

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

1. Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, H.C., 1992).

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, H.C., 1992).

Pada awal mula terbentuknya tanah disebabkan oleh pelapukan batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan oleh perubahan panas dan dingin yang terus-menerus (cuaca,

matahari dan lain-lain) dan juga akibat gerusan oleh aliran air yang akhirnya menyebabkan hancurnya batuan tersebut. Dalam proses pelapukan mekanis tidak terjadi perubahan susunan kimiawi dari mineral batuan tersebut. Pada proses pelapukan kimia mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia.

kata "tanah" merujuk ke material yang tidak membatu, tidak termasuk batuan dasar, yang terdiri dari butiran-butiran mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta memiliki bentuk dan ukuran, bahan organik, air dan gas yang bervariasi. Jadi tanah meliputi gambut, tanah organik, lempung, lanau, pasir dan kerikil atau campurannya (Panduan Geoteknik 1, 2001 dalam Soraya Putri Zainanda, 2012).

2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah itu sendiri adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah untuk membedakan tanah berdasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Dengan adanya sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat mengenai sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. Klasifikasi umumnya di dasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada.

Beberapa sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah *unified* (USCS).

a. Sistem Klasifikasi AASTHO

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) merupakan sistem klasifikasi yang dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Pada sistem klasifikasi AASTHO ini telah mengalami beberapa perbaikan, adapun 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 membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. 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.

Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO, dapat dilihat dalam Tabel 1.

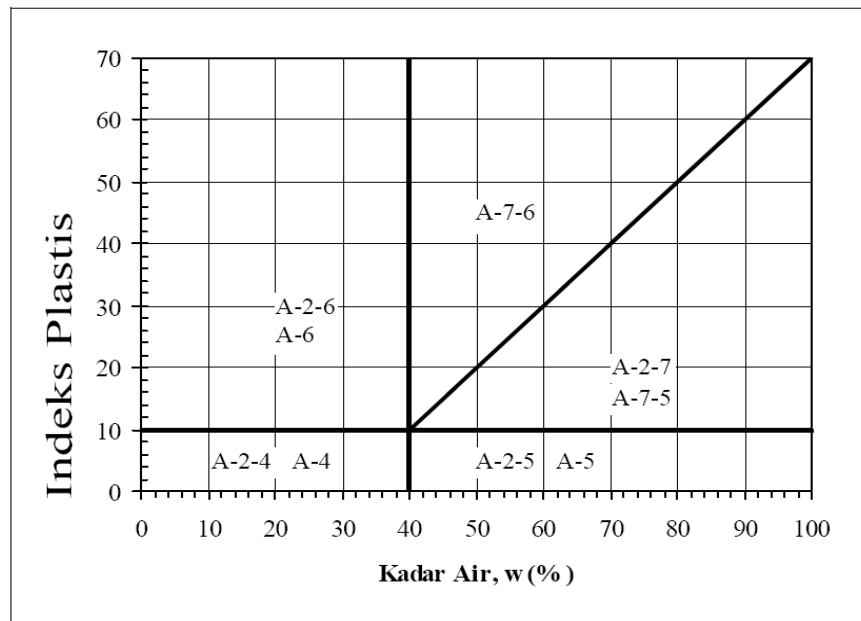
Pada sistem klasifikasi AASHTO ini bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

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 plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis indeks plastisitasnya 11 atau lebih.



Gambar 1. Nilai - Nilai Batas Atterberg Untuk Subkelompok Tanah

- 3) Batuan dengan ukuran lebih besar dari 75 mm di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka 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.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---		---	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≥ 41
Indek Plastisitas (PI)	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$ ** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Sumber : Das, 1995.

b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh Casagrande dan kemudian dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). (ASTM) *American Society for Testing and Materials* telah memakai USCS sebagai metode standard untuk mengklasifikasikan tanah. 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 kurang dari 50% tanah 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*), C untuk lempung inorganik (*inorganic clay*), 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. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Jenis Tanah	Simbol	Sub Kelompok	Simbol
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	WL<50%	L
Organik	O	WL>50%	H
Gambut	Pt		

Sumber : Bowles, 1991.

Dimana :

W = *Well Graded* (tanah dengan gradasi baik),

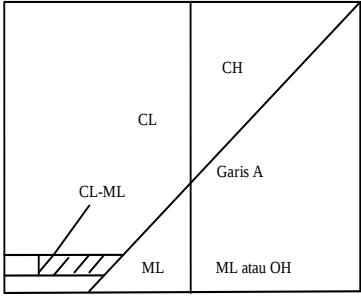
P = *Poorly Graded* (tanah dengan gradasi buruk),

L = *Low Plasticity* (plastisitas rendah, LL<50),

H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi, LL> 50).

