dari interaksi antarpartikel mineral penyusunnya.

2.1.1. Tekstur Tanah Lempung

Partikel-partikel dalam tanah lempung umumnya berbentuk lempengan-lempengan pipih dan berukuran mikroskopis hingga submikroskopis, artinya sangat halus atau tidak dapat dilihat dengan jelas oleh mata. Sehingga untuk melihatnya diperlukan bantuan mikroskop elektron. *Standard Testing and Materials* (ASTM), ukuran partikel lempung adalah antara 0,002-0,005 mm. Sedangkan berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS), lempung diklasifikasikan sebagai partikel yang memiliki ukuran

butiran $<0,0075$ mm. Informasi tentang klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirannya disajikan dalam tabel 2.1

Tabel 2. 1 Batasan Ukuran Jenis Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2-0,06	0,06-0,002	$<0,002$
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2-0,05	0,05-0,002	$<0,002$
<i>American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)</i>	76,2-2	2-0,075	0,075-0,002	$<0,002$
<i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	76,2-4,75	4,75-0,075	$<0,0075$	

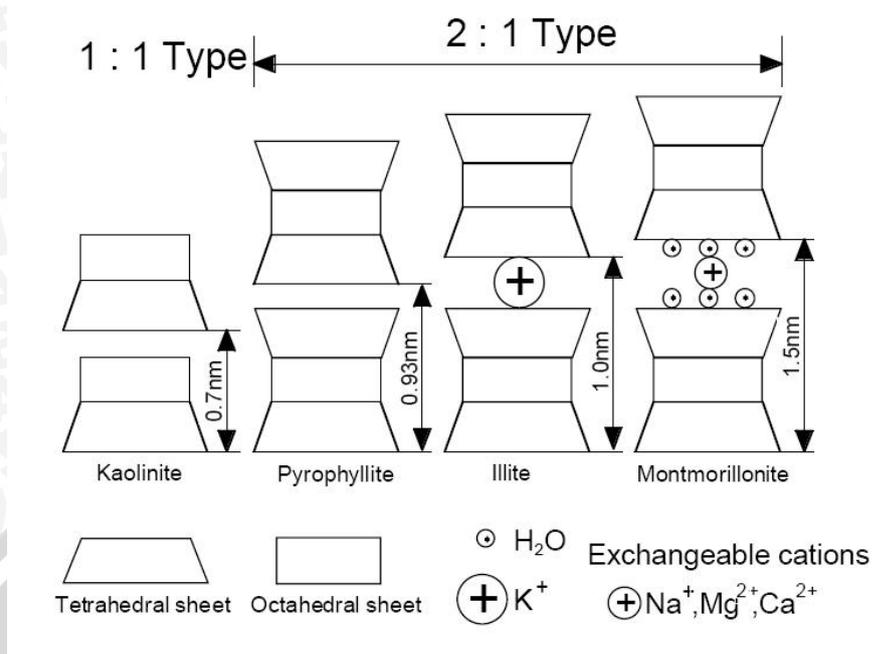
(Sumber: Braja M. Das, 1995)

2.1.2. Mineral dalam Tanah Lempung

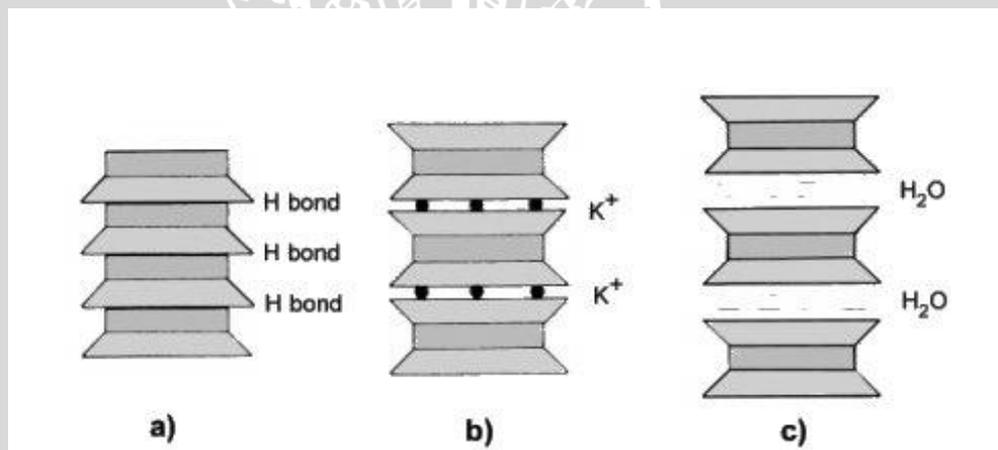
Menurut Chen (1975), ada tiga macam mineral pembentuk tanah lempung yang utama yaitu *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*. Mineral-mineral tersebut memiliki struktur lapisan serta ion penghubung yang berbeda sehingga tingkat plastisitas dan potensi pengembangan yang dihasilkan juga berbeda.

