

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lapis Perkerasan Jalan

Sifat dari lapisan-lapisan perkerasan jalan adalah memikul dan menyebarkan beban-beban lalu-lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Akan tetapi, jika kondisi tanah kurang baik mutunya sebagai lapis pondasi dengan fungsinya masing-masing maka perlu dilakukan suatu tindakan perbaikan tanah dan salah satunya dengan cara stabilisasi tanah. Adapun lapisan-lapisan tersebut adalah :

1. Lapis Permukaan

Lapisan yang terletak paling atas disebut lapis permukaan. Lapisan permukaan sebagai lapisan aus yang kedap air yang berfungsi untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca, membuat jalan agar lebih rata dan mulus, serta untuk menahan beban roda. Lapisan ini biasanya terbuat dari campuran beton (*Flexible Pavement*) ataupun struktur beton (*Rigid Pavement*).

2. Lapis Pondasi Atas

Lapis perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi atas (*base course*). Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban kebagian bawahnya.
- b. Lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah.
- c. Bantalan terhadap lapis permukaan.

3. Lapis Pondasi Bawah

Lapis perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi atas dan tanah dasar dinamakan lapis pondasi bawah (*subbase course*). Fungsi lapisan pondasi bawah antara lain :

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan meratakan beban roda ke lapisan tanah dasar.
- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah, agar lapisan-lapisan yang berada di atasnya dapat dikurangi tebalnya.
- c. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan dengan lancar.

4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah setebal 150 - 100 cm dimana di atasnya akan diletakkan lapisan pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang dapat berupa tanah asli yang dipadatkan (jika tanah aslinya baik), tanah

yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur ataupun bahan lainnya. Sebelum lapisan-lapisan lainnya diletakkan, tanah dasar (*subgrade*) dipadatkan terlebih dahulu sehingga tercapai kestabilan yang tinggi terhadap perubahan volume, sehingga dapat dikatakan bahwa kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat daya dukung tanah dasar. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar (*subgrade*) dapat dibedakan atas 3 macam, antara lain :

- a). Lapisan tanah dasar, yang merupakan tanah asli
- b). Lapisan tanah dasar, yang merupakan tanah timbunan
- c). Lapisan tanah dasar, yang merupakan tanah galian

Adapun masalah- masalah yang sering dijumpai menyangkut tanah dasar (*subgrade*) adalah :

- a. Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas. Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan jalan tersebut rusak. Lapisan-lapisan tanah lunak yang terdapat di bawah tanah dasar harus diperhatikan. Daya dukung tanah dasar yang ditunjukkan oleh nilai CBR-nya dapat merupakan indikasi dari perubahan bentuk yang dapat terjadi.
- b. Daya dukung tanah dasar yang tidak merata pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda. Penelitian yang seksama atas jenis dan sifat tanah dasar sepanjang jalan dapat mengurangi akibat tidak seragamnya daya dukung tanah dasar. Perencanaan tebal perkerasan

dapat dibuat berbeda-beda dengan membagi jalan menjadi segmen-segmen berdasarkan sifat tanah yang berlainan.

- c. Perbedaan penurunan (*differential settlement*) akibat terdapatnya lapisan-lapisan tanah lunak di bawah tanah dasar akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan penyelidikan tanah dengan teliti. Pemeriksaan dengan menggunakan alat bor dapat memberikan gambaran yang jelas tentang lapisan tanah di bawah lapis tanah dasar.
- d. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air. Hal ini dapat dikurangi dengan memadatkan tanah pada kadar air optimum mencapai kepadatan tertentu sehingga perubahan volume yang mungkin terjadi dapat dikurangi. Kondisi drainase yang baik dapat menjaga kemungkinan berubahnya kadar air pada lapisan tanah dasar.
- e. Daya dukung yang tidak merata akibat pelaksanaan yang kurang baik. Hal ini akan lebih buruk pada tanah dasar dari jenis tanah berbutir kasar dengan adanya tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas ataupun akibat berat tanah dasar itu sendiri (pada tanah dasar tanah timbunan). Hal ini dapat diatasi dengan melakukan pengawasan yang baik pada saat pelaksanaan pekerjaan tanah dasar. Kondisi geologis dari lokasi jalan perlu dipelajari dengan teliti, jika ada kemungkinan lokasi jalan berbeda pada daerah patahan, dan lain sebagainya.

Banyak metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar, misalnya pemeriksaan CBR (*California Bearing Ratio*), DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), dan k (modulus reaksi tanah dasar). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal perkerasan ditentukan dengan pemeriksaan CBR.

B. 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).

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan *glasyer*, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang dikenal sebagai mineral lempung.

Tanah menurut teknik sipil dapat didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses geologi yang dapat digali tanpa peledakan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pemboran (Hendarsin, 2000).

Menurut Bowles, tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan kedalam danau atau didekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

1. 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. Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi.