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.

Tabel 3. Sistem Klasifikasi Unified

Divisi Utama			Simbol	Nama Umum		Kriteria Klasifikasi			
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% ≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel	Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ Cc = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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			
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol		
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI > 7			
	Pasir ≥ 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		Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ Cc = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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	Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol		
			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 ≤ 50%	ML		Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: 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.  Batas Cair (%) Garis A : PI = 0.73 (LL-20)		
				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 ≥ 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						
	Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat 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				

B. Tanah Lempung

1. Definisi Tanah Lempung

Beberapa pendapat para peneliti mengenai definisi dari tanah lempung, yaitu:

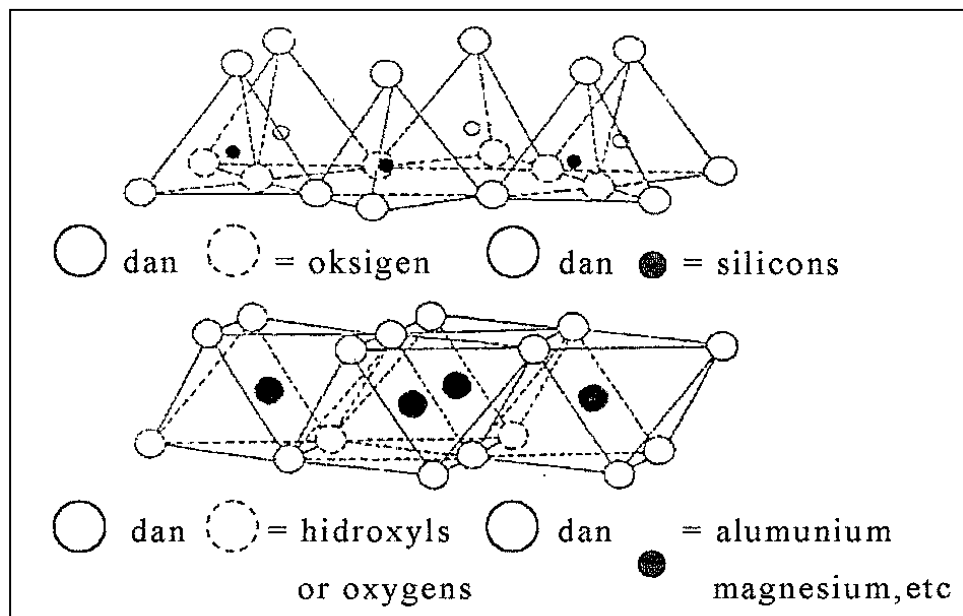
- a. Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat sangat keras dalam keadaan kering dan plastis dalam selang kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi, lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak; (Das, 1985 dalam Aniessa Rinny, 2010)
- b. Tanah lempung merupakan deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%; (Bowles, 1984 dalam Mirsa Susmarani 2012)
- c. Tanah lempung adalah tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah; (Grim, 1962 dalam Aniessa Rinny 2010)
- d. Tanah lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil ($< 0,002$ mm) dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah; (Wesley, 1977 dalam Mirsa Susmarani 2012).

- e. Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus $> 0,002$ mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan poses konsolidasi lambat; (Hardiyatmo, 1992).
- f. Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung didalamnya, karena tidak adanya perbedaan yang dominan dimana kesemuanya hanya dipengaruhi oleh unsur natrium saja yang paling mendominasi. Semakin tinggi plastisitas, grafik yang dihasilkan pada masing-masing unsur kimia belum tentu sama. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur warna tanah dipengaruhi oleh nilai *Liquid Limid* (LL) yang berbeda; (Marindo, 2005 dalam Aniessa Rinny 2010).

2. Jenis Mineral Lempung

Tanah lempung terdiri sekumpulan partikel-partikel mineral lempung yang berbentuk lempeng pipih dan merupakan partikel dari mika, mineral lempung dan mineral lainnya. Partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh faktor utama yang digunakan untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat fisik, sifat kimia dan partikel tanah adalah mineralogi (Mitchell, 1976). Sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh mineral yang terkandung di tanah tersebut. Mineral tersebut terutama terdiri dari alumunium silikat yang terdiri dari silikat tetrahedral dan alumunium oktahedral. Mineral-mineral ini terdiri dari

kristal dimana atom-atom yang membentuknya berada dalam suatu pola geometri tertentu. Setiap unit tetrahedral terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silikon, sedangkan unit oktahedral terdiri dari enam atom oksigen yang mengelilingi satu atom silikon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.