Kaolinite adalah mineral yang terdapat dalam lempung primer. Struktur *kaolinite* terdiri atas satu lapis silika tetrahedral dan satu lapis aluminium oktahedral (*gibbsite*). Oleh karena itu *kaolinite* disebut juga mineral lempung tipe 1:1. Tiap unit lapisan silika-aluminium yang satu dengan yang lainnya dipisahkan oleh ion H^+ .

Illite dan *montmorillonite* adalah mineral yang terdapat dalam lempung sekunder. Kedua mineral tersebut terdiri dari dua lapis silika tetrahedral yang mengapit satu lapis *gibbsite*. Oleh karena itu *illite* dan *montmorillonite* disebut juga mineral lempung tipe 2:1. Perbedaan keduanya adalah pada ion yang mengikat antarlapisan struktur intinya. Struktur *illite* dipisahkan oleh ion K^+ , sedangkan struktur *montmorillonite* dipisahkan oleh ion H_2O yang dapat digantikan oleh kation lain, yaitu Na^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} .



Gambar 2. 1 Tipe Mineral Silikat dalam Lempung(Sumber: <http://ramaseshan.com/MMT.php>, tanggal akses 14 Oktober 2014)



Gambar 2. 2 a) Kaolinite, b) Illite, c) Montmorillonite (Craig, 2004)

2.1.3. Karakteristik Tanah Lempung

Perbedaan struktur mineral lempung mempengaruhi plastisitas dan pengembangan tanah lempung. Tanah yang banyak mengandung *kaolinite* tidak bersifat plastis dan tidak dapat mengembang. Sebaliknya, tanah yang mengandung *illite* atau *montmorillonite* bersifat plastis dan mudah mengembang.

Kaolinite tidak memberikan sifat mengembang karena ion hidrogen di dalamnya mampu menahan molekul-molekul air masuk ke dalamnya. Selain itu, *kaolinite* hanya memiliki permukaan luar sehingga permukaannya spesifiknya sangat kecil dan tidak mampu

menyerap air dalam jumlah banyak (Rachman Sutanto, 2005). Permukaan spesifik dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Tebal dan Diameter Tipikal, PermukaanSpesifik Mineral Lempung

Mineral	Tebal tipikal (nm)	Diameter Tipikal (nm)	Permukaan spesifik (km²/kg)
<i>Montmorillonite</i>	3	100 – 1000	0.8
<i>Illite</i>	30	10000	0.08
<i>Kaolinite</i>	50 – 2000	300 – 4000	0.015

(Sumber : Yong dan Warkentin, 1975)

Illite dapat memberikan sifat pengembangan tetapi tidak mengembang secara signifikan karena ion kalium di dalamnya merupakan ion yang tidak dapat terganti dan penyerapan airnya terbatas. Sedangkan *montmorillonite* memiliki sifat pengembangan yang tinggi karena ion H₂O di dalamnya mudah lepas ketika berinteraksi dengan air sehingga molekul air dapat masuk dan mengakibatkan tanah mudah mengembang.

Di sekitar partikel lempung terdapat air lapisan ganda (H₂O) yang menimbulkan adanya gaya elektro-kimia yang menyebabkan sifat plastis pada lempung. Gaya elektro-kimia tersebut juga mengakibatkan partikel lempung bermuatan negatif sehingga mampu menyerap kation sekitarnya. Ketika berinteraksi dengan air, molekul air akan mudah mengion dan terikat oleh partikel lempung dan air lapisan ganda. Akibatnya air sulit lolos keluar sehingga tanah lempung dapat dikatakan memiliki permeabilitas rendah atau *impermeable* (M. Wafid, 1997).

