

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah dalam pandangan teknik sipil dikenal sebagai himpunan mineral, bahan organik, dan endapan yang relatif lepas (*lose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). (Hardiyatmo,2016). Insinyur teknik sipil membagi material penyusun kerak bumi ke dalam dua bagian, yaitu tanah dan batuan. Tanah diartikan sebagai kumpulan butiran mineral alami (agregat) yang mampu dipisahkan oleh proses mekanis maupun alami. Sedangkan batuan diartikan sebagai material alam yang mineralnya diikat oleh gaya kohesif, dan tidak dapat dipisahkan dengan cara mekanis biasa (Darwis,2018).

Penggunaan tanah sebagai bahan bangunan banyak dijumpai pada pekerjaan jalan, bendungan urugan tanah, tanggul dan sebagainya. Pengenalan akan jenis, sifat fisik dan mekanis tentang tanah yang digunakan akan sangat membantu dalam keberhasilan pekerjaan tersebut. Demikian pula pengenalan akan perilaku tanah tersebut apabila mendapatkan beban dan aliran air yang direncanakan (sebagai contoh apabila tanah tersebut akan digunakan sebagai filter) akan sangat membantu keberhasilan pekerjaan tersebut.

Persebaran tanah lunak di Indonesia cukup merata, melihat luasnya daerah tanah lempung yang dimiliki hampir disetiap pulau. Salah satu kawasan yang terdapat banyak tanah lempung adalah Kabupaten Mandailing Natal. Tanah lunak sering kali menimbulkan permasalahan pada struktur diatasnya yang disebabkan oleh masalah daya dukung yang lemah dan masalah konsolidasi yang lama. Tanah lempung

dengan plastisitas tinggi yang sering dijumpai pada pekerjaan konstruksi di lapangan mempunyai kuat dukung yang rendah dan perubahan volume (kembang susut) yang besar. Tanah akan mengembang apabila pori terisi air dan akan menyusut dalam kondisi kering. Hal ini yang menjadikan tanah tidak stabil, sehingga tidak mampu mendukung suatu konstruksi bangunan. Oleh karena itu, diperlukan adanya usaha perbaikan tanah untuk memperbaiki tanah lempung lunak ini.

Stabilisasi tanah merupakan usaha perbaikan tanah yang memungkinkan untuk memperbaiki tanah yang mempunyai daya dukung rendah menjadi lebih baik. Cara stabilisasi dapat dilakukan dengan mekanis yaitu dengan menggunakan alat-alat mekanis dan kimia dengan cara mencampur dengan menambah bahan pencampur (*additive*) seperti semen, kapur, kerikil, *zeolit*, dan tanah *granuler*.

Pada penelitian ini, metode stabilisasi tanah dilakukan dengan menggunakan bahan campuran. Bahan pencampur yang akan digunakan diharapkan dapat mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat tanah yang kurang baik dan kurang menguntungkan dari tanah yang akan digunakan. Untuk memperbaiki mutu tanah digunakan bahan pencampur yaitu *zeolit*.

Zeolit adalah material kristal silika-alumina yang memiliki struktur penataan polimer tiga dimensi yang terdiri dari unit-unit tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 yang bergabung dengan jalan pemakaian bersama (*sharing*) oksigen, bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul. *Zeolit* mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap. Hal ini disebabkan karena *zeolit* dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul. Mekanisme

absorpsi yang mungkin terjadi adalah *absorpsi* fisika (melibatkan gaya *Van der Waals*), *absorpsi* kimia (melibatkan gaya elektrostatis), ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks koordinasi.

Dalam pemanfaatannya, *zeolit* memiliki kemampuan dalam menahan panas yang tinggi dan dapat meningkatkan daya dukung dari tanah lempung. Selain itu, tingkat konsumsi *zeolit* semakin meningkat terutama sektor industri.

Pada penelitian ini, untuk menstabilisasi tanah lunak (tanah lempung) diberikan campuran *zeolit*. Dengan cara mengambil sampel tanah lempung dan dicampur dengan *zeolit*, yang dimana sampel tanah lempung diambil dari Mandailing Natal karena untuk jenis tanah lunak yang ada di daerah tersebut belum pernah diteliti sebelumnya. Kemudian tanah tersebut akan diuji di laboratorium Universitas Islam Sumatera Utara. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *zeolit* terhadap stabilisasi dari tanah lunak (tanah lempung) dan juga kuat tekan bebasnya.

1.2 Rumusan Masalah

Tanah lempung lunak merupakan tanah yang memiliki indeks plastisitas yang tinggi, kuat tekan bebas yang rendah, sehingga pada kadar air tertentu daya dukung tanah akan menurun.

Berdasarkan latar belakang yang ada, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh dari penambahan *zeolit* sebagai bahan *additive* terhadap nilai kuat tekan tanah lempung Mandailing Natal ?
2. Persentase campuran *zeolit* manakah yang efisien untuk nilai uji kuat tekan bebas pada tanah lempung Mandailing Natal ?

3. Apakah *zeolit* dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk stabilisasi tanah pada lapisan tanah dasar ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Jenis tanah yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis tanah lempung yang diambil di desa Pulo Padang KM 5, Mandailing Natal.
2. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah *zeolite clinoptilolite*.
3. Variasi persentase *zeolit* sebagai bahan additive yang dipakai adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%.
4. Jenis pengujian yang akan dilakukan antara lain : pengujian kadar air, analisa saringan, berat jenis, batas-batas atterberg, pemadatan, dan kuat tekan bebas.
5. Penelitian ini hanya meneliti sifat-sifat fisis dan mekanis tanah lempung saja, tidak meneliti unsur kimia dari tanah lempung.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari penambahan *zeolit* terhadap nilai kuat tekan tanah.
2. Mengetahui perbedaan nilai kuat tekan tanah sebelum dan sesudah dicampur dengan *zeolit*.
3. Untuk mencari salah satu alternatif bahan stabilisasi untuk tanah lempung.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini antara lain :

1. Menambah ilmu pengetahuan mengenai sifat fisik dan mekanik tanah lempung yang dicampur dengan *zeolit*.
2. Memanfaatkan bahan stabilisasi untuk meningkatkan kuat tekan dari tanah lempung.
3. Hasil dari penelitian dapat sebagai masukan kepada warga masyarakat setempat.