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 Administration 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, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap tujuan awalnya. 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

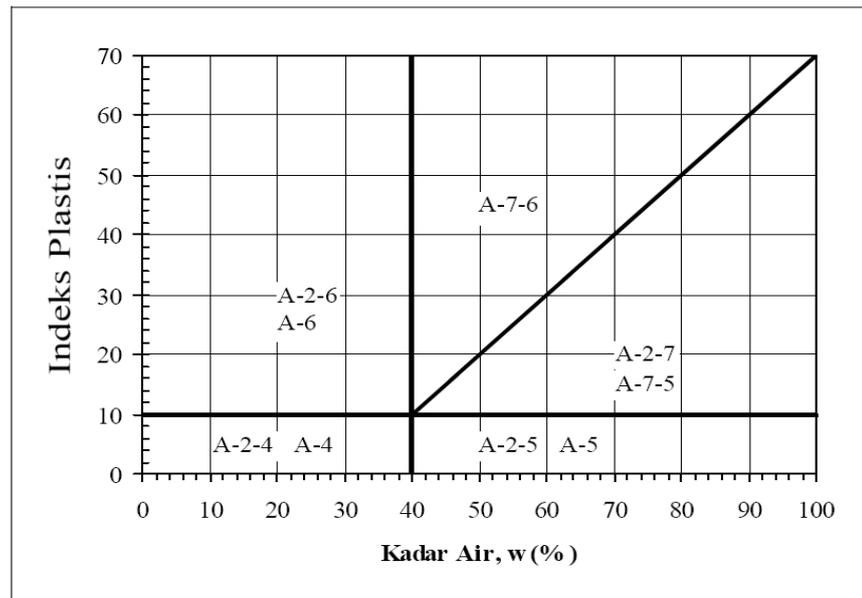
Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).

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.



Gambar 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.

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)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*
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	≤ 41	≥ 41	≥ 41
Indek Plastisitas (PI)	≤ 6	---	NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≥ 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, 1998.

b. Sistem Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

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 :

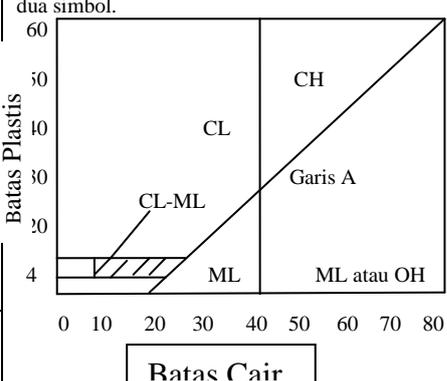
Tabel 2. Sistem klasifikasi tanah *unified*

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		

Sumber : *Bowles*, 1991.

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 4. Klasifikasi tanah berdasarkan Sistem *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	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		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	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	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	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. 
				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			
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			

Sumber : Hary Christady, 1996.

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

1. 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.
2. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

Untuk membedakan jenis tanah dalam beberapa golongan, maka dilakukan klasifikasi dengan berbagai macam pengujian laboratorium. Salah satunya adalah sistem klasifikasi USCS. Klasifikasi tanah *Unified* (USCS) 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*).

C. 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).

Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung di dalamnya, 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 Limit* (LL) yang berbeda-beda (Marindo, 2005 dalam Afryana, 2009).

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.

Tanah lempung terdiri sekumpulan partikel-partikel mineral lempung dan pada intinya adalah hidrat aluminium silikat yang mengandung ion-ion Mg, K, Ca, Na dan Fe. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam empat golongan besar, yaitu *kaolinit*, *montmorillonit*, *illit* (mika hidrat) dan *chlorite*. Mineral-mineral lempung ini merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral-mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan.

Tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif (Bowles, 1991).

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 mm yang dinotasikan dengan huruf *C* dandisederhanakan dalam persamaan berikut:

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

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Klasifikasi mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya yakni :

- a. *Montmorillonite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 7,2$
- b. *Illite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,9$ dan $< 7,2$
- c. *Kaolinite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,38$ dan $< 0,9$
- d. *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⁺ 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 *Thixotrophix*, 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 (CCl₄) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

5. Sifat Kembang Susut

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.

1. Kriteria Tanah Lempung

Suatu tanah dapat digolongkan sebagai tanah lempung jika memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Mengandung 30% pasir, 40% butiran-butiran ukuran lanau, dan 30% butiran-butiran ukuran lempung.
- b. Butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) berdasarkan ASTM standardan berukuran $< 0,002$ mm.

Suatu bahan yang hampir seluruhnya terdiri dari pasir, tetapi ada yang mengandung sejumlah lempung

2. Jenis Mineral Lempung

a. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan anggota kelompok *kaolinite serpentin*, yaitu *hidrus alumino silikat* dengan rumus kimia $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Kekokohan sifat struktur dari partikel *kaolinite* menyebabkan sifat-sifat plastisitas dan daya pengembangan atau menyusut *kaolinite* menjadi rendah.

b. *Illite*

Illite adalah mineral bermika yang sering dikenal sebagai *mika tanha* dan merupakan mika yang berukuran lempung. Istilah *illite* dipakai untuk tanah berbutir halus, sedangkan tanah berbutir kasar disebut *mika hidrus*.

Rumus kimia *illite* adalah $\text{K}_y\text{Al}_2(\text{Fe}_2\text{Mg}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_{4-y}\text{Al}_y)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

c. *Montmorilonite*

Mineral ini memiliki potensi plastisitas dan mengembang atau menyusut yang tinggi sehingga bersifat plastis pada keadaan basah dan keras pada keadaan kering. Rumus kimia *montmorilonite* adalah $\text{Al}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

3. Sifat Tanah Lempung

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.

