

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tanah

#### 1. Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Selain itu, tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, H.C., 1992).

Sedangkan menurut *Dunn*, 1980 berdasarkan asalnya, tanah diklasifikasikan secara luas menjadi 2 macam yaitu :

- a. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.
- b. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

## 2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah :

### a. Sistem Klasifikasi AASTHO

Sistem klasifikasi AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administrasion Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board*

pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145).

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1) Ukuran Butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

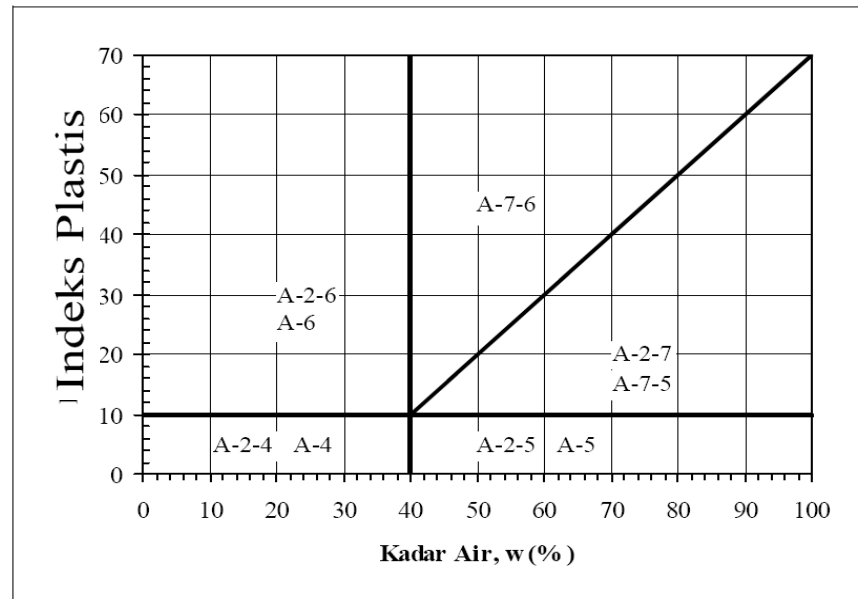
Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama

berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

Pada gambar 2.1 dapat dilihat hubungan antara nilai kadar air dengan indeks plastisitas tanah, untuk menentukan subkelompok tanah berdasarkan nilai – nilai batas *atterberg* pada tanah tersebut.



Gambar 2.1 Nilai-nilai batas *Atterberg* untuk subkelompok tanah

- 3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dileluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 1 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

**b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)**

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

- 1) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ( $F_{200} < 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- 2) Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ( $F_{200} \geq 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (*inorganic silt*), atau **C** untuk lempung inorganik (*inorganic clay*), atau **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah **W** - untuk gradasi baik (*well graded*), **P** - gradasi buruk (*poorly graded*), **L** - plastisitas rendah (*low plasticity*) dan **H** - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Adapun menurut *Bowles*, 1991 kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified* diperlihatkan pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2.1 Sistem klasifikasi tanah *unified* (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

Klasifikasi sistem tanah *unified* secara visual di lapangan sebaiknya dilakukan pada setiap pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna di samping untuk dapat menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu ditambahkan, juga sebagai pelengkap klasifikasi yang di lakukan di laboratorium agar tidak terjadi kesalahan label.

Dimana :

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 2.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram Plastisitas:</p> <p>Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Garis A : <math>PI = 0.73 (LL - 20)</math></p>
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" ( <i>lean clays</i> )	
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )		
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
PT			<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

Sumber : Hary Christady, 1996.

## **B. Tanah Lempung**

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu, permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1987).

Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sedangkan untuk jenis tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil. Kondisi tanah seperti itu akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi di atasnya.

Adapun sifat-sifat umum dari mineral lempung, yaitu :

### **1. Hidrasi**

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air



atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

## 2. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung merupakan perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 2 µm yang dinotasikan dengan huruf *C* dan disederhanakan dalam persamaan berikut :

$$A = \frac{PI}{C}$$

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Gambar 2 dibawah berikut mengklasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya yakni :

1. *Montmorillonite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A)  $\geq 7,2$
2. *Illite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A)  $\geq 0,9$  dan  $< 7,2$
3. *Kaolinite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A)  $\geq 0,38$  dan  $< 0,9$
4. *Polygorskite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A)  $< 0,38$

## 3. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal ("*amorphus*") maka daya negatif netto, ion-ion H<sup>+</sup> di dalam air, gaya Van der Waals, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk *flok* ("*flock*") yang berorientasi secara acak, atau

struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H<sup>+</sup>), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropik* ("*Thixopic*"), dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

#### **4. Pengaruh Air**

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas *Atterberg*, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (*dipolar*). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (Ccl<sub>4</sub>) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

## **5. Sifat Kembang Susut**

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- a. Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- b. Kadar air.
- c. Susunan tanah.
- d. Konsentrasi garam dalam air pori.
- e. Sementasi.
- f. Adanya bahan organik, dll.