Sifat kohesif pada tanah lempung dipengaruhi oleh gaya *Van der Waals* atau daya ikat antarpartikel yang berdekatan akibat adanya sifat elektrostatis antarpartikel. Sehingga terjadi flokulasi yaitu kecenderungan partikel untuk mendekat dan menempel.

2.1.4. Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah lempung yang didominasi oleh mineral *montmorillonite*. Tanah ini memiliki nilai plastisitas tinggi, daya dukung rendah, serta kembang susut yang ekstrim jika terjadi perubahan kadar air.

Mineral *montmorillonite* mudah menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya karena memiliki permukaan spesifik yang besar. Selain itu, ion H₂O dalam *montmorillonite* mudah lepas sehingga ketika tanah dalam kondisi basah, molekul air dapat masuk ke dalam sela antarlapisan. Akibatnya, tanah mudah mengembang dan mengakibatkan daya dukungnya rendah. Pada saat mengering, air diantara lapisan mineral keluar dalam jumlah besar sehingga tanah mengalami penyusutan yang dapat mengakibatkan terjadinya retakan.

2.1.4.1. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif menurut Chen (1975) dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu identifikasi mineralogi, pengukuran tidak langsung (*single index method*), dan pengukuran langsung.

a.) Identifikasi Mineralogi

Identifikasi mineralogi berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang-susut tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara berikut:

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

b.) Pengukuran Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar tanah tersebut adalah uji batas-batas Atterberg, *Linear Shrinkage Test*, uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid. Holtz dan Gibbs (1956) secara empiris menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji Atterberg. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal bahwa *swelling* pada tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASTHO, setelah sampel direndam dengan 1 psi. Chen (1975) juga berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2. 3 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI

Potensi pengembangan	Indeks plastisitas
rendah	0 – 15
sedang	10 – 35
tinggi	20 – 55
sangat tinggi	> 35

(Sumber : *Herman, 2013*)**Tabel 2. 4 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI**

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

(Sumber: *Raman, 1967*)

Adapun dalam kriteria *Altmeyer*, penggolongan atau pengelompokan tanah ekspansif tersebut bisa dilihat dari *shrinkage limit* (SL). Penggolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2. 5 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit (sumber: *Herman, 2013*)

Batas Susut(%)	Derajat Ekspansi
>12	Tidak Kritis
10 – 12	Sedang
< 10	Kritis

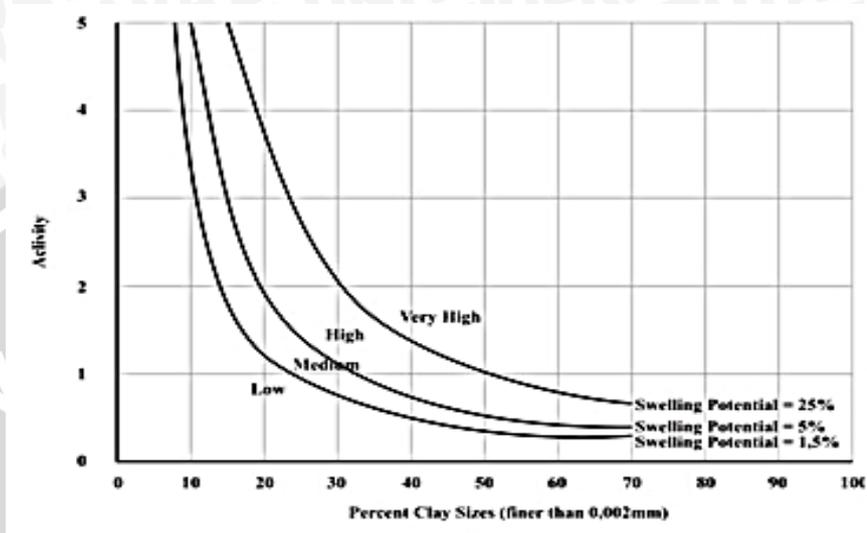
Menurut Skempton (1953), potensi pengembangan dapat ditentukan dengan grafik hubungan antara nilai aktivitas dengan prosentase ukuran butir tanah lempung. Nilai aktivitas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Activity (A) = \frac{PI}{C - 10} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