Tanah lempung adalah tanah yang mempunyai partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953 dalam Darmady, 2009).

Mineral lempung merupakan senyawa *aluminium silikat* yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar, yaitu *silica tetrahedral* dan *aluminium octahedral*. *Silicon* dan *aluminium* mungkin juga diganti sebagian dengan unsure lain yang disebut dengan substitusi isomorfis.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999):

- a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm.
- b. Permeabilitas Rendah.
- c. Kenaikan Air Kapiler Tinggi.
- d. Bersifat sangat kohesif.
- e. Kadar kembang susut yang tinggi.
- f. Proses konsolidasi lambat.

Tanah butiran halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum daripada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relative kekurangan air, oleh karena itu

lempung ini mempunyai kecenderungan yang lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang (Hardiyatmo,1999).

Selain itu juga lempung mempunyai sifat *thixotrophyl*, yaitu tanah yang mengalami kehilangan kekuatan setelah diremas, kemudian akan dapat kembali sebagian dari kekuatan yang hilang itu, ini disebabkan karena adanya air terserap (*absorb water*) disekeliling permukaan dari partikel lempung.

D. Tanah 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 kedalam 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 4 berikut :

Tabel 4. Definisi kuat geser lempung lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m²)
Lunak	12.5 – 25
Sangat Lunak	< 12.5

Sumber : Panduan Geoteknik 1, 2001.

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

Tabel 5. Indikator kuat geser tak terdrainase tanah-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

Sumber : Panduan Geoteknik 1, 2001.

Lempung lunak atau juga yang dikenal lempung *expansive* merupakan jenis tanah lempung yang di klasifikasikan kedalam 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 kedalam 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. 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.

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	7-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Sumber : Usman, Taufik. 2008.

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian terbesar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah dibandingkan tanah lempung lainnya. Tanah-tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah
2. Berkurang kuat gesernya bila kadar air bertambah
3. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu

4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
5. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
6. Kompresibilitasnya besar (Tabel 7)

Tabel 7. Klasifikasi Kompresibilitas Tanah

Compresibility, C	Classification
0 – 0,05	Very slightly compressible
0,05 – 0,1	Slightly compressible
0,1 – 0,2	Moderately compressible
0,2 – 0,35	Highly compressible
> 0,35	Very highly compressible

Sumber : Coduto, 1994

7. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada bebanyang konstan
8. Merupakan material kedap airMenurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanahlempung lunak apabila mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (N-value < 4). Berdasarkan uji lapangan,lempung lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan.Toha(1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam Tabel 8.

Tabel 8. Sifat-Sifat Umum Lempung Lunak

Parameter	Nilai
Kadar air	80 – 100%
Batas Cair	80 – 110%
Batas plastis	30 – 45%
Lolos saringan no.200	< 0,002 mm
Kuat geser	20 – 40 kN/m ²

Sumber : Toha, 1989

E. Semen (*Portland Cement*)

Semen adalah bahan ikat hidrolis (menghisap atau membutuhkan air), yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan tambah.

Unsur yang penting dan memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekuatan pasta semen adalah C_2S dan C_3S . Setelah tercampur dengan air senyawa tersebut akan mengalami oksidasi dan membentuk sebuah massa yang padat. Senyawa tersebut bereaksi secara eksotermik dan berpengaruh pada panas hidrasi tinggi.

Perbandingan-perbandingan bahan utama semen Portland adalah

- Kapur (CaO)	60% - 65%
- Silika (SiO_2)	20% - 25%
- Oksida besi (Fe_2O_3) dan Alumina (Al_2O_3)	7% - 12%

Semen portland diklasifikasikan dalam lima tipe yaitu :

1. Tipe I (Ordinary Portland Cement)

Semen Portland untuk *penggunaan umum* yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang dipersyaratkan pada tipe-tipe lain. Tipe semen ini paling banyak diproduksi dan banyak dipasaran

2. Tipe II (Moderate sulfat resistance)

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan *ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang*. Tipe II ini mempunyai panas hidrasi yang lebih

rendah dibanding semen Portland Tipe I. Pada daerah–daerah tertentu dimana suhu agak tinggi, maka untuk mengurangi penggunaan air selama pengeringan agar tidak terjadi *Srinkage* (penyusutan) yang besar perlu ditambahkan sifat moderat “*Heat of hydration*”. Semen Portland tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

3. Tipe III (High Early Strength)

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan *kekuatan yang tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi*. Semen tipe III ini dibuat dengan kehalusan yang tinggi blaine biasa mencapai $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ dengan nilai C3S nya juga tinggi. Beton yang dibuat dengan menggunakan semen Portland tipe III ini dalam waktu 24 jam dapat mencapai kekuatan yang sama dengan kekuatan yang dicapai semen Portland tipe I pada umur 3 hari, dan dalam umur 7 hari semen Portland tipe III ini kekuatannya menyamai beton dengan menggunakan semen Portland tipe I pada umur 28 hari

4. Tipe IV (Low Heat Of Hydration)

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan *panas hidrasi rendah*. Penggunaan semen ini banyak ditujukan untuk struktur Concrete (beton) yang massive dan dengan volume yang besar, seperti bendungan, dam, lapangan udara. Dimana kenaikan temperatur dari panas yang dihasilkan selama periode pengerasan diusahakan seminimal mungkin sehingga tidak terjadi pengembangan

volume beton yang bisa menimbulkan cracking (retak). Pengembangan kuat tekan (strength) dari semen jenis ini juga sangat lambat jika dibanding semen portland tipe I

5. Tipe V (Sulfat Resistance Cement)

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan *ketahanan tinggi terhadap sulfat*. Semen jenis ini cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi seperti : air laut, daerah tambang, air payau.