1.6 Metodologi Penelitian

Pengujian atau penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Studi Lapangan

Adapun beberapa tahap dalam studi lapangan adalah sebagai berikut :

- a. Merencanakan jadwal penelitian dan lokasi penelitian.
- b. Menyiapkan segala bahan yang diperlukan dalam penelitian.
- c. Melaksanakan pengamatan di laboratorium dengan pelaksanaan pengujian.

2. Studi Literatur

Studi literatur adalah metode pengumpulan data dengan mengadakan studi penelaahan terhadap buku-buku, literatur-literatur, catatan-catatan, dan laporan-laporan yang ada hubungannya dengan judul : ‘‘Pengaruh Persentase Campuran *Zeolit* terhadap Nilai Uji Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung di Mandailing Natal Desa Pulo Padang Km.5’’.

3. Identifikasi Masalah

Menganalisa pengujian stabilisasi dan kuat tekan bebas tanah lunak (tanah lempung) dengan bahan *additive zeolit* sebagai bahan campurannya.

4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini bersumber dari :

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil pelaksanaan pengujian stabilitas dan kuat tekan tanah lunak (lempung) dengan campuran bahan *additive zeolit* yang dilakukan di laboratorium Universitas Islam Sumatera Utara (UISU).

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diambil dari dokumentasi proses pelaksanaan pengujian stabilitas dan kuat tekan tanah lunak (lempung) dengan campuran bahan *additive zeolit* yang dilakukan di laboratorium Universitas Islam Sumatera Utara (UISU).

5. Pengujian di Laboratorium

Sebelum dilakukan pengujian utama di laboratorium, terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik tanah, untuk mengetahui jenis tanah yang akan diteliti. Setelah itu akan dilakukan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik dari tanah tersebut.

6. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan cara menganalisa data dari hasil pelaksanaan pengujian stabilisasi kuat tekan tanah lunak (tanah lempung) dengan *zeolit* sebagai bahan *addiitive*.

7. Hasil Penelitian

Hasil penelitian akan diperoleh setelah melakukan penelitian dan akan dibahas dan dilampirkan dalam BAB IV.

8. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dan saran merupakan hasil akhir dari sebuah penelitian yang akan dibahas pada BAB V.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut *tanah residual (residual soil)* dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut *tanah terangkut (transported soil)*. (sumber : *Hary Christady Hardiyatmo, 2016*)

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butirann yang telah ditentukan. Akan tetapi,

istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

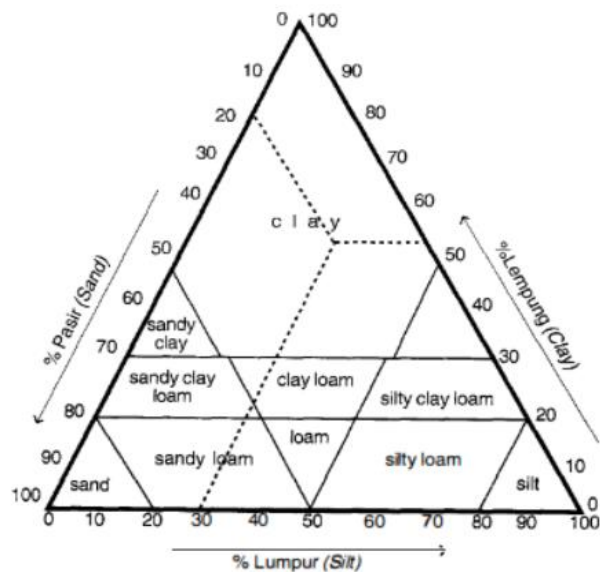
2.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Ada tiga macam sistem klasifikasi tanah, yaitu: (Djarmiko Soedarmo,1993:60)

1. Klasifikasi sistem berdasarkan persentase susunan butir tanah (*Textural classification system*).
2. Klasifikasi sistem kesatuan tanah (*Unified soil classification system*).
3. Klasifikasi sistem AASHTO (*AASHTO Classification system*).

2.2.2 Klasifikasi Sistem Berdasarkan Persentase Susunan Butir Tanah (*Textural Classification System*)

Seperti diketahui bahwa di alam ini tanah terdiri dari susunan butir-butir antara lain: pasir, lumpur dan lempung yang persentasenya berlainan. Klasifikasi tekstur ini dikembangkan oleh departemen pertanian Amerika Serikat (U.S. Department of Agriculture) dan deskripsi batas-batas susunan butir tanah di bawah sistem U.S.D.A. Kemudian dikembangkan lebih lanjut dan digunakan untuk pekerjaan jalan raya yang lebih dikenal dengan klasifikasi tanah berdasarkan persentase susunan butir tanah oleh U.S. Public Roads Administration.



Gambar 2.1. Diagram klasifikasi tekstur
(Sumber: Djatmiko Soedarmo,1993)

2.2.3 Klasifikasi Sistem Kesatuan Tanah (*Unified soil classification system*)

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem klasifikasi kesatuan tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisis ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Semua tanah diberi dua huruf penunjuk berdasarkan hasil-hasil percobaan ini.

Ada dua golongan besar tanah-tanah yang berbutir kasar, <50% melalui ayakan No.200 dan tanah-tanah berbutir halus >50% melalui ayakan No.200. Tanah-tanah berbutir halus kemudian diklasifikasikan atas dasar plastisitasnya dan kadar persenyawaan organiknya. Dalam hal ini ukuran butir bukan merupakan dasar yang menentukan pembagiannya. Sistem ini yang pada awalnya dikembangkan untuk pembangunan lapangan terbang, diuraikan oleh Casagrande (1948). Ia telah dipakai sejak tahun 1942, tetapi diubah sedikit pada tahun 1952 agar dapat dipakai

pada konstruksi bendungan dan konstruksi-konstruksi lainnya. (sumber: Djatmiko Soedarmo, 1993). Huruf-huruf yang dipakai untuk tanah-tanah berbutir halus adalah sebagai berikut:

Huruf pertama:

O = Organik (*organic*)

C = Lempung (*clay*)