PI = Indeks plastisitas

C = Prosentase ukuran butir lempung



Gambar 2.3 Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

c.) Pengukuran Langsung

Cara pengukuran langsung merupakan metode terbaik, yaitu dengan cara menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah lempung ekspansif dengan menggunakan *Oedometer Terzaghi*. Sampel tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan ke dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan sisi bawah yang dimana kemudian diberi beban sesuai yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan yang terjadi adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

Adapun cara pengukuran tekanan pengembangan yang umum digunakan ada dua cara, yaitu cara pertama, pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai prosentase mengembang tertinggi, kemudian sampel tanah diberi tekanan untuk kembali pada ketebalan semula. Sedangkan cara kedua, yaitu sampel tanah direndam di dalam air dengan mempertahankan volume atau mencegah adanya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini biasanya disebut dengan *constant volume method*.

2.2. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Sifat-sifat teknis tersebut antara lain daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, *workability*, potensi pengembangan, dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air. Stabilisasi yang dapat dilakukan adalah pemadatan dan pencampuran tanah dengan bahan tambahan lain (Hary Christady, 2013).

Bahan tambahan berfungsi sebagai stabilisator mekanis maupun kimiawi. Stabilisator mekanis disebut juga *filler*, yaitu bahan pengisi pori tanah untuk mendapatkan gradasi yang beragam sehingga terjadi *interlocking* antarbutir tanah. Sedangkan stabilisator kimiawi merupakan bahan yang mengandung mineral-mineral tertentu untuk menciptakan reaksi yang dapat memperbaiki sifat-sifat teknis tanah.

2.3. Durabilitas Tanah

Durabilitas (*durability*) tanah merupakan ketahanan tanah terhadap proses pelapukan sebagai akibat adanya pergantian iklim, erosi, kelelahan akibat pembebanan berulang-ulang (Dewanta dan Multazam 2006).

Uji durabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penurunan daya dukung tanah dan kenaikan nilai plastisitas tanah yang distabilisasi seiring dengan adanya periode siklus wet-dry. Yang dimaksud dengan satu periode siklus basah-kering adalah tanah mengalami satu kali perendaman dan satu kali pengeringan. Nilai dari daya dukung tanah ini diperoleh dengan uji CBR dan nilai dari plastisitas tanah diperoleh dengan uji Swelling

Untuk tanah lempung, kandungan mineralnya mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah yang banyak (Chen, 1975, dalam Susanti, 2006). Akibat kepekaan terhadap air, maka tanah lempung mempunyai durabilitas yang sangat rendah. Penambahan bahan-bahan aditif selain berfungsi sebagai bahan pozzolan, butir-butir abu yang halus merupakan filler butir-butir tanah, sehingga akan menghasilkan butiran tanah yang kompak, dan rongga udara akan berkurang diisi oleh butiran abu ampas tebu. Jika rongga udara tidak diisi oleh abu ampas tebu, maka pada saat perendaman, air akan menempati rongga udara tersebut, sehingga tanah lempung memiliki stabilitas yang rendah.

2.4. Abu Ampas Tebu

Ampas tebu adalah residu dari proses penggilingan tebu setelah diekstrak atau dikeluarkan niranya pada industri pemurnian gula. Ampas tebu ini kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar penggilingan gula. Abu hasil pembakaran ampas tebu itulah yang disebut abu boiler atau abu ampas tebu yang merupakan limbah yang sudah tidak terpakai. Secara fisik abu ampas tebu berwarna hitam keabu-abuan, berbutir halus dan bersifat lepas (*loose*).