Proses interaksi antara tanah dengan semen adalah sebagai berikut:

1. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion

Menurut Mitchell (1993), bahwa partikel semen yang kering tersusun secara heterogen dan berisi kristal-kristal $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_4$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ dan bahan-bahan yang padat berupa $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Bila semen ditambahkan pada tanah, ion kalsium Ca^+ dilepaskan melalui hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Dengan reaksi ini partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensinya tanah menjadi lebih baik.

2. Reaksi pembentukan kalsium silikat

Dari reaksi-reaksi kimia yang berlangsung diatas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan adalah hidrasi dari A-lite ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan B-lite ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang terdiri dari kalsium silikat melalui hidrasi tadi hidrat-hidrat

seperti kalsium silikat dan aluminat terbentuk. Senyawa-senyawa ini berperan dalam pembentukan atau pengerasan.

3. Reaksi Pozzolan

Kalsium hidroksida yang dihasilkan pada waktu hidrasi akan membentuk reaksi dengan tanah (*reaksi pozzolan*) yang bersifat memperkuat ikatan antara partikel, karena berfungsi sebagai *binder* (pengikat)

F. 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 sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Sifat – sifat tanah yang telah diperbaiki dengan cara stabilisasi 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 - Mechanical*

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

2. *Granulometric*

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

3. *Physio - Chemical*

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

4. *Electro - Chemical*

Ionisasi partikel tanah dengan mencampurkan bahan kimia tertentu, 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 :

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 atau dengan cara mencampur dan mengaduk dua macam tanah lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di

pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan. Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.

Menurut Lambe (1962) stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat – sifat tanah :

- a. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapis tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
 - b. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah.
2. Bahan Pencampur (*Additiver*), yaitu bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tetap akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti : kekuatan, tekstur, kemudahan pengerjaan, dan plastisitas. Contoh-contoh bahan tambah adalah: kapur, semen portland, abu terbang (*fly ash*), aspal (*bitumen*), *ecomix*, *Ecomix*, dan lain-lain.

Beberapa pertimbangan yang perlu dilakukan dalam memilih tipe bahan tambah yang cocok, adalah :

- a. Jenis tanah yang akan distabilisasi
- b. Jenis struktur yang distabilisasi
- c. Ketentuan kekuatan tanah yang harus dicapai

- d. Tipe dari perbaikan tanah yang diinginkan
- e. Dana yang tersedia
- f. Kondisi lingkungan

Sebagai contoh, semen dapat digunakan untuk stabilisasi sembarang jenis tanah. Namun, semen lebih cocok untuk stabilisasi tanah granuler, dan kurang cocok untuk tanah lempung plastis. Sebaliknya, kapur lebih cocok digunakan untuk stabilisasi tanah lempung dengan keplastisitasan sedang sampai tinggi. Kapur akan mengurangi plastisitas, memberikan kemudahan pengerjaan, mengurangi sifat mengembang dan menambah kekuatannya. Jika material berupa kerikil berlempung, kapur akan membuat material lebih kuat, dan jika campuran ini digunakan untuk struktur lapis pondasi pada perkerasan, maka akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi. Kombinasi kapur semen dan abu terbang cocok digunakan untuk stabilisasi struktur lapis pondasi. Aspal cocok dicampur dengan pasir berlanau dan material granuler, karena aspal dapat membungkus seluruh butiran tanah.

G. Stabilisasi Tanah Menggunakan *Ecomix* (Soil Stabilizer)

1. Ecomix

Ecomix adalah zat *additive* untuk stabilisasi dan solidifikasi tanah (soil stabilizer technology) yang dikembangkan pertama kali di Jepang. *Ecomix* dapat digunakan untuk pengerasan badan jalan / sub base di daerah yang memiliki kondisi tanah lunak maupun keras, misalnya tanah merah, tanah

pasir, tanah kuning, tanah liat (dengan mempertimbangkan humiditas tanah).



Gambar 2. Bentuk fisik *Ecomix*

Mineral	%
NaCl	15-25
KCl	20-35
CaCl ₂	15-35
MgCl ₂	5-15
Ca ₃ (PO ₄) ₂	1-5
Na ₂ SO ₄	1-10
C ₉ H ₈ O ₇ H ₂ O	1-5
Lain-lain	5

Tabel 9. Tabel Komposisi *Ecomix*

Ecomix berbentuk serbuk halus dan terdiri dari komposisi logam dan garam/mineral anorganik yang bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan.