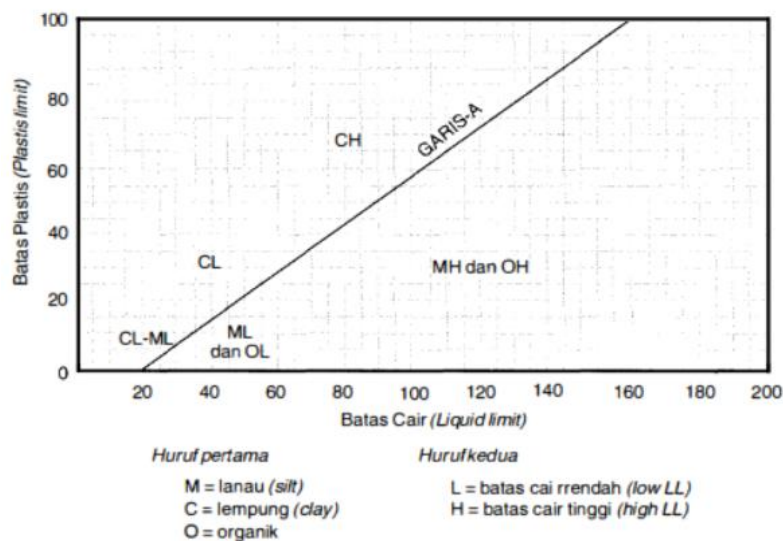
M = Lumpur/lanau (*mud/silt*)

Huruf kedua:

H = Batas cair tinggi (*High liquid limit*)

L = Batas cair rendah (*Low liquid limit*)

Dengan mengkombinasikan huruf pertama dan kedua, maka enam kelompok yaitu: OH, OL, CH, CL, MH dan ML. Klasifikasi kedalam golongan lanau dan lempung dilakukan dengan menggunakan diagram plastisitas (*Plasticity chart*).



Gambar 2.2. Diagram plastisitas
(Sumber: Djatmiko Soedarmo, 1993)

Garis A adalah batas empiris antara lempung inorganik yang khas (CL dan CH) dengan lanau inorganik yang khas (ML dan MH) atau tanah organik (OL dan OH). Garis tegak lurus pada batas cair 50 itu memisahkan lanau dan lempung yang batas

cairnya tinggi (H). Di bagian bawah diagram, di bawah batas cair kira-kira 29 dan antara nilai P.I. sebesar 4 dan 7, sifat-sifat tanah menunjukkan gejala saling berhimpitan dan karena itulah garis A didaerah ini menjadi suatu daerah. Klasifikasi dualistis CL-ML dipakai untuk tanah-tanah yang berbeda di dalam daerah ini.

Tanah-tanah berbutir kasar dibagi menjadi pasir dan krikil dan kemudian dibagi lagi menjadi: yang mengandung bahan halus dalam jumlah yang ada artinya dan yang bebas dari bahan-bahan halus. Yang mengandung bahan-bahan halus kemudian diklasifikasikan menurut diagram plastisitas (menjadi golongan yang bersifat kelanauan atau bersifat kelempungan) dan yang bebas dari bahan-bahan halus menurut grafik lengkungan-gradasi dengan mempergunakan koefisien-koefisien derajat keseragaman dan koefisien-koefisien lengkungan. Huruf-huruf yang dipakai adalah:

Huruf pertama:

G= Krikil (*Gravel*)

S= Pasir (*Sand*)

M= Lanau (*Mud*)

C= Lempung (*Clay*)

O= Organik (*Organic*)

Huruf kedua:

W= Bergradasi baik (*Well graded*)

P= Bergradasi buruk (*Poor graded*)

W dan P dari lengkung gradasi

M= Kelanauan (*Muddy*)

C= Kelempungan (*Clayey*)

Dari diagram plastisitas

L= Batas cair rendah (*Low LL*)

H= Batas cair tinggi (*High LL*)

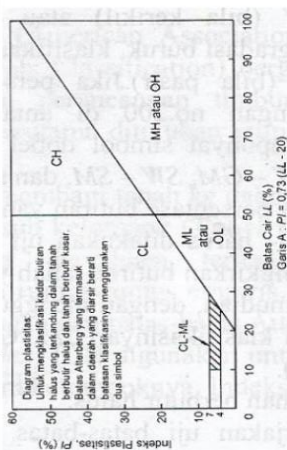
Persamaan garis A : $PI = 0,73 (LL-20)$

Batas cair rendah (L), jika: $LL < 50\%$

Batas cair tinggi (H), jika: $LL > 50\%$

Tabel 2.1. Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil lebih dari 50% dari Fraksi kasar ter-tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW		
			GP		Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
			GM		Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung	
			GC		Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung	
		Fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW
				SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
				SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	
				SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
				ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
				CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>lean clays</i>)	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	Batasan Klasifikasi yang memenuhi simbol dobel Kuantitas 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200 : SW, SP, Lebih dari 12% lolos saringan no. 200 : Batasan Klasifikasi yang memenuhi simbol dobel		
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus ditome, lanau elastis			
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (<i>fat clays</i>)			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		



(Sumber: Hary christady hardiyatmo, 2016)

2.2.4 Klasifikasi Sistem AASHTO (*AASHTO classification system*).

Klasifikasi tanah sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Dengan beberapa kali perubahan, sekarang telah digunakan dan dianjurkan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and granular type Roads of the Highway Research Board* pada tahun 1945. (ASTM menggunakan kode D-3282 dan AASHTO dengan metoda M 145).

Klasifikasi AASHTO yang sekarang digunakan dapat dilihat pada tabel. Dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar yaitu: A-1 sampai dengan A-7. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah-tanah berbutir kasar dimana 35% atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan No. 200. Tanah-tanah di mana 35% atau lebih yang melalui ayakan No. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung.

Klasifikasi sistem ini didasarkan atas kriteria-kriteria sebagai berikut:

a. Ukuran butir

Kerikil: Butiran melalui ayakan dengan lubang 75 mm dan tertinggal di atas ayakan No. 10 dengan lubang 2 mm.

Pasir: Butiran melalui ayakan No. 10 (2 mm) dan tertinggal di atas ayakan No. 200 dengan lubang 0,074 mm.

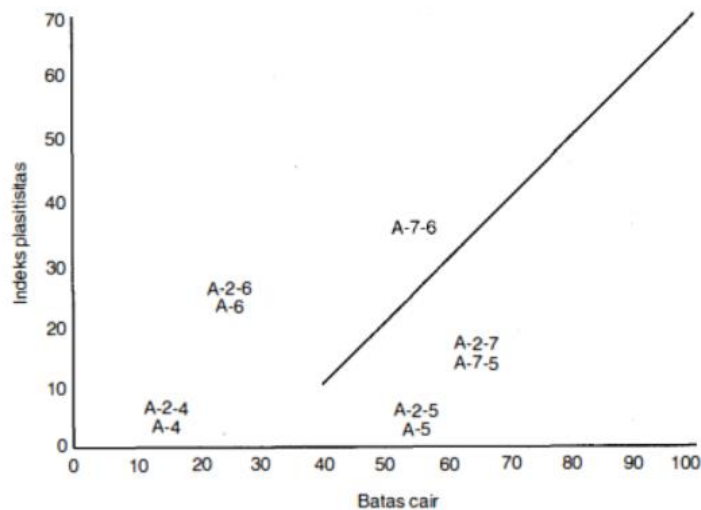
Lumpur dan lempung: Butiran melalui ayakan No. 200

b. Plastisitas

Disebut lumpur, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas = 10 atau kurang.