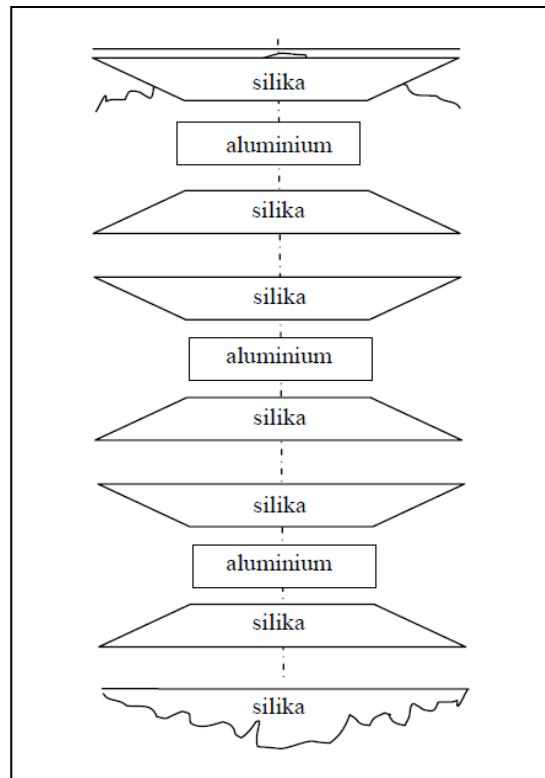


Gambar 2. Rangkaian Dasar Oktahedral dan Tetrahedral

Mineral-mineral lempung merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral-mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam golongan besar, yaitu *kaolinite*, *smectit* (montmorillonit), dan *illit* (mika hidrat).

a. *Montmorillonite*

Montmorillonite, disebut juga *smectite*, adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (*gibbsite*). Susunan mineral *montmorillonite* ditunjukkan pada Gambar 3.

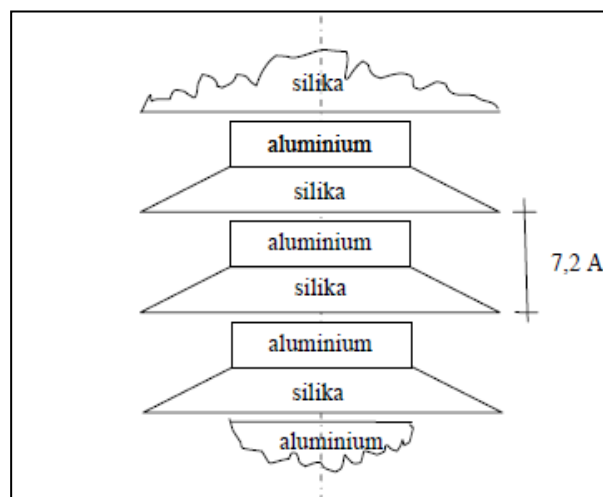


Gambar 3. Susunan Mineral *Montmorillonite*

Lembaran oktahedra terletak di antara dua lembar silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magnesium. Karena adanya gaya ikatan *Van der Waals* yang lemah di antara ujung lembaran silika dan terdapat kekuatan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, air dan ion-ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya, jadi kristal *montmorillonite* sangat kecil tapi waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

b. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan mineral dari kelompok *kaolin*, terdiri dari susunan satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal $7,2 \text{ \AA}$ ($1 \text{ angstrom (}\text{\AA}\text{)} = 10^{-10} \text{ m}$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen.