Ecomix dalam praktek penggunaannya selalu dipadukan dengan unsur tanah, semen dan air. Apabila *Ecomix* seberat 1 kg + 10 liter air diformulasikan atau dicampur dengan 1 m³ tanah dan 2 sak semen (100 kg), maka campuran tersebut dan memiliki kekuatan menahan beban sebesar 240 ton/m², dengan ketebalan 20 cm. Jalan yang menggunakan *Ecomix* memiliki porositas yang baik, anti retak, tidak licin dan tidak berdebu, konstruksi semakin kokoh apabila terkena air.

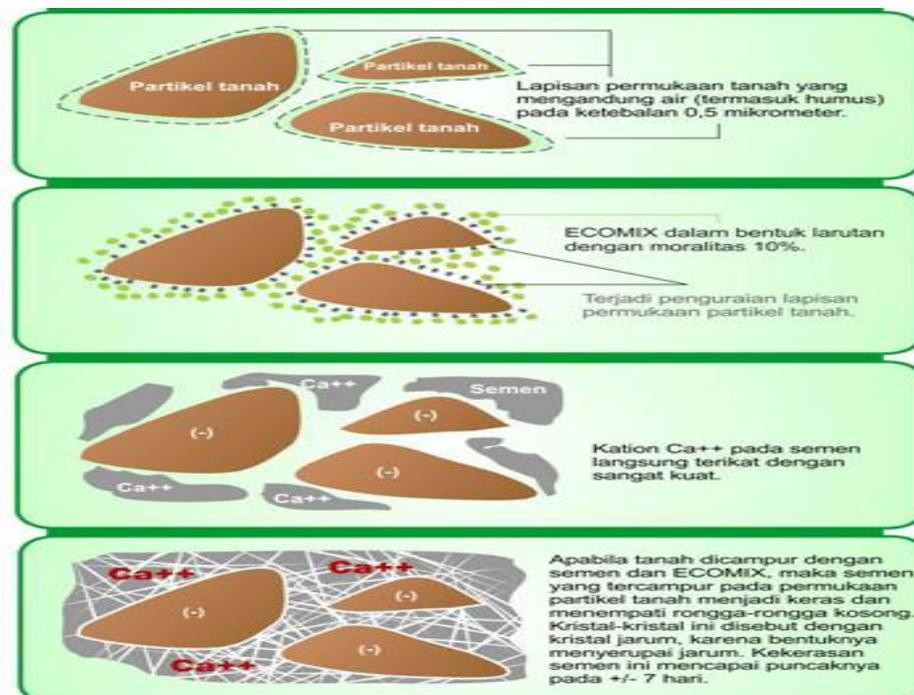
2. Cara Kerja *Ecomix*

Ecomix melarutkan asam humus (*humic acid*) yang terdapat dalam tanah, dan menghilangkan efek penghambatan ikatan ion, sehingga partikel tanah menjadi lebih mudah bermuatan ion negatif (anion), dan kation Ca⁺⁺

dapat mengikat langsung dengan mudah pada partikel tanah. Jika pencampuran semen mengandung sulfur (SO_3) dengan tanah tanpa melibatkan *Ecomix*, maka ketika bercampur dengan air tanah atau terkena air hujan, campuran tadi akan menghasilkan *sulfuric acid* yang menyebabkan terjadinya keretakan.

Hal ini akan berbeda bila menggunakan *ecomix*, dimana pada saat terjadi pengikatan semen pada partikel tanah dan mengering karena reaksi dehidrasi, akan terbentuk kristal-kristal yang muncul diantara campuran semen yang mengikat partikel tanah, kristal-kristal tersebut menyerupai jarum-jarum, secara intensif akan bertambah banyak dan membesar yang nantinya membentuk rongga-rongga mikron yang dapat menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi keretakan.

Cara kerja *Ecomix* akan ditunjukkan pada Gambar dibawah ini



Gambar 3. Cara Kerja Ecomix Secara Mikroskopis

3. Aplikasi *Ecomix*

Ecomix dapat digunakan untuk beberapa keperluan pekerjaan seperti konstruksi jalan, memadatkan dan menstabilkan tanah serta pondasi tanah dan perkerasan. Berikut ini adalah kegunaan dan aplikasi *Ecomix*.

1. Aplikasi *Ecomix* Untuk Konstruksi Jalan

Pekerjaan badan jalan dengan menggunakan *Ecomix* jauh lebih ekonomis dan efisien jika dibandingkan dengan metode konvensional. Campuran *Ecomix* tidak memerlukan tambahan batu, pasir dan lapisan HRS, sehingga menghemat waktu kerja dan juga biaya pemeliharaan di kemudian hari. Jalan juga akan bersifat higroskopis, ramah lingkungan dan tidak mudah terkikis erosi air. Selain itu dalam waktu 14 hari pemeraman, konstruksi jalan dapat mencapai CBR hingga 130%.