Disebut lempung, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas = 11 atau lebih

- c. Batu (*boulders*) yang ukurannya lebih besar dari 75 mm dan tidak digolongkan dalam klasifikasi ini.



Gambar 2.3. Daerah batas cair dan indeks plastisitas tanah-tanah kelompok A-2, A-4, A-5, A-6 & A-7.
(Sumber: Djatmiko Soedarmo, 1993)

Untuk menilai kualitas tanah sebagai bahan subgrade jalan raya dapat ditentukan dengan angka indeks kelompok (Group Index = GI) yang menentukan kelompok dan sub kelompok tanah.

Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan:

$$GI = (F-35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F -15) (PI-10) \quad (2.1)$$

Dalam hal ini:

F = Persentase butir yang lolos ayakan No. 200

LL= Batas cair

PI = Indeks plastisitas.

2.3 Sifat-Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah merupakan sifat tanah yang berhubungan dengan bentuk/kondisi tanah asli, yang termasuk diantaranya adalah tekstur, struktur, bobot isi tanah, porositas, stabilitas, konsistensi, warna maupun suhu tanah dan lain-lain. Sifat tanah berperan dalam aktivitas perakaran tanaman, baik dalam hal absorpsi unsur hara, air maupun oksigen juga sebagai pembatas gerakan akar tanaman.

2.4 Mineral Lempung

Mineral lempung merupakan alumina dan silika yang cukup kompleks dan tersusun dari 2 (dua) komponen pokok yaitu: *silica tetrahedron* yang terdiri dari 4 (empat) atom oksigen yang mengelilingi 1 (satu) atom silikon. Kombinasi *silica tetrahedron* menghasilkan lembaran silika. Kedua adalah *alumina octahedron* yang terdiri dari 6 (enam) hidroksil yang mengelilingi 1 (satu) atom aluminium. Kombinasi aluminium hidroksil ini membentuk lembaran-lembaran *octahedral* yang sering juga disebut sebagai lembaran gibbsite. (Sumber: John Tri Hatmoko, 2019)

Mineral lempung adalah bahan kristal dan tersusun dari material solid di dalam tanah. Mineral lempung diklasifikasi menurut komposisi kimianya. Mineral lempung terdiri dari *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*.

- a. *Kaolinite*, mineral ini tersusun dari 1 lembar alumina dan satu lembar silika dengan ikatan H (Van der Waals) ikatannya cukup kuat. Aktivitas mineral ini sangat rendah, sehingga sifat kembang susut rendah.

b. *Lilite*, mineral *lilite* terdiri dari 1 (satu) pelat alumina diapit oleh 2 (dua) lembar silika yang diikat oleh ikatan potasium (K) dengan ikatan sedang cenderung lemah. Aktivitas mineral ini sedang, sehingga sifat kembang susutnya juga sedang.

c. *Montmorillonite*, tidak jauh berbeda dengan mineral *lilite*, *Montmorillonite* juga terdiri dari 1 (satu) pelat alumina diapit oleh 2 (dua) lembar silika yang diikat oleh ikatan nH_2O dan pertukaran ion dengan ikatan yang sangat lemah. Aktivitas mineral ini sangat tinggi, sehingga lempung yang didominasi oleh mineral ini memiliki potensi kembang susut yang sangat tinggi (ekspansif).

Struktur tanah lempung tersebut berbeda dengan struktur tanah pasir atau kerikil, di mana tanah pasir dan kerikil terdiri dari material keras: *quartz dan feldspar* yang sifatnya tetap dan mati, dan relatif tidak berubah. Tanah lempung bersifat aktif dan hidup, dapat mengembang dan menyusut sesuai dengan perubahan kadar air. Aktivitas tanah lempung tersebut berbanding terbalik dengan sifat teknisnya. Semakin aktif tanah lempung, semakin buruk sifat teknisnya. Dari ketiga mineral lempung tersebut yang memiliki aktivitas paling tinggi adalah *montmorillonite*. Mineral ini memiliki permukaan luas, ikatan atomnya sangat lemah, sehingga lempung yang didominasi oleh mineral ini memiliki sifat kembang susut tinggi, sensitif terhadap perubahan volume. *Lilite* memiliki aktivitas sedang dan *kaolinite* memiliki aktivitas rendah. Oleh sebab itu, lempung *kaolinite* memiliki sifat-sifat teknik paling baik di antara ketiga lempung tersebut.

2.5 Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan (treatment) khusus terhadap lapisan tanah tersebut. Dengan demikian dapat diketahui bahwa tujuan dari stabilisasi tanah adalah minimal untuk memenuhi satu dari empat sasaran berikut ini: (Sumber: Darwis panguriseng,2001)

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki (mempertahankan) permeabilitas dan swelling potensial tanah.
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*).

Berdasarkan mekanisme kerja komposit antara massa tanah dengan bahan stabilizer, maka jenis stabilisasi tanah dapat dibedakan atas:

2.5.1 Stabilisasi Kimia

Stabilisasi kimia yaitu, stabilisasi dengan menggunakan bahan-bahan kimia yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia, dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat stabil daripada senyawa yang terdapat dalam massa tanah sebelum stabilisasi dilakukan.

Stabilisasi kimia dapat memberikan peningkatan kapasitas daya dukung, perbaikan penurunan dan sifat permeabilitas pada lapisan tanah. Namun dalam pemilihannya harus berhati-hati, karena tidak semua tindakan stabilisasi kimia mampu memperbaiki secara bersamaan ketiga karakteristik tersebut di atas.

Contoh: stabilisasi dengan semen, kapur, larutan kimia, dan lain-lain.

2.5.2 Stabilisasi Fisik

Stabilisasi fisik yaitu, stabilisasi dengan menggunakan energi yang disalurkan ke dalam lapisan tanah, sehingga memperbaiki karakteristik lapisan sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang diinginkan.