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk mengembang dan menyusut.

## **C. Stabilisasi Tanah**

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada. Sifat-sifat tanah yang dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Menurut *Bowles*, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut (*Bowles*, 1991) :

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Bahan Pencampur (*Additiver*), yaitu penambahan kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir, dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu batubara, abu vulkanik, batuan kapur, gamping dan/atau semen, semen aspal, sodium dan kalsium klorida, limbah pabrik kertas dan lain-lainnya.

Metode atau cara memperbaiki sifat-sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam *additive* untuk bereaksi.

#### D. Zeolit

Zeolit adalah mineral yang terbentuk dari kristal batuan gunung berapi yang terjadi karena endapan magma hasil letupan gunung berapi jutaan tahun yang lalu.



Gambar 2.2 Zeolit

Zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek/di bawah standar. Penambahan Zeolit ini akan meningkatkan kepadatan, meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atas nya.

Karena sifat fisika dan kimia dari Zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, Zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion.

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul  $H_2O$ ) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka Zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul  $H_2O$  seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat Zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur Zeolit yang berongga, sehingga Zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal Zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi. (Dian Kusuma Rini, Fendi Anthonius Lingga. 2010)

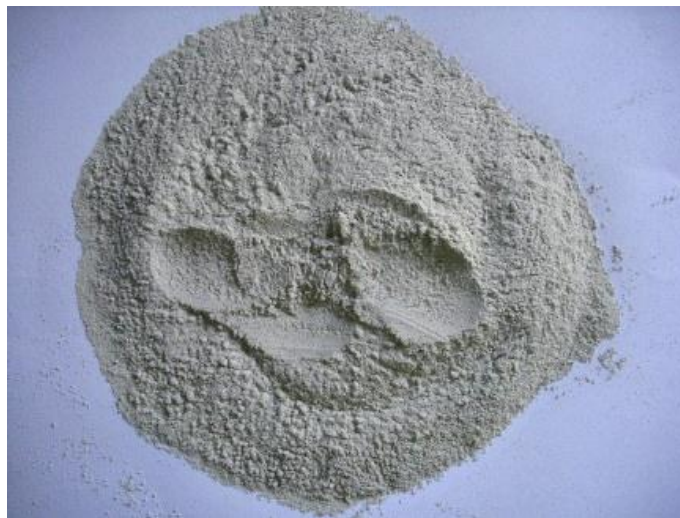
Kemampuan Zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar Zeolit. Pusat-pusat aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe Bronsted maupun Lewis. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi Zeolit dan kondisi reaksi. Pusat-pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi. Sedangkan sifat Zeolit sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas didalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama. Akibat struktur Zeolit berongga, anion atau molekul berukuran lebih kecil atau sama dengan rongga dapat masuk dan terjebak.

Pada kebanyakan orang pemakaian Zeolit biasanya di pergunakan untuk pertanian dan perikanan, ini menjadi bukti bahwa Zeolit tidak berbahaya bagi

hewan mau pun tumbuhan yang ada di tanah yang akan di stabilisasi dengan *Zeolit*, pada zaman sekarang ini *Zeolit* juga banyak di manfaatkan di bidang konstruksi sebagai bahan *additive*, adapun keuntungan pemakaian *Zeolit* sebagai bahan campuran stabilisasi tanah adalah :

1. Memperbaiki dan meningkatkan kualitas mineral yang ada dalam tanah.
2. Meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan daya dukung dan kuat tekan tanah.
3. Meningkatkan tahanan tanah terhadap geser yang terjadi di lereng.

*Zeolit* yang akan di gunakan untuk stabilisasi tanah lempung merupakan *Zeolit* yang sudah di tumbuk hingga membentuk ukuran p1 atau kurang dari 0,002 mm.



Gambar 2.3 *Zeolit* ukuran p1 (0,002 mm)

Adapun mekanisme kerja *Zeolit* secara kimiawi pada tanah lempung, antara lain :

1. Lempung terdiri dari partikel mikroskopik yang berbentuk plat yang mirip lempengan-lempengan kecil dengan susunan yang beraturan, mengandung ion (+) pada bagian muka/datar dan ion (-) pada bagian tepi platnya.