Dari hasil analisis yang dilakukan oleh Laboratorium UPT Layanan Analisa dan Pengukuran yang direkomendasikan oleh Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang, beberapa unsur yang terkandung di dalam abu ampas tebu antara lain Si, Al, Fe, Ca, dan Mg. Prosentase masing-masing unsur ditunjukkan dalam tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Hasil Analisis Kandungan dalam Abu Ampas Tebu

No.	Parameter	Hasil Analisis	Metode Analisis		
		Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1.	Si	25,07 + 0,02	%	Aquaregia	Gravimetri
2.	Al	0,11 + 0,00	%	Aquaregia-Aluminon	Spektrofotometri
3.	Fe	0,13 + 0,00	%	HNO ₃	AAS
4.	Ca	0,15 + 0,00	%	HNO ₃	AAS
5.	Mg	0,76 + 0,00	%	HNO ₃	AAS

(Sumber: Laboratorium UPT Layanan Analisa dan Pengukuran, Malang)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Andi Wahyu Y. (2001), berdasarkan data dari Badan Penelitian dan Pengembangan Surabaya, prosentase senyawa yang terdapat dalam abu ampas tebu ditunjukkan dalam tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Kadar Senyawa dalam Abu Ampas Tebu

No.	Senyawa	Kadar (%)
1	SiO ₂	72,33
2	Al ₂ O ₃	3,4
3	Fe ₂ O ₃	0,85
4	CaO	0,63
5	MgO	0,58

(Sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan, Surabaya)

Berdasarkan data tersebut, abu ampas tebu memiliki kandungan senyawa SiO₂ - (silikon dioksida) dan Al₂O₃ (aluminium oksida) yang cukup tinggi. Menurut Neville (1998), bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina memiliki sifat pozzolan. Kedua senyawa tersebut apabila bereaksi dengan air dan Ca(OH)₂ (kalsium hidroksida/kapur) akan menghasilkan senyawa CSH (kalsium silikat hidrat) dan CAH (kalsium alumina hidrat) dan memberikan sifat pozzolanik atau rekat serta mengeras seperti pada semen. Reaksi tersebut dapat ditulis dalam persamaan 2.2 dan 2.3 berikut:



2.5. Kapur

Kapur adalah bahan yang terbuat dari batu sedimen, yang membentuk bebatuan dan terdiri dari mineral kalsium. Biasanya kapur relative terbentuk di laut dalam dengan kondisi bebatuan yang mengandung lempengan kalsium plates (*coccoliths*) yang dibentuk oleh mikroorganisme *coccolithophores*.

Kapur merupakan bahan yang sering dijumpai dibanyak tempat dan mudah didapatkan serta memiliki kandungan kalsium yang tinggi. Sehingga kapur sangat berpotensi dalam proses stabilisasi tanah yang kurang baik, terutama tanah lempung ekspansif. Pada umumnya, penambahan kapur dalam tanah lempung/tanah berbutir halus oleh adanya air menurut (Hardiyatmo, 2010) akan menyebabkan 2 reaksi yaitu : reaksi pertukaran kation dan flokulasi serta reaksi pozzolanil antara tanah lempung dan kapur.

Menurut (Hardiyatmo, 2010) tujuan utama penggunaan kapur untuk stabilisasi tanah adalah untuk memodifikasi sifat-sifat tanah lempung dan kapur yang ditujukan untuk stabilisasi tanah secara permanen.

Kapur yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kapur yang sudah *passive* (mati). Proses mematikan kapur (*slaking*) dilakukan dengan pembakaran yang dilaksanakan dalam dapur (oven) vertikal atau dapur berputar pada suhu $800^{\circ} - 1200^{\circ}\text{C}$. Kalsium-karbonat terurai menjadi kalsiumoksida dan karbondioksida dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Karbondioksida mengalami penguapan dan kalsiumoksida yang terjadi disebut kapur tohor, dan jika berhubungan dengan air berubah menjadi kalsiumhidroksida disertai kehilangan panas, reaksi kimianya adalah :



Hasil dari reaksi diatas adalah kapur mati (kalsium hidroksida).

2.6. Uji Laboratorium

Menurut Shirley (1994), jenis percobaan di laboratorium dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

- 1) Sifat fisik tanah (*index properties*), yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah.
- 2) Sifat mekanis tanah (*engineering properties*), yaitu sifat tanah jika memperoleh pembebanan dan digunakan sebagai parameter dalam perencanaan pondasi.

Sifat fisik tanah meliputi pemeriksaan kadar air tanah, berat jenis tanah, batas Atterberg, analisa saringan, dan berat isi tanah. Sedangkan sifat mekanis tanah meliputi beberapa pemeriksaan, namun dalam penelitian ini hanya difokuskan pada uji CBR, uji *swelling* dan uji *durability*.