Contoh: stabilisasi kompaksi, vibroflot process, dan lain-lain.

2.5.3 Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis yaitu, stabilisasi dengan menggunakan material sisipan ke dalam lapisan tanah, sehingga mampu memperbaiki karakteristik massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang diinginkan. Stabilisasi mekanis sering juga disebut dengan “Perkuatan Tanah (*Reinforcement Earth*)”.

Contoh: sand piles, stone piles, nailing, anchor, cerucuk, steel band, goesyntetics (sebagai elemen reinforcement, separator, filtrasi, drainase), dan lain-lain.

2.5.4 Stabilisasi Termal

Stabilisasi termal yaitu, stabilisasi dengan menggunakan panas (termal) untuk membakar material tanah, sehingga kadar air kristal massa tanah menjadi sangat rendah, yang memungkinkan ikatan senyawa dalam massa tanah lebih stabil (*irreversible*).

Contoh: pembuatan keramik, gerabah, batu bata, dan lain-lain.

2.6 Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari mineral *aluminosilikat* terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Struktur *zeolit* terdiri dari unit-unit tetrahedral AlO_4 dan SiO_4 yang saling

berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti dengan Al^{3+} .

komposisi kimia dari tiap *zeolit* akan mempengaruhi bentuk struktur *zeolit* dengan demikian untuk tipe *zeolit* yang berbeda akan memiliki struktur yang berbeda. *Zeolit* secara umum mempunyai kebiru-biruan, mudah melakukan pertukaran ion yaitu ion alkalinnya dengan ion-ion yang lain, bersifat sebagai adsorben ataupun penyaring molekul, merupakan kristal yang lunak, variasi berat jenis rata-rata adalah 2-2,4 dan molekul air yang terkandung mudah dilepaskan dengan pemanasan.

Zeolit mempunyai beberapa sifat, diantaranya :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari *zeolit* berpengaruh terhadap sifat *adsorpsi*. Jumlah molekul air sesuai dengan pori-pori kristal *zeolit* bila dipanaskan.

2. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal *zeolit* terisi oleh molekul air yang bila dipanaskan pada suhu 300-400°C maka air tersebut akan keluar sehingga *zeolit* dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga penetralan *zeolit*.

4. Katalis

Zeolit merupakan pengemban katalis yang baik karena mempunyai pori-pori yang banyak dengan luas permukaan maksimum.

5. Penyaring atau Pemisah

Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari suatu campuran tertentu karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Volume dan ukuran garis tengah ruang hampa dan kisi-kisi kristal ini menjadi dasar kemampuan untuk bertindak sebagai penyaring molekul.

2.6.1 Jenis- Jenis *Zeolit*

Zeolit terdiri dari 2 jenis yaitu *zeolit* alam dan sintesis. Kedua jenis *zeolit* ini memiliki persamaan sifat fisik dan kimia meskipun mempunyai beberapa perbedaan. *Zeolit* sintesis lebih murni jika dibandingkan dengan *zeolit* alam. *Zeolit* alam diperoleh dengan penambahan secara terbuka dan secara mekanis banyak ditemukan di Indonesia di daerah Cipatujuh, Bayan, Nagrek dan Malang Selatan dengan jenis seperti *mordenit*, *clinoptilolit*, *plagioplas*.

a. *Zeolit* alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi) dari batuan vulkanik tuf. Mineral *zeolit* telah diketahui sejak tahun 1756 oleh ahli mineralogi bangsa Swedia bernama F.A.F Cronsted. Di alam banyak dijumpai *zeolit* dalam lubang-lubang batuan lava, dan dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik berbutir halus. Telah diketahui lebih dari 40 jenis mineral *zeolit* alam. Dari jumlah tersebut hanya 20 jenis yang terdapat dalam batuan sedimen, terutama sedimen piroklastik (Sutarti, et al., 1994:8).

Pada proses pembentukan mineral/bahan galian *zeolit*, maka jenis mineral klinoptilolit dan filipsit akan terbentuk lebih dulu, karena kedua mineral ini merupakan mineral pendahulu / mineral bibit atau mineral penurun bagi

mineral-mineral *zeolit* yang lain, misalnya mineral analsim, heulandit, laumontit dan mordenit (Sutarti, et al., 1994:9).

Zeolit alam dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu (Sutarti, et al., 1994:9):

1. *zeolit* yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan batuan

zeolit ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral *zeolit* bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, flourit, mineral sulfida, dll.

2. *zeolit* yang berupa batuan

hanya sedikit jenis *zeolit* yang berbentuk batuan di antaranya adalah klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit, dan heuladit. Menurut proses terbentuknya, batuan *zeolit* ini dapat dibedakan menjadi 7 kelompok yaitu :

- mineral *zeolit* yang terbentuk dari endapan gunung berapi di dalam danau asin yang tertutup
- mineral *zeolit* yang terbentuk di dalam danau air tawar atau di dalam lingkungan air tanah terbuka
- mineral *zeolit* yang terbentuk di lingkungan laut
- Mineral *zeolit* yang terbentuk karena proses metamorfose berderajat rendah, karena pengaruh timbunan
- Mineral *zeolit* yang terbentuk oleh aktifitas hidrotermal atau air panas

- Mineral *zeolit* yang terbentuk dari endapan gunung berapi di dalam tanah yang bersifat alkali
- Mineral *zeolit* yang terbentuk dari batuan atau mineral lain yang tidak menunjukkan bukti adanya hubungan langsung dengan kegiatan vulkanis

b. *Zeolit* sintetis

Zeolit sintesis direkayasa oleh manusia secara proses kimia. Karena sifat *zeolit* yang unik yaitu susunan atom maupun komposisinya dan dimodifikasikan, maka para peneliti berupaya untuk membuat *zeolit* sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Dari usaha itu dapat direkayasa bermacam-macam *zeolit* sintetis.

Zeolit sintetis dapat dikelompokkan sesuai dengan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam *zeolit* menjadi:

- c. *Zeolit* kadar Si Rendah (kaya Al)
- d. *Zeolit* Si sedang
- e. *Zeolit* Si tinggi
- f. *Zeolit* Si

2.6.2 Struktur *Zeolit*

Struktur *zeolit* Y terdiri dari muatan negatif, kerangka tiga dimensi tetrahedral SiO^4 dan AlO^4 yang bergabung membentuk oktahedra terpancung (*sodalite*). Jika 6 buah *sodalite* terhubung oleh prisma heksagonal akan membentuk tumpukan tetrahedral.