Dalam kondisi kering, ikatan antara tepi plat cukup kuat menahan lempung dalam satu kesatuan, tetapi bagian tersebut sangat mudah menyerap air.

2. Karena komposisi mineraloginya, pada saat turun hujan, plat yang memiliki kelebihan ion negatif (anion) akan menarik ion positif (kation) air yang akan menyebabkan air tersebut menjadi air pekat yang melekat dan juga sekaligus sebagai perekat antara partikel satu dengan partikel lainnya dan tak hilang meski tanah lempung dalam kondisi kering sekalipun. Ini merupakan sifat alamiah dari tanah lempung yang mudah mengembang dan menyusut. Hal ini menyebabkan tanah lempung sulit digunakan untuk konstruksi.
3. Dengan komposisi kimianya, Zeolit memiliki kemampuan yang sangat besar untuk melakukan sebagai penukar kation (*cation exchangers*), dan pengikat air. Pada saat Zeolit di jadikan bahan campuran tanah, Zeolit akan dapat mengikat molekul H<sub>2</sub>O sehingga sebagian besar molekul tersebut tidak bercampur dengan tanah, sehingga pada saat kondisi panas molekul H<sub>2</sub>O akan dilepaskan oleh Zeolit sehingga pada saat tanah menjadi kering molekul H<sub>2</sub>O tidak tertahan di dalam tanah.

#### **E. Komposisi Kimia Zeolit**

Mineral Zeolit merupakan sekelompok mineral yang terdiri dari beberapa jenis (species) mineral. Secara umum mineral zeolit mempunyai rumus kimia sebagai berikut :  $M_{x/n}(AlO_2)_x(SiO_2)_y.H_2O$ .

Berdasarkan hasil analisa kimia total, kandungan unsur-unsur Zeolit dinyatakan sebagai oksida SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Akan tetapi di alam tergantung pada komponen bahan induk dan keadaan lingkungannya, maka



perbandingan Si/Al dapat bervariasi, dan juga unsur Na, Al, Si, sebahagian dapat disubstitusikan oleh unsur lain.(Dana,D.James,1951).

Parameter kimia yang penting dari Zeolit adalah perbandingan Si/Al, yang menunjukkan persentase Si yang mengisi di dalam tetrahedral, jumlah kation monovalen dan divalen, serta molekul air yang terdapat didalam saluran kristal. Perbedaan kandungan atau perbandingan Si/Al akan berpengaruh terhadap ketahanan Zeolit terhadap asam atau pemanasan. Ikatan ion Al-Si-O adalah pembentuk struktur kristal sedangkan logam alkali adalah kation yang mudah bertukar (“exchangeable cation”). Jumlah molekul air menunjukkan jumlah pori-pori atau volume ruang kosong yang terbentuk bila unit sel kristal tersebut dipanaskan.(Sastiano,A.1991).

Hingga kini sudah 40 jenis (species) mineral Zeolit yang telah diketahui. Dari jumlah tersebut, hanya 20 jenis saja yang diketahui terdapat dalam bentuk sedimen, terutama dalam bentuk piroklastik. Nama dan rumus kimia mineral Zeolit yang terdapat dalam piroklastik (tufa) tercantum dalam tabel.

Tabel 2.3. Nama mineral Zeolit dan rumus kimia nya.

No	Komposisi kimia	Prosentase (%)
1	SiO <sub>2</sub>	55,39-58,15
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,39-24,84
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,68-2,80
4	Na <sub>2</sub> O	0,17-0,39
5	K <sub>2</sub> O	0,45-1,26

Sumber : Universitas Gajah Mada, 2006

Zeolit memenuhi persyaratan untuk dianggap lingkungan aman dan jika ditangani sesuai dengan prosedur yang ditetapkan oleh produsen serta tidak akan menimbulkan bahaya apapun untuk kesehatan atau lingkungan.

## F. CBR

Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang biasa dikenal adalah cara CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Istilah CBR menunjukkan suatu perbandingan (*ratio*) antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam (luas penampang 3 sqinch) ke dalam tanah untuk mencapai penurunan (penetrasi) tertentu dengan beban yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991).

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Sedangkan, nilai CBR yang didapat akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang mempunyai nilai CBR tertentu. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dari nilai CBR digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas.