2.6.1. CBR (*California Bearing Rasio*)

California Bearing Ratio (CBR) adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada sampel tanah standar berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2,5mm dan 5,0 mm (0,1 inchi dan 0,2 inchi) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang

diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah. Alat serta cara melakukan percobaan CBR dapat dilihat pada gambar 2.10 dengan mempergunakan dongkrak mekanis sebuah piston penetrasi ditekan supaya masuk tanah dengan kecepatan 0,05 inci per menit.

Pemeriksaan CBR merupakan salah satu cara untuk menyatakan kualitas suatu tanah dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standar dengan harga CBR 100% (batu pecah dianggap sebagai agregat standar dengan harga CBR 100%). Besar nilai CBR dapat dinyatakan menurut perhitungan sebagai berikut :

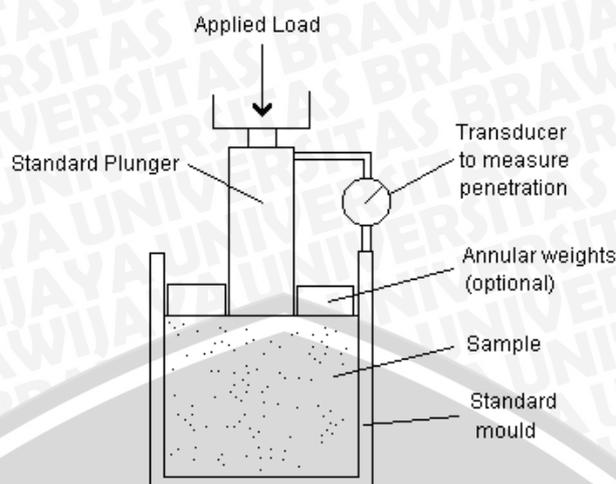
$$\text{CBR } 0,1 = \frac{\text{pembacaan penetrasi } 0,1''}{\text{beban standar } 0,1''} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{CBR } 0,2 = \frac{\text{pembacaan penetrasi } 0,2''}{\text{beban standar } 0,2''} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Beban standar ditentukan berdasarkan ASTM D698 dan ASTM D1557, dimana beban standar untuk tanah lempung adalah 3000 lbs pada penetrasi 0,1 inchi dan 4500 lbs pada penetrasi 0,2 inchi. Kekuatan tanah dasar banyak tergantung pada kadar airnya. Semakin tinggi kadar airnya maka semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut (L.D.Wesley, 1977). Walaupun demikian, hal itu tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air yang rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi. Air akan dapat meresap dengan mudah ke dalam tanah dasar, sehingga kekuatan dan nilai CBR-nya akan turun sampai kadar air mencapai nilai yang konstan (Rachmansyah et al, 2008).

2.6.1.1. CBR *Unsoaked* dan *Soaked*

CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi tidak terendam disebut CBR *Unsoaked* dan pada kondisi terendam atau disebut CBR *Soaked*. Pada umumnya harga CBR *Soaked* lebih rendah dari CBR *Unsoaked*. Namum demikian kondisi *Soaked* adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah harga CBR *Soaked* karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan.



Gambar 2.4 Alat uji CBR

2.6.2. Uji Pengembangan (*Swelling*)

Cara untuk menggambarkan sifat tanah ekspansif adalah melalui potensi pengembangan (*swelling potential*) yang umumnya diuji dengan uji pengembangan (*swelling*). *Swelling* adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air. Pengembangan merupakan proses yang cukup kompleks. Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung pada banyaknya mineral lempung dalam tanah dan kadar air awal. Gangguan tanah atau pembentukan kembali tanah lempung dapat menambah sifat mudah mengembang.

Proses pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinking*) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah tersebut. Tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air yang diikuti oleh kenaikan tegangan efektif menyebabkan volume tanah menyusut dan sebaliknya penambahan kadar air menyebabkan pengembangan. Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan *differential movement*. Perubahan itulah yang berbahaya untuk konstruksi di atasnya.