2.6.3 Penggunaan Zeolit

Zeolit telah banyak digunakan secara luas, yaitu :

a. Peternakan

Penggemukan, kesehatan kandang, penambah ketahanan terhadap penyakit, penyerap kontaminan.

b. Pertanian

Pupuk, peningkatan produksi, penyerap logam berat dalam tanah, perantara herbisida, fungisida.

c. Kedokteran/kesehatan

Kedokteran gigi: tapal gigi, resin gigi, semen gigi, mahkota gigi.

Kesehatan : penghilang bau nafas, penanganan luka bakar.

d. Bahan bangunan

Semen, agregat ringan, penyerap air atau zat pengotor.

e. Lingkungan

Pengolahan air/ penyerap kotoran, penyerap limbah radioaktif, penyerap polutan udara, pengkayaan O₂ untuk udara di ruangan.

f. Industri

Banyak industri yang menggunakan *zeolit*. Salah satunya adalah industri kertas yang menggunakan *zeolit* sebagai bahan pengisi, bahan penyerap tinta, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap panas, sinar dan asam. Dalam industri sabun, *zeolit* digunakan sebagai penyusun detergen dan penurun kesadahan air. Sedangkan dalam industri ban, *zeolit* digunakan sebagai pencegahan polimerisasi pada proses vulkanisasi, serta meningkatkan modulus elastisitas.

2.7 Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan.

Berat tertahan = (Berat saringan + sampel tanah) – (Berat saringan mula-mula)

$$\text{Persen tertahan} = \frac{\text{Kumulatif tertahan}}{\text{Berat mula-mula}} \times 100\% \quad (2.2)$$

2.8 Kadar Air (*Water Content*)

Metode analisi kadar air tanah yang digunakan adalah *gravimetric water content*, perbandingan berat air tanah terhadap berat tanah kering udara (lembab) dengan persamaan:

$$W = \frac{BTB - BTK}{BTK} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan, W = Kadar Air (%)

BTB = Berat tanah basah + cawan

BTK = Berat tanah kering + cawan

2.9 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Harga berat spesifik dari butiran tanah (bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga itu dapat ditentukan secara akurat dilaboratorium. Tabel 2.2 dibawah menunjukkan harga-harga berat spesifik beberapa mineral yang umum terdapat pada tanah. Sebagian besar dari mineral-mineral tersebut mempunyai berat spesifik berkisar

antara 2,6 sampai dengan 2,9. Berat spesifik dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang, umumnya sebagian besar terdiri dari quartz, dapat diperkirakan sebesar 2,65; untuk tanah berlempung atau berlanau, harga tersebut berkisar antara 2,6 samapi 2,9. (sumber: Braja M Das).

Tabel 2.2. Berat Spesifik Mineral -mineral Penting

Mineral	Berat Spesifik, G_s
Quartz (kwarsa)	2,65
Kaolinite	2,6
Lilite	2,8
Montmorillonite	2,65 - 2,80
Halloysite	2,0 - 2,55
Pottasium feldspar	2,57
Sodium and calcium feldspar	2,62 - 2,76
Chlorite	2,6 - 2,9
Biotite	2,8 - 3,2
Muscovite	2,76 - 3,1
Hornblende	3,0 - 3,47
Limonite	3,6 - 4,0
Olivine	3,27 - 3,37

(Sumber: Braja M. Das, 1995)

Berikut persamaan – persamaan yang digunakan dalam menentukan berat jenis tanah (G_s).

Menentukan berat tanah:

$$w_t = w_2 - w_1 \quad (2.4)$$

$$w_5 = w_t - w_4 \quad (2.5)$$

$$\text{Menentukan isi tanah} = w_5 - w_3 \quad (2.6)$$

$$\text{Menentukan berat jenis tanah } (G_s) = \frac{w_t}{w_5 - w_3} \quad (2.7)$$

Keterangan :

W1 = Berat piknometer

W2 = Berat piknometer + sampel tanah

W3 = Berat piknometer + air + tanah pada temperatur 20°C

W4 = Berat piknometer + air pada 20°C

2.10 Batas-Batas Atterberg

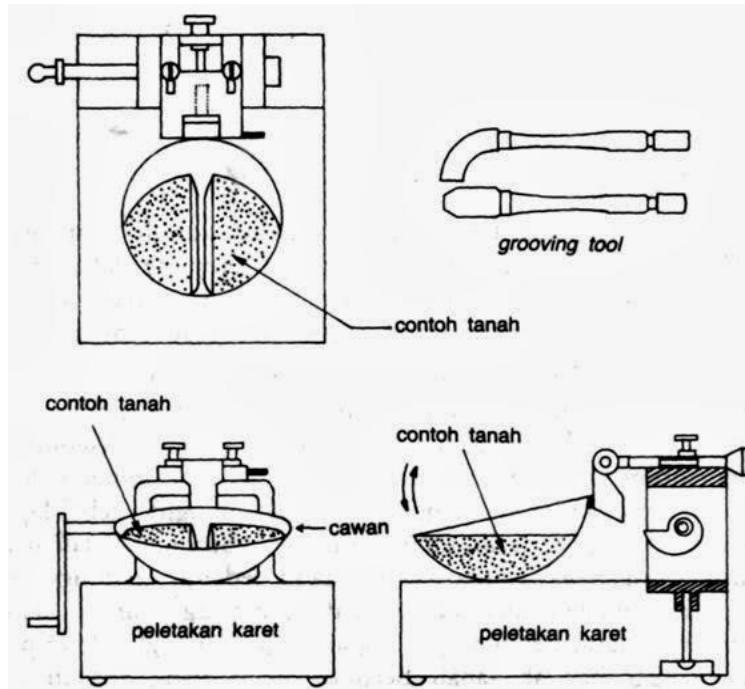
Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk.

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut *konsistensi*. *Konsistensi* bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation yang menyebabkan bertambahnya gaya tarik partikel. Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain, dengan kohesi yang tetap terpelihara. Pengurangan kadar air menghasilkan pengurangan volume tanah.

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

2.10.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

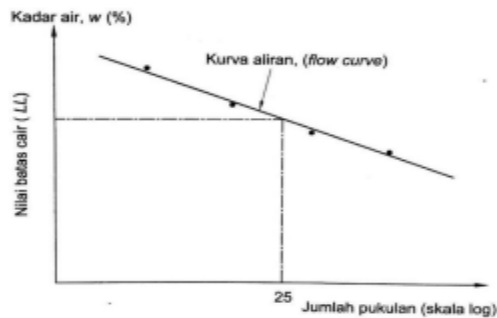
Batas Cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.