Gambar 4. Lapis Perkerasan Jalan

Berikut ini adalah tabel perbandingan pembangunan jalan dengan menggunakan *Ecomix* dan pembangunan jalan dengan metode konvensional:

Tabel 10. Perbandingan pembangunan jalan dengan menggunakan *Ecomix* dan pembangunan jalan dengan metode konvensional

METODE KONVENSIONAL	MENGGUNAKAN ECOMIX
Diperlukan agregat dan pasir yang cukup banyak untuk membentuk LPA + LPB	Tidak memerlukan batu dan pasir pada lapisan sub base, cukup hanya semen dan <i>Ecomix</i>
Diperlukan lapisan resap pengikat/HRS untuk meningkatkan daya rekat antara lapisan aspal dengan LPA	Tidak memerlukan HRS, dan pemakain asphalt dapat ditunda sampai benar-benar diperlukan
Partikel tanah pada LPA + LPB tidak stabil dan mudah terkikis oleh erosi air tanah sehingga LPA + LPB tidak elastis dan mudah longsor	Lapisan mikro poliaktif membuat tanah menjadi elastis dan tahan terhadap resapan air, dan mengurangi pengaruh buruk dari resapan air tanah pada LPA +LPB
Diperlukan perawatan jalan jika terjadi longsor (ambias) pada LPA + LPB jalan, dan terjadi kerusakan permukaan aspal karena pergerakan pergerakan LPA + LPB jalan	Perawatan dan pemeliharaan jalan sangat minim dan efisien
Ketebalan asphalt surface 5-7cm	Ketebalan asphalt surface rata-rata 3cm

2. *Ecomix* untuk Meningkatkan Kualitas Lapisan Tanah

Selain digunakan untuk konstruksi jalan raya, *Ecomix* juga sangat baik digunakan untuk meningkatkan kualitas lapisan tanah yang mana di atasnya akan diberikan konstruksi atau tekanan yang besar, seperti jenis-jenis bangunan berikut:

- Pembuatan jalan tanah.
- Landasan pesawat terbang.
- Lahan parkir.
- Jalan paving.
- Lantai pabrik atau pergudangan.
- Perkerasan tanah untuk gedung, areal bermain, fasilitas olahraga seperti lapangan, stadion dan lain sebagainya.
- Landasan bantalan rel kereta api.
- Pemadatan jalan yang rusak akibat erosi air tanah dan banjir.

3. *Ecomix* Untuk Pondasi

Sebuah bangunan yang kuat terbuat dari pondasi yang kuat pula, oleh karena itu *Ecomix* juga sangat bisa digunakan sebagai penguat landasan berbagai macam pondasi bangun dan konstruksi, misalnya;

- Pekerjaan pondasi tanah.

- Pondasi untuk rumah, gedung perkantoran, pabrik, pergudangan, mall, perumahan dan lain sebagainya
- Pondasi untuk tiang listrik, tiang telepon, pemancar dan sejenisnya.
- Memperbaiki retakan tanah akibat gempa.



Gambar 5. *Ecomix* Untuk Pondasi

4. *Ecomix* Untuk Penstabil Dan Penguat Tanah Resapan

Kelebihan utama *Ecomix* adalah mampu mengikat permukaan partikel tanah, sehingga tanah menjadi sangat kuat dan ramah lingkungan sehingga *Ecomix* cocok digunakan untuk;

- Penstabil permukaan tanah lereng atau miring.
- Pembuatan tanggul pada sungai, danau, situ dan sejenisnya.
- Perbaiki dasar sungai, danau dan sejenisnya.

5. Pembuatan Lapisan Tanah Kedap Air

Dengan daya kedap yang tinggi *Ecomix* dapat digunakan sebagai pembuatan penampungan air, kolam ikan bahkan penampungan limbah menjadi mudah.

- Pembuatan bak penampungan air.
- Pembuatan kolam ikan, tambak ikan, tambak udang dan sejenisnya.

- Pembuatan penampungan limbah cair industri.
- Pembuatan selokan.

H. California Bearing Ratio (CBR Method)

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.

CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1” atau 0,2”. Jadi harga CBR

adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100% dalam memikul beban lalu lintas (Sukirman, 1992).

1. Penetrasi 0,1" (0,254cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P1}{1000} \times 100\%$$

2. Penetrasi 0,2" (0,508cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P2}{1500} \times 100\%$$

dengan:

P1: tekanan uji pada penetrasi 0,1" (g/cm^3).

P2: tekanan uji pada penetrasi 0,2" (g/cm^3).

Dari kedua nilai perhitungan tersebut digunakan nilai terbesar.

Menurut AASHTO T-193-74 dan ASTM D-1883-73, *California Bearing Ratio* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu beban terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Menurut Soedarmodan Purnomo (1997), berdasarkan cara mendapatkan contoh tanah, CBR dapat dibagi atas :

1. CBR lapangan (*CBR in place at a field CBR*).
2. CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*).
3. CBR rencana titik (*laboratory CBR*).

1. Jenis Jenis CBR

a) CBR Lapangan

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

- Untuk mendapatkan nilai CBR asli di lapangan, sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu. CBR lapangan umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.
- Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan seperti ini umumnya tidak digunakan, dan lebih sering menggunakan pemeriksaan yang lain seperti *sand cone*, dan lain sebagainya.