Uji pengembangan umumnya dilakukan pada cincin besi berbentuk silinder. Sampel tanah yang digunakan dapat berupa tanah asli maupun remolded. Beban yang digunakan berupa beban terbagi rata dan ditentukan besarnya. Lama waktu pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam sampel tanah, karena tanah-tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika ditambahkan air. Beberapa

peneliti melakukan pengujian selama 2 jam, atau yang lain, menunggu sampai kecepatan mengembang telah mencapai kecepatan tertentu, misalnya 0,001"/jam, sehingga memerlukan waktu beberapa hari (Coduto, 1994).

2.6.2.1. Pengujian Prosentase Mengembang

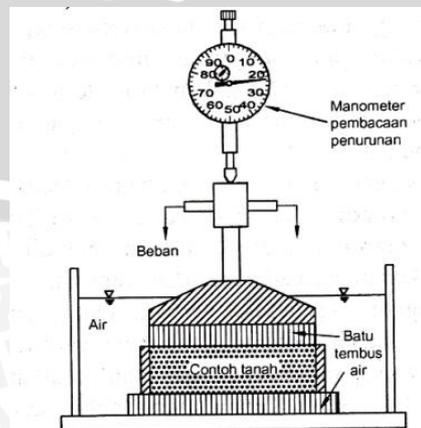
Pemeriksaan ini untuk menentukan nilai *swell* atau pengembangan akibat beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang meresap ke pori-pori mengisi rongga-rongga udara sehingga terjadi perubahan isi dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal yang bekerja pada tanah tersebut.

2.6.2.2. Pengujian Tekanan Pengembangan

Tekanan ke tanah sangat mempengaruhi pengembangan tanah. Tekanan pengembangan yang mencegah tanah mengembang disebut tekanan pengembangan (*swelling pressure*). Chen (1988) dan beberapa peneliti berpendapat bahwa tekanan pengembangan tidak bergantung pada kadar air awal, derajat kejenuhan awal, tingkat ketebalan tanah, dan bervariasi hanya dengan berat volume kering dan oleh karena itu hal ini merupakan fundamental sifat-sifat fisik tanah ekspansif.

Untuk sampel tanah asli (*undisturbed*), Chen (1988) mendefinisikan tekanan pengembangan sebagai tekanan yang dibutuhkan untuk mencegah tanah mengembang pada berat volume kering di tempat. Untuk tanah yang dibentuk kembali (*remolded*) pada 100% kepadatan relatif, tekanan pengembangan adalah tekanan yang dibutuhkan untuk memelihara berat volume kering tersebut (Hary C. Hardiyatmo, 2010). Nilai pengembangan dapat dihitung dengan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$Swelling = \frac{\text{pembacaan dial} \times 0,01}{\text{tinggi cetakan (mm)}} \times 100\% \dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.5 Alat Uji Pengembangan (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

2.6.2.3. Pengembangan Bebas (*Free Swell*)

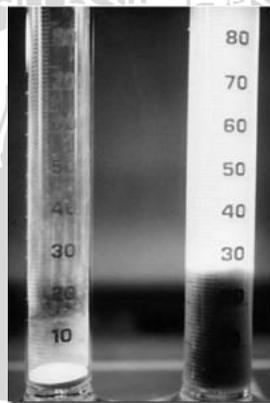
Uji Free Swell diperkenalkan oleh Holtz (1956) sebagaimana dikutip Chen (1975), yaitu dengan cara memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur yang diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

Perbedaan tinggi air atau volume awal pengamatan dengan akhir pengamatan menunjukkan perubahan volume material tanah. Persentase Free Swell adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

Uji pengembangan bebas didefinisikan sebagai peningkatan volume tanah dari bentuk bubuk kering longgar ketika dituangkan kedalam air, dan dinyatakan dalam prosentasi dari volume aslinya. Besar pengembangan bebas dapat diketahui dengan perbandingan berikut.

$$Free\ Swell = \frac{Volume\ akhir - Volume\ awal}{Volume\ awal} \times 100\% \dots(2.9)$$

Tanah dengan nilai pengembangan kurang dari 50% tidak mungkin untuk menunjukkan sifat ekspansif. Nilai 100% atau lebih yang berhubungan dengan tanah liat yang bisa mengembang jauh ketika dibasahi, terutama dibawah beban ringan. Tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi seperti bentonit mungkin memiliki nilai pengembangan bebas hingga 200%.



Gambar 2.6 Uji Swelling Bebas (*Sumber :*



Halaman isi sengaja dikosongkan