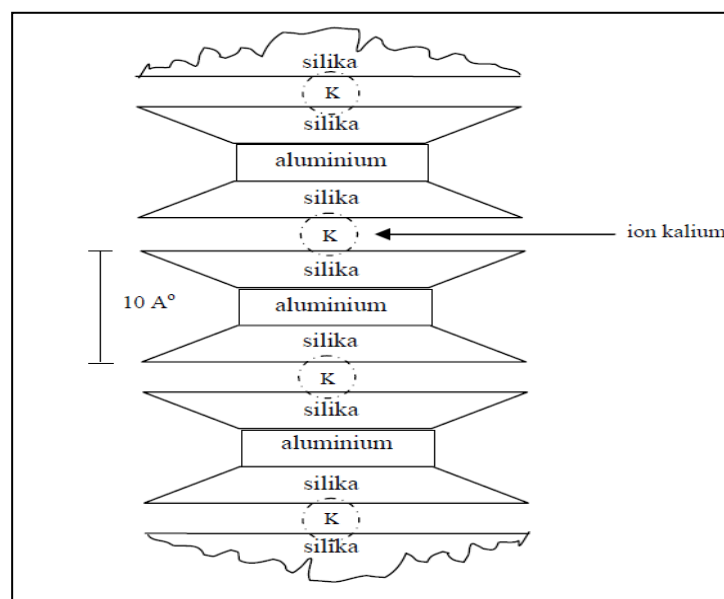


Gambar 4. Susunan Mineral *Kaolinite*

Pada keadaan tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari 100 tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk di antara lempengan (air dapat menimbulkan kembang susut pada sel satuannya).

c. *Illite*

Illite adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *illite*. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat di antara dua lembaran silika tetrahedra. Dalam lembaran oktahedra, terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 5. Lembaran-lembaran terikat bersama-sama oleh ikatan lemah ionion kalium (K^+). Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembarannya.



Gambar 5. Susunan Mineral *Illite*

3. Sifat Tanah Lempung

Tanah lempung mempunyai sifat-sifat khas yaitu sebagai berikut dalam keadaan kering akan bersifat keras, apabila dalam keadaan basah akan bersifat lunak plastis dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan

cepat sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air, Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu. Adapun sifat-sifat umum dari mineral lempung, yaitu:

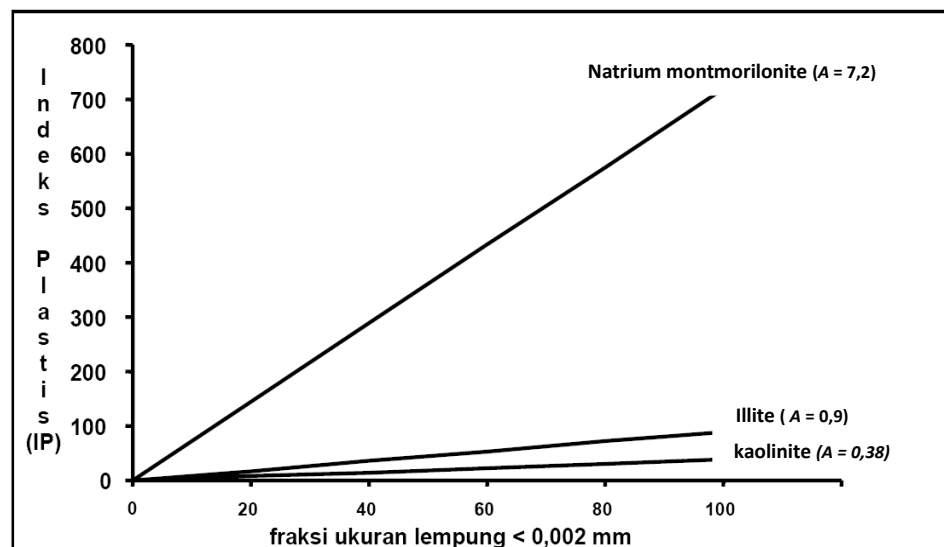
a. Aktivitas

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 tanah lempung. Gambar 6 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 $< 0,9$; dan
- 4) *Polygorskite* : tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $< 0,38$.



Gambar 6. Aktivitas Mineral Lempung

b. 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°C-100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

c. 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 (CCl₄) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

d. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal (*amorphus*) maka daya negatif, ion-ion H^+ 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^+), 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 *thixotropic*, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

e. Sifat Pengembangan Volume Tanah (*Swelling*)

Tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah, kadar air, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, dan sementasi dan adanya bahan organik.

C. Tanah Lempung Lunak

Menurut Panduan Geoteknik 1, 2001, penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan: tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir; tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Adapun salah satu tipe tanah yang termasuk ke dalam jenis tanah lunak yaitu lempung lunak.

Tanah lempung lunak adalah tanah yang mengandung mineral-mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah. Dalam rekayasa geoteknik istilah 'lunak' dan 'sangat lunak' khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti ditunjukkan pada Tabel dibawah ini.

Tabel 4. Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m^2)
Lunak	12,5-25
Sangat Lunak	< 12,5

Sebagai indikasi dari kekuatan lempung-lempung tersebut prosedur identifikasi lapangan pada Tabel 5 memberikan beberapa petunjuk.