Pemeriksaan dilakukan dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR hendak ditentukan, lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gandar truk.

b) CBR Lapangan Rendaman

CBR lapangan rendaman disebut juga *undisturbed soaked* CBR. Berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Pemeriksaan dilaksanakan pada kondisi tanah dasar tidak

dalam keadaan jenuh air. Metode ini biasanya digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi, terletak di daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau.

Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam *mold* yang ditekan masuk ke dalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. *Mold* berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil di ukur pengembangannya (*swelling*). Setelah pengembangan tak lagi terjadi baru dilaksanakan pemeriksaan besarnya CBR.

c) CBR Rencana Titik

CBR rencana titik biasanya disebut juga CBR laboratorium atau *design* CBR. Adapun tanah dasar (*subgrade*) yang diperiksa merupakan tanah dasar jalan raya baru yang berasal dari tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% (kepadatan maksimum). Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan.

Berarti nilai CBR rencana titik adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuatkan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan. Karena pemeriksaan dilaksanakan di laboratorium, maka disebut juga CBR 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.

d) Uji CBR Metode Rendaman

Uji CBR metode rendaman adalah untuk mengasumsikan keadaan hujan atau saat kondisi terjelek dilapangan yang akan memberikan pengaruh penambahan air pada tanah yang telah berkurang airnya, sehingga akan mengakibatkan terjadinya pengembangan (*swelling*) dan penurunan kuat dukung tanah (Wikoyah, 2006).

Untuk metode CBR rendaman, contoh tanah di dalam cetakan direndam dalam air sehingga air dapat meresap dari atas maupun dari bawah dengan permukaan air selama perendaman harus tetap kemudian benda uji yang direndam telah siap untuk diperiksa.

Sedangkan untuk metode CBR tanpa rendaman, contoh tanah dapat langsung diperiksa tanpa dilakukan perendaman (ASTM D-1883-87).

2. Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 sqinch 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.

H. 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).

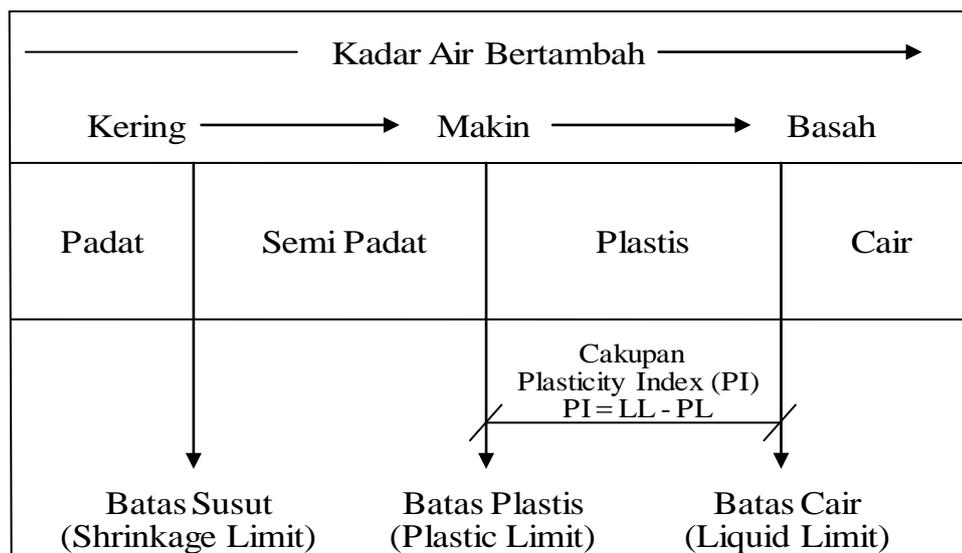
Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel. Sedangkan

jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan.

Untuk suatu tanah yang berada dalam kondisi plastis, besarnya gaya-gaya antar partikel harus sedemikian rupa sehingga partikel-partikel tidak mengalami pergeseran satu dengan lainnya yang tahan oleh kohesi dari masing-masing partikel. Perubahan kadar air disamping menyebabkan perubahan volume tanah juga mempengaruhi kekuatan tanah yang berbeda-beda pada setiap kondisi tanahnya.

Pada kondisi cair, tanah memiliki kekuatan yang sangat rendah dan terjadi deformasi yang sangat besar. Sebaliknya, kekuatan tanah menjadi besar dan mengalami deformasi yang sangat kecil dalam kondisi padat.

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 6 berikut.



Gambar 6. Batas-batas Atterberg

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

a) 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.

b) 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.

c) 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. Harus diketahui bahwa batas susut makin kecil maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume.

d) 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.

Adapun faktor yang dapat mempengaruhi plastisitas yaitu :

a. Pengaruh air dan gejala koloid yang menyertai.

Plastisitas lempung maksimum terbentuk pada kadar air yang spesifik, yaitupada saat ketebalan lapisan air yang menyelimuti setiap partikel lempung $\pm 2000 \text{ \AA}$.

b. Pengaruh ukuran butir dan luas permukaan.

Semakin kecil ukuran partikel, plasisitasnya akan semakin bertambah.

c. Pengaruh komposisi partikel.

Curie menemukan bahwa mineral yang berbeda menunjukkan sifat yang berbeda. Hal ini memberikan kemungkinan bahwa jika suatu zat ditambahkan dengan zat lainnya akan mempengaruhi plastisitasnya.

d. Pengaruh agregasi.