### 1. Jenis-Jenis CBR

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas :

#### a. CBR Lapangan

CBR lapangan disebut juga CBR *inplace* atau *field inplace* dengan kegunaan sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.
  2. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan ini tidak umum digunakan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.
- b. CBR Lapangan Rendaman (*undisturbed soaked CBR*)

CBR lapangan rendaman ini berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim penghujan dan kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung ( *mold*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

c. CBR Laboratorium

Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. CBR ini disebut CBR Laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium. CBR Laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR Laboratorium rendaman dan CBR Laboratorium tanpa rendaman.

## 2. Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *Proving Ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2”, yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai CBR pada penetsai 0,1''} = \frac{A}{3000} \times 100\%$$

$$\text{Nilai CBR pada penetsai 0,2''} = \frac{B}{4500} \times 100\%$$

Dimana :

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR

### G. Kuat Geser Langsung

Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa tanah tersebut.

Pemahaman terhadap proses dari perlawanan geser sangat diperlukan untuk analisis stabilitas tanah seperti kuat dukung, stabilitas lereng, tekanan tanah lateral pada struktur penahan tanah.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-*analisis* antara lain :

- Kapasitas dukung tanah
- Stabilitas lereng
- Gaya dorong pada dinding penahan

Menurut Mohr (1910) keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi tersebut dinyatakan :

$$\tau = f(\sigma)$$

dimana :

$\tau$  = tegangan geser (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = tegangan normal (kN/m<sup>2</sup>)

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya

- Gesekan antar butir – butir tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

dengan ;

$\tau$  = kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi$  = sudut gesek dalam tanah (derajad)

## H. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilakukan yaitu penelitian sifat fisik tanah lempung. penelitian ini dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penelitian yang dilakukan antara lain

### a. Kadar air (*Moisture Content*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air suatu sampel tanah, yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butir kering tanah tersebut yang dinyatakan dalam persen. Pengujian berdasarkan ASTM D 2216-98.

### b. Berat Volume (*Unit Weight*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume tanah basah dalam keadaan asli (*undisturbed sample*), yaitu perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah. Pengujian berdasarkan ASTM D 2167.

**c. Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)**

Tujuan pengujian analisis saringan adalah untuk mengetahui persentasi butiran tanah dan susunan butiran tanah (gradasi) dari suatu jenis tanah yang tertahan di atas saringan No. 200 ( $\emptyset$  0,075 mm). Pengujian berdasarkan ASTM D 422.

**d. Berat Jenis (*Specific Gravity*)**

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kepadatan massa butiran atau partikel tanah yaitu perbandingan antara berat butiran tanah dan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Pengujian berdasarkan ASTM D 854-02.

**e. Batas Cair (*Liquid Limit*)**

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

**f. Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada keadaan batas antara keadaan plastis dan keadaan semi padat. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

**g. Uji Hidrometer**

Tujuan pengujian analisis hidrometer adalah untuk mengetahui persentasi butiran tanah dan susunan butiran tanah (gradasi) dari suatu jenis tanah yang lolos saringan No. 200 ( $\emptyset$  0,075 mm).

**h. Uji Pemadatan**

Tujuan Pengujian ini adalah untuk menentukan kepadatan tanah yaitu dengan mengetahui hubungan kadar air dengan berat volume kering tanah.

**i. Uji Cbr**

Tujuannya adalah untuk menentukan nilai CBR dengan mengetahui kuat hambatan campuran tanah Pada penelitian yang telah dilakukan oleh John Tri Hatmoko dan Yohanes Lulie yang berjudul UCS Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Abu Ampas Tebu Dan Kapur dapat disimpulkan pengujian kuat tekan bebas tanah lempung dicampur kapur dengan variasi 2,4,6,8 dan 10 %, menghasilkan kuat tekan yang selalu meningkat, dalam penelitian tersebut kenaikan kekuatan yang terjadi cukup signifikan kecuali kenaikan kekuatan dari variasi 6 % ke 8%, kenaikan yang terjadi hanya 6%.

**j. Uji kuat geser langsung**

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh tahanan geser tanah pada tegangan normal tertentu. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kuat geser tanah.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Cut Nuri Badariah, Nasrul, Yudha Hanova yang berjudul Perbaikan Tanah Dasar Jalan Raya Dengan Penambahan Kapur, di peroleh hasil dari pengujian kuat geser langsung yaitu nilai kohesi



meningkat dari 0.16 kg /cm<sup>2</sup> menjadi 0.59 kg / cm<sup>2</sup>, dan peningkatan juga terjadi pada nilai sudut geser sebesar 4 .20 0 pada penambahan kapur dari 4 % ke 6 %.