Tabel 5. Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase Tanah Lempung Lunak

Konsistensi	Indikasi Lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
Sangat Lunak	Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

Lempung lunak atau juga yang dikenal lempung *expansive* merupakan jenis tanah lempung yang diklasifikasikan ke dalam jenis tanah yang memiliki nilai pengembangan dan nilai penyusutan yang besar, sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada struktur yang berada di atasnya. Hal tersebut dikarenakan besarnya nilai aktivitas (A) tanah lempung, besar kecilnya nilai aktivitas tanah lempung dipengaruhi oleh nilai indeks plastisitas (PI) tanah, pada Tabel 6 dapat diketahui potensi pengembangan suatu jenis tanah berdasarkan nilai indeks plastisitasnya (PI), untuk tanah lempung yang dapat dikategorikan ke dalam tanah lempung yang *expansive* yakni tanah yang memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi batasan nilai indeks plastisitasnya atau $PI > 35\%$, selain itu nilai aktivitas tanah lempung juga dapat dipengaruhi oleh jenis mineral yang terkandung pada tanah tersebut semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang.

Tabel 6. Potensi Pengembangan

Potensi Pengembangan	Pengembangan (akibat tekanan 6,9 KPa) (%)	Persen Koloid (<0,001mm) (%)	Indek Plastisitas PI (%)	Batas Susut SL (%)	Batas Cair LL (%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>65
Tinggi	20-30	20-31	25-41	07-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Sumber : Usman, 2008 dalam Mirsa Susmarani 2012

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume atau mengalami pengembangan atau penyusutan ketika kadar air berubah, maka dari itu air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung.

D. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah secara prinsip adalah suatu tindakan atau usaha yang dilakukan guna menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan gesernya. Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Adapun sifat tanah yang telah diperbaiki tersebut dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Teknologi stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 4 (empat) macam penggolongan utama, yaitu :

1. Physio - Chemical

Pencampuran tanah asli dengan semen, kapur ataupun aspal sebagai bahan pengikat partikel tanah.

2. Granulometric

Pencampuran tanah asli dengan tanah lain yang mempunyai sifat dan karakteristik yang lebih baik lalu dipadatkan dengan alat pemadat.

3. *Physio - Mechanical*

Pemadatan langsung dengan alat pemadat maupun aplikasi teknologi seperti cakar ayam, tiang pancang dan geomembran atau *geotextile*.

4. *Electro – Chemical*

Ionisasi partikel tanah dengan mencampurkan bahan kimia tertentu contohnya TX-300, yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat buruk tanah, seperti kembang susut menjadi tanah yang mudah dipadatkan dan stabil secara permanen.

Menurut *Bowles*, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut : meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul, menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah (drainase tanah), mengganti tanah yang buruk. Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut :

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

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.

E. Stabilisasi Elektro-Kimiawi TX-300

1. Karakteristik TX-300

TX-300 merupakan suatu bahan penstabilisasi tanah secara elektro-kimiawi yang sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek / dibawah standar yang akan dipakai sebagai lapis pondasi pada konstruksi jalan. Penambahan TX-300 ini akan meningkatkan kepadatan dan daya dukung material tanah, sehingga memungkinkan lapis pondasi jalan yang dibangun dapat mempertahankan tingkat kepadatannya dalam keadaan kering atau kondisi basah.

TX-300 digunakan untuk membangun struktur dasar jalan yang kokoh dan tahan lama. Bahan ini dapat digunakan untuk memperbaiki tanah pada jalan yang dilapis aspal/beton dan dapat digunakan juga untuk jalan tanpa lapisan penutup. Sehingga daya dukung tanah lebih baik, struktur jalan tahan lama dan tahan terhadap perubahan cuaca.

Stabilisasi tanah dengan TX-300 dapat digunakan untuk menggantikan lapis pondasi pada lapis perkerasan jalan seperti pada *base*, *sub-base* dan *subgrade*. Karena dengan menggunakan bahan penstabilisasi ini kepadatan tanah yang diinginkan akan tercapai, selain itu juga akan meningkatkan

karakteristik fisik dan mekanik tanah. Test di lapangan dan laboratorium menunjukkan bahwa peningkatan ditemukan didalam kekuatan lapisan tidak hanya dalam kaitan dengan kepadatan, tetapi juga dalam kaitan dengan peningkatan sifat-sifat indeks seperti PI, nilai modulus dan penyusutan linier.