Pengaruh agregasi ini berpengaruh pada plastisitas menurut Schureht:

1. Agregat butiran lempung yang susunannya longgar lebih plastis daripada butiran lempung yang tertutup kompak dan padat.
2. Agregat berbutir halus lebih plastis daripada butiran kasar.
3. Agregat terflokulasi lebih plastis dari pada agregat yang terdeflokulasi.
4. Agregat terflokulasi lebih plastis dari pada yang terikat.

e. Pengaruh elektrolit dan frokulan.

Penambahan natrium karbonat dan natrium silikat ke dalam beberapa jenis lempung asam dapat menyebabkan seluruh massa lempung menjadi padat. Hal ini berarti bahwa air yang terikat pada permukaan lempung dipengaruhi oleh kation-kation terasosiasi.

I. Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1991). Usaha pemadatan tersebut akan menyebabkan volume tanah akan berkurang, volume pori berkurang namun volume butir tidak berubah. Hal ini bisa dilakukan dengan cara menggilas atau menumbuk.

Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat teknik tanah, antara lain :

1. Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai θ dan C (memperkuat tanah),
2. Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban,
3. Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai k ,
4. Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Adapun prosedur dinamik laboratorium yang standar digunakan untuk pemadatan tanah biasanya disebut uji "**Proctor**". Berdasarkan tenaga pemadatan yang diberikan, pengujian *proctor* dibedakan menjadi 2 macam :

1. Proctor Standar
2. Proctor Modifikasi

Rincian mengenai pengujian *proctor modified* diperlihatkan dalam Tabel 11 berikut ini:

Tabel 11. Elemen-elemen uji pemadatan *Proctor Modified* di laboratorium

	Proctor Standart (ASTM D-698)
Berat palu	24,5 N (5,5 lb)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12 in)
Jumlah lapisan	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25
Volume cetakan	1/30 ft ³
Tanah	saringan (-) No. 4
Energi pemadatan	595 kJ/m ³

Sumber : Bowles, 1991.

J. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian laboratorium yang menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian ini dikarenakan adanya kesamaan metode, sampel tanah, bahan aditif yang digunakan, akan tetapi ada pula penggunaan bahan aditif yang berbeda dan variasi campuran serta waktu pemeraman yang berbeda, antara lain :

1. Stabilisasi tanah menggunakan *Ecomix* melalui uji UCS

Penelitian yang dilakukan oleh Teguh Widodo (Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta) dan rahmat Imron Qosari (Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta) mengenai Efektifitas Penambahan *Ecomix* Pada Stabilisasi Semen Tanah Berbutir Halus. Pada penelitian ini sampel tanah yang digunakan merupakan sampel tanah yang diambil dari Dukuh Perengdawe, Desa Balecatur, Kecamatan Gamping, Kabupaten Sleman. Dengan hasil yaitu peningkatan nilai UCS tanah-semen-*Ecomix* terhadap nilai UCS tanah-semen adalah 9,47% (penambahan semen 4%), 13,58 (penambahan semen 8%), dan 17,25 % (penambahan semen 12%).

2. Stabilisasi Tanah Lempung dengan semen

Penelitian yang dilakukan oleh Candra Hakim Van Rafi'i pada tahun 2009 adalah mengenai Pengaruh Durabilitas Terhadap Daya Dukung Lapisan *Soil Cement Base* Pada Tanah Lempung. Hasil yang didapat adalah bahwa

pengaruh dari durabilitas terhadap lapisan *soil cement base* yaitu mengganggu kestabilan lapisan fondasi tersebut, pengaruh dari durabilitas tersebut dapat dilihat dari perilaku rendaman (siklus). Dari masing – masing perilaku siklus didapat nilai CBR, yaitu untuk 2 siklus sebesar 104%, untuk 4 siklus sebesar 92%, dan untuk 6 siklus sebesar 86%. Dari hasil pengujian di laboratorium, didapat bahwa terjadi penurunan nilai CBR disetiap penambahan waktu siklus. Pada saat 4 siklus dan 6 siklus nilai CBR kurang memenuhi persyaratan yang disyaratkan oleh spesifikasi Bina Marga yaitu $> 100\%$.

3. Stabilisasi Tanah Timbunan Dengan Semen

Penelitian yang dilakukan oleh Bangun Bintang Yunus pada tahun 2009 adalah mengenai Pengaruh Daya Dukung Terhadap Lapis Pondasi Tanah Semen (*Soil Cement Base*) Dengan Penambahan Garam Menggunakan Tanah Timbunan. Hasil yang didapat adalah bahwa pengaruh penambahan garam terhadap *soil cement* pada kadar 9% dan 12 % perilaku tanpa rendaman memenuhi persyaratan yang disyaratkan oleh spesifikasi Bina Marga yaitu $\geq 100\%$. Dari masing – masing sample didapat nilai CBR, yaitu untuk kadar semen 6% dan garam 2% sebesar 96 %, kadar semen 9% dan garam 2% sebesar 108 %, dan untuk kadar semen 12% dan garam 2% sebesar 116 %.