Gambar 2.4 Skema alat uji batas cair
(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016)

Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948). Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada gambar 2.5. contoh tanah dimasukkan dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat ditengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan di ketuk-ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut. Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan

kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan berkisar antar 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan.



Gambar 2.5 Kurva untuk penentuan batas cair lempung
(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016)

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*), dan dinyatakan dalam persamaan:

$$IF = \frac{w_1 - w_2}{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \quad (2.8)$$

Dengan, IF = Indeks aliran

W1= Kadar air (%) pada N1 pukulan

W2= Kadar air (%) pada N2 pukulan

$$LL = wN \left(\frac{N}{25} \right)^{tg\beta} \quad (2.9)$$

Dengan, N = Jumlah pukulan untuk menutup celah 0,5 in (12,7mm)

wN = Kadar air

tgβ = 0,121 (tg β tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

2.10.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

2.10.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas (IP) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PL tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PL rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah (Jumikis, 1962)

PL (%)	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesi
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesi Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesi
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesi

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016)

Untuk menentukan indeks plastisitas maka digunakan rumus berikut:

$$IP \text{ (Indeks Plastisitas)} = \text{Liquid Limit (LL)\%} - \text{Plastic Limit (PL)\%} \quad (2.10)$$

2.10.4 Indeks Cair (*Liquidity Index*)

Kadar air tanah asli relatif pada kedudukan plastis dan cair dapat didefinisikan oleh indeks cair (*liquidity index*), LI, dan dinyatakan menurut persamaan :

$$LI = \frac{wN - PL}{LL - PL} = \frac{wN - PL}{PL}$$

(2.11)

Dengan W_n adalah kadar air di lapangan. Dapat dilihat dalam persamaan diatas bahwa jika $W_n = LL$, maka $LI = 1$. Sedang, jika $W_n = PL$, maka $LI = 0$. Jadi, untuk lapisan tanah asli yang dalam kedudukan plastis, nilai $LL > W_n > PL$. Jika kadar air bertambah dari PL menuju LL , maka LI bertambah dari 0 sampai 1. Lapisan tanah asli dengan $W_n > LL$ akan mempunyai $LI > 1$. Tapi, jika W_n kurang dari PL , artinya kadar air asli kurang dari kadar air pada batas plastisnya, maka LI akan negatif.

2.11 Pemadatan Tanah

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan.

Seperti telah diuraikan dalam stabilisasi tanah dengan pemadatan, maka pada dasarnya pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kepadatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Tanah dapat dikerjakan pada mulanya dengan pengeringan, penambahan air, agregat (butir-butir) tersebut dengan bahan-bahan stabilisasi seperti: semen portland (PC), gamping, abu batu bara, atau bahan lainnya.

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \quad (2.12)$$

Energi pemadatan di lapangan dapat diperoleh dari mesin gilas, alat-alat pemadatan getaran dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan. Di dalam laboratorium alat-alat pemadatan tanah untuk percobaan (*Compaction soil test apparatus*).

Tujuan pemadatan ialah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah, yaitu:

1. Menaikkan kekuatannya.
2. Memperkecil pemampatannya dan daya rember airnya.
3. Memperkecil pengaruh air terhadapnya.

2.11.1 Teori Pemadatan

Pemeriksaan spesifikasi untuk pemadatan kohesif telah dikembangkan oleh R.R. Proctor ketika sedang membangun bendungan-bendungan untuk Los Angeles *Water District* pada akhir tahun 1920-an. Metoda yang asli dilaporkan melalui seri-seri artikel di dalam *Engineering New Records* oleh Proctor tahun 1933. Prosedur dinamis laboratorium yang standar biasanya disebut percobaan *Proctor*.

Proctor mendefenisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu:

1. Usaha pemadatan (energi).
2. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak, ukuran butir dan sebagainya).
3. Kadar air.
4. Angka pori atau berat isi kering.

2.11.2 Percobaan-Percobaan Pematatan

Percobaan-percobaan pematatan dapat dilakukan:

1. Di laboratorium

Ada dua macam percobaan di laboratorium yang biasa dipakai untuk menentukan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content* = O.M.C.) dan berat isi kering maksimum (*Maximum dry density* = γ_d).

Percobaan-percobaan tersebut ialah:

a. Percobaan pematatan standar (*Standar Compaction Test*).

Standar yang berlaku:

Bina Marga : PB-0111-76

ASTM : D-698-70

AASHTO : T-99-74

Tujuan:

Untuk mengetahui hubungan antara kadar air optimum (*Optimum Moisture Content* = O.M.C) dan berat isi kering maksimum dari kadar air dan berat isi kering yang diperoleh dari hasil-hasil percobaan tersebut.

Analisis perhitungan:

Berat isi tanah basah/asli (*Wet/natural density*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma_t = \frac{(W_s + W_m) - W_m}{V_m} \quad (2.13)$$

$$\gamma_t = \frac{W_s}{V_m} \quad (2.14)$$

Jika $V_m = V_s$ maka

$$\gamma_t = \frac{W_s}{V_m} \quad (2.15)$$

Dalam hal ini:

γ_t = Berat isi tanah basah/asli

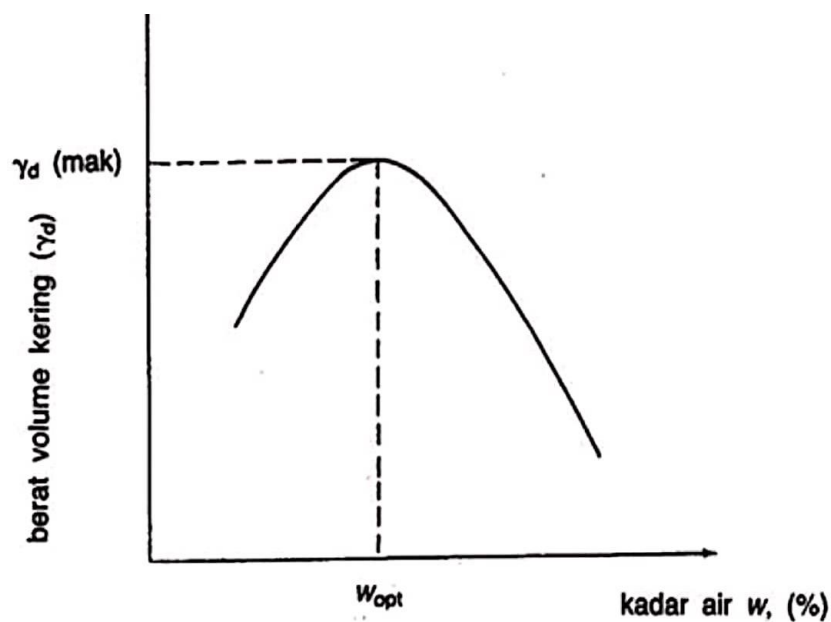
W_s = Berat tanah basah/asli

W_m = Berat tabung

V_s = Isi tanah basah/asli

V_m = Isi tabung

Dalam hasil percobaan-percobaan tersebut dibuat sebuah kurva, yang menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi tanah kering dan dari kurva tersebut akan diperoleh kadar air optimum (*Optimum Moisture Content* = O.M.C.) dan berat isi tanah kering maksimum (*Maximum dry density*).

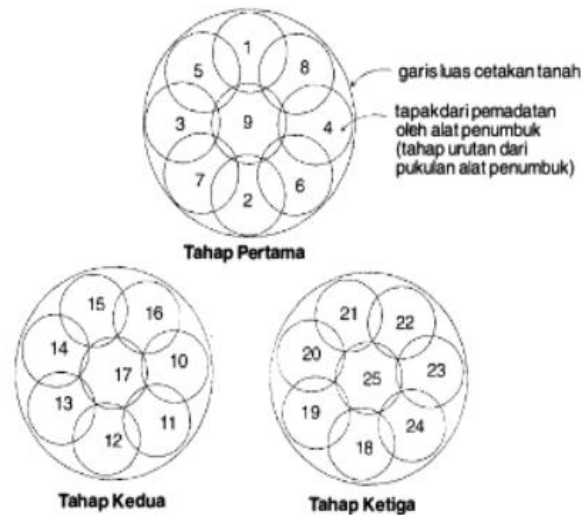


Gambar 2.6 Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering
 (Sumber: Djatmiko soedarmo,1993)

b. Percobaan pemadatan modifikasi (*Modified Compaction Test*).

Alat yang digunakan hampir sama dengan percobaan pemadatan standar.

Hanya berat palu, tinggi jatuh palu dan jumlah lapis tanah yang berbeda.



Gambar 2.7 Cara Melakukan Penumbukan Pada Cetakan
 (Sumber: Djatmiko soedarmo,1993)

Energi pemadatan (*Compaction Energy = CE*).

$$CE = \frac{N \times n \times W_r \times H}{V_m} \quad (2.16)$$

Dalam hal ini:

N = Jumlah pukulan/lapis

n = Jumlah lapisan

Wr = Berat palu

H= Tinggi jatuh palu

Vm= Isi tabung

2. Di lapangan

Apabila pekerjaan pemadatan dilakukan dilapangan, ini digunakan untuk mengetahui apakah berat isi yang diberikan dalam spesifikasi tercapai atau tidak. Prosedur standar untuk menentukan berat isi pemadatan dilapangan sebagai berikut:

a. Metode kerucut pasir (*sand cone method*)

Standar yang berlaku:

Bina Marga :

ASTM : D – 1556 – 64

ASSHTO : T -191 – 61

Tujuan :

untuk menentukan berat isi tanah dengan menggunakan penggantian pasir di dalam lubang galian tanah dengan kerucut pasir.

b. Metode balon karet (*rubber balloon method*)

Standar yang berlaku:

Bina Marga : PB – 0104 - 76

ASTM : D – 2167 – 66

ASSHTO : T -205 – 64

Tujuan :

Untuk menentukan kepadatan di lapangan suatu lapisan tanah yang telah dipadatkan atau suatu lapisan perkerasan.

c. Menggunakan densitas meter nuklir (*the use of a nuclear density meter*)

Densitas meter nuklir sekarang digunakan dalam beberapa proyek besar untuk menentukan berat isi tanah kering yang dipadatkan. Densitas meter dapat dioperasikan di dalam lubang atau di atas permukaan tanah. Alat tersebut mengukur berat isi tanah basah dan juga menunjukkan berat air di dalam isi tanah. Berat isi tanah kering yang dipadatkan dapat ditentukan dengan mengurangi berat isi tanah basah dengan berat air. (sumber: Djatmiko Soedarmo, 1985).

d. Metode trial embankment

Metode trial embankment adalah suatu metode pemadatan yang dilakukan dengan metode trial and error (metode coba-coba). Metode ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah lintasan (*passing*) yang akan menjadi acuan untuk pemadatan selanjutnya, kepadatan lapangan (*field density*), Kadar air (*water content*), serta gradasi lapangan dan laboratorium.

2.12 Kuat Tekan Bebas

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo,2012). Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, salah satunya yaitu pengujian kuat tekan bebas.

Pengujian kuat tekan bebas ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan bebas tanah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial telah mencapai 20%. Besarnya tegangan aksial yang terjadi pada tanah dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.17)$$

Dimana: σ = Tegangan normal (kg/cm²)

P = Beban (kg)

A = Luas rata-rata pada setiap saat (cm²)

Untuk mengetahui tegangan saat runtuh, maka harus dihitung lebih dulu luas benda uji awal (A_0), yaitu:

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (2.18)$$

Untuk regangan saat runtuh dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\epsilon = \Delta L / A_0 \times 100\% \quad (2.19)$$

Tampang benda uji setelah runtuh dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A' = \frac{A_0}{1 - \epsilon} \quad (2.20)$$

Kuat tekan bebas:

$$q_u = \frac{\text{Beban saat runtuh}}{A'} \quad (2.21)$$

Untuk kuat geser dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (2.22)$$

Dimana: C_u = kuat geser *undrained* (*undrained shear strength*)

q_u = kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*)

untuk mengetahui hubungan konsistensi dengan kuat tekan bebas tanah lempung dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.4 Hubungan kuat tekan bebas (q_u) lempung dengan konsistensinya

Konsistensi	q_u (KN/m ²)
Lempung keras	>400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	<25

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016)

2.13 Sensitivitas Tanah Lempung

Tanah lempung terbentuk dari banyak jenis mineral. Jika mineral pembentuk berbeda, berbeda pula sifatnya. Perbedaan ini meliputi kelakuannya terhadap penambahan atau pengurangan kadar air, dan pula terhadap pengaruh gangguan susunan