TX-300 dapat digunakan pada semua jenis tanah dan material campuran. Namun bahan ini tidak bekerja dengan baik pada material pasir murni, sehingga diperlukan material campuran seperti tanah, lempung, atau *fly ash* agar TX-300 dapat bekerja dengan efektif.

TX-300 bersifat koloid yang dibentuk melalui pertukaran ion lalu menghasilkan pembentukan gel yang mengubah mereka dari cair ke padat. Cairan TX-300 tersebut membentuk suatu ikatan tetap, kaku, dan tidak mudah ditembus air, karenanya memberikan ketahanan terhadap kelembaban (dengan cara mengisi rongga pada tanah), mengurangi indeks plastisitas dan penurunan tegangan permukaan. Setelah beberapa waktu, tanah akan tersementasi dan pada akhirnya kapasitas atau daya dukung tanah akan meningkat.

TX-300 aman terhadap lingkungan dan tidak memerlukan label peringatan berbahaya. Cairan konsentrat ini dapat disimpan untuk periode waktu yang panjang dalam kontainer baja. TX-300 adalah bahan non korosif, tidak mudah terbakar, tidak menyebabkan alergi dan tidak beracun. Cairan TX-300 ini dapat membeku pada suhu dibawah 30° F (0° C), dan setelah

kembali mencair bahan ini akan kembali pada karakteristik semula (tidak merubah sifat awal).

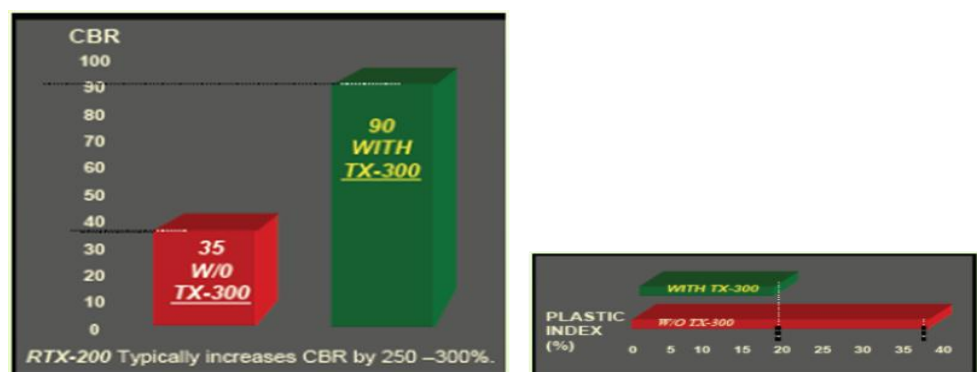
Dibandingkan dengan bahan stabilisasi dari semen, stabilisasi tanah menggunakan TX-300 akan memerlukan biaya yang lebih sedikit, pelaksanaan lapangan lebih mudah dan waktu pengerjaannya pun lebih singkat, serta ramah terhadap lingkungan.

TX-300, bila diaplikasikan secara tepat akan memadatkan tanah dan menjadikan struktur tanah yang keras dan tahan air. Fungsi lain dari TX-300 adalah:

- a. Memperkuat pondasi bangunan;
- b. Konstruksi landasan pesawat, lantai lapangan parkir, lantai area pergudangan; dan
- c. Memperkuat campuran beton.

Keuntungan menggunakan TX-300 :

- a. Meningkatkan CBR hingga 250% - 300 % secara signifikan mengurangi indeks plastisitas tanah.



Gambar 7 . (Sumber : Test Data Dilakukan Oleh *The University of Arkansas, Civil Engineering Department* dalam Artha Consultama, 2011).

- b. Waktu konstruksi yang cepat, lebih cepat dibandingkan dengan pembuatan struktur dasar jalan yang normal.
- c. Lebih ekonomis, meminimalisasi penggunaan bahan lapisan penutup jalan (aspal / beton). Atau tidak menggunakan lapisan penutup sama sekali.
- d. Tahan lama, baik dengan perawatan yang minimal atau tanpa perawatan sama sekali.
- e. Ramah lingkungan dan aman bagi manusia (lulus persyaratan dan standard dari US EPA dan ISO 9002).

2. Mekanisme Kerja TX-300

TX 300 sebagai salah satu *stabilizing agent*, TX 300 memiliki mekanisme kerja tersendiri bila bereaksi dengan air sebagai media mencampurnya dan tanah sebagai media yang distabilisasi. Adapun mekanisme kerja TX 300 secara kimiawi, antara lain:

- a. Cairan anorganik pada TX 300 bekerja saat dilarutkan dengan pengaruh polimer yang bereaksi menjadi katalisator. Senyawa yang terkandung di dalamnya membentuk ikatan dan mengikat senyawa pigmen organik dan anorganik tanah dalam *subgrade*, *base* dan material permukaan jalan, khususnya dalam batu kapur, bijih besi, lempung, pasir, semen, aspal bekas. Karena terjadi pengurangan air dalam tanah, maka senyawa-senyawa tersebut meningkatkan ikatan impermeabel menjadi maksimal.

- b. Kandungan kimia TX 300 memiliki lebih banyak proses pengikatan senyawa daripada reaksi kimia seperti yang ditemukan pada *stabilizer* belerang atau klorida yang menyebabkan korosi. Pada *stabilizer* asam sulfur, material jalan mengeras dengan reaksi kimia atau “kristalisasi” yang hanya memisahkan, terutama material yang mengandung semen atau kalsium seperti yang ditemukan pada cangkang atau batu kapur. Secara berlawanan, TX 300 merupakan senyawa koloid. Senyawa terbentuk karena pertukaran ion yang menghasilkan bentuk gel (setengah padat) yang mengubah bentuk dari cair menjadi padat kemudian mengubahnya menjadi permanen. Ikatan impermeabel yang tetap (kaku) mengubahnya menjadi berlawanan dengan kelembaban yang terdapat dalam rongga, menurunkan indeks plastisitas dan menurunkan tegangan permukaan sebagai proses sementasi yang pada akhirnya menaikkan daya dukung tanah.
- c. Reaksi polimer TX 300 menjadi lapisan tipis keras. Ketika lapisan mengeras, air akan terpisah dari tanah. Komponen-komponen mencapai viskositas maksimum dan mengubahnya menjadi lebih kuat, ikatan anorganik yang tidak dapat mengalami bio-degradasi. TX 300 menekan lapisan-lapisan menjadi ikatan partikel yang kecil secara bersamaan, oleh karena itu pengikatan dan peningkatan komponen biasanya menggunakan 2 metode yaitu:
1. Dehidrasi
 2. Mekanisme ikatan kimia yang menempa material menjadi lebih lekat, lebih kuat, dan tidak dapat dipisahkan.

F. *California Bearing Ratio (CBR)*

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). 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*).

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. Pemeriksaan CBR laboratorium dilaksanakan dengan dua macam metode yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*) (Sukirman, 1992). Hal yang membedakan pada dua macam metode tersebut adalah contoh tanah atau benda uji sebelum dilakukan pemeriksaan CBR.

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 :

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

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

Dimana :

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

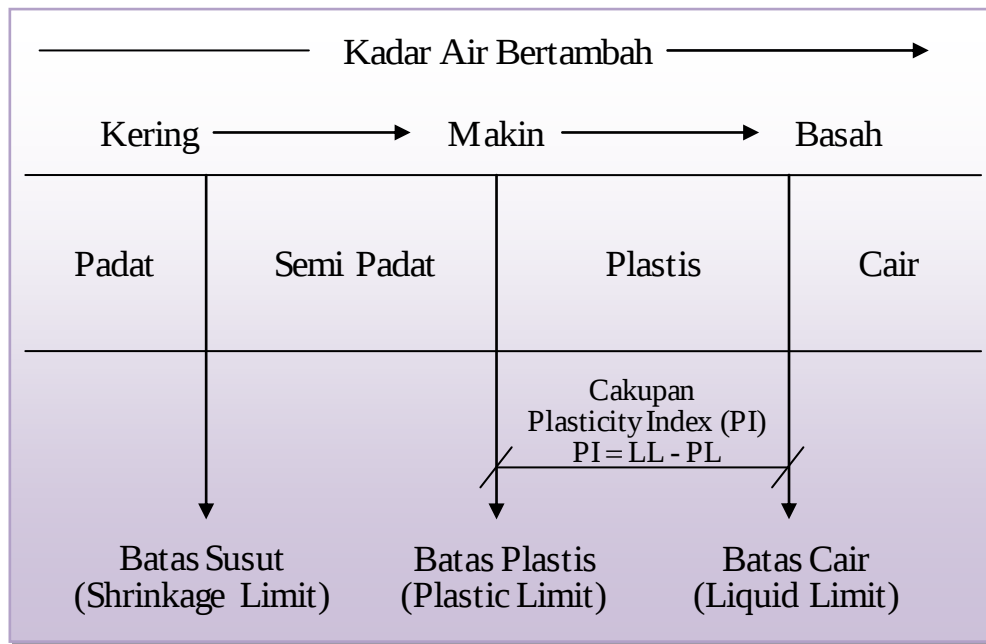
B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

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

G. Batas-Batas *Atterberg*

Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg* (yang mana diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu Atterberg pada tahun 1911). Pada kebanyakan tanah di alam, berada dalam kondisi plastis.

Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel. Sedangkan jika 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 dibedakan ke dalam empat (4) keadaan dasar, yaitu : padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*), seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 8** berikut.



Gambar 8. Batas-batas *Atterberg*

Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas *Atterberg* antara lain :

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah yang di buat menyerupai lidi-lidi sampai dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak, putus atau terpisah ketika digulung.

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) adalah kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan 100%, dimana untuk nilai-nilai dibawahnya tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus.

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis.

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis.

H. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Dari beberapa yang telah dilakukan di laboratorium merupakan bahan pertimbangan dan acuan penelitian ini dikarenakan adanya kesamaan metode, sampel tanah yang digunakan, bahan aditif dan perlakuan berbeda. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut memiliki informasi yang dapat menjadi gambaran untuk penelitian ini. Penelitian yang menjadi inspirasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Daya Dukung Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi Menggunakan TX 300 Sebagai Lapisan Subgrade.

Penelitian yang dilakukan oleh Mirsa Susmarani pada tahun 2012 adalah mengenai “Studi Daya Dukung Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi Menggunakan TX 300 Sebagai Lapisan Subgrade”. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran tanah dan TX-300 dengan variasi kadar TX-300 yang digunakan sebanyak 0 ml, 0,3 ml, 0,6 ml, 0,9 ml, 1,2ml dan 1,5ml. Dan hasil dari penelitian tersebut mengatakan bahwa penggunaan bahan campuran TX-300 sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung lunak dari Rawa Sragi, Desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur, mampu meningkatkan kekuatan daya dukungnya sebanyak lebih dari 100%. Sedangkan untuk kadar TX-300 yang

menghasilkan nilai daya dukung paling tinggi adalah ketika sampel tanah dicampur dengan 0,9 ml TX-300 dengan pemeraman selama 7 hari. Sehingga dapat disimpulkan penggunaan TX-300 juga cukup efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak tersebut sebagai *subgrade*.

Tabel 7. Hasil Pengujian CBR dengan Kadar TX 300

Kadar TX 300	CBR
0 ml	8,1%
0,3 ml	16,1%
0,6 ml	18,8%
0,9 ml	19,1%
1,2 ml	16,0%
1,5 ml	12,3%

2. Stabilisasi menggunakan ISS dengan variasi waktu perendaman

Penelitian yang dilakukan oleh Aniessa Rinny pada tahun 2010 adalah mengenai “Pengujian Dampak Variasi Waktu Perendaman Terhadap Daya Dukung dan Pengembangan Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi Menggunakan *Ionic Soil Stabilizer 2500*“. Penggunaan ISS 2500 cukup efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lunak yang berasal dari Rawa Sragi terutama sebagai *subgrade*. Faktor perendaman tanah dengan air dapat menurunkan kekuatan tanah stabilisasi ISS 2500 yang berbanding lurus dengan variasi lama waktu perendaman dan sangat signifikan perbedaannya dibandingkan dengan tanah stabilisasi ISS 2500 tanpa perlakuan perendaman.

Tabel 8. Hasil Pengujian CBR Rendaman (Aniessa Rinny, 2010)

Lama Waktu Perendaman	Nilai CBR (%)
0 hari	29,5
7 hari	6,9
14 hari	4,8
28 hari	3,6

3. Stabilisasi menggunakan Abu Gunung Merapi dengan variasi waktu perendaman

Penelitian yang dilakukan oleh Soraya Putri Zainanda pada tahun 2012 adalah mengenai “Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung Plastisitas Rendah yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi” mengatakan bahwa nilai CBR untuk tiap masa perendaman cenderung menurun seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman. Hal ini disebabkan semakin lamanya waktu perendaman, air yang terserap oleh tanah juga semakin banyak.

Tabel 9. Hasil Pengujian CBR Rendaman (Soraya Putri Zainanda, 2012)

Lama Waktu Perendaman	Nilai CBR (%)
0 hari	25
7 hari	8
14 hari	7,2
28 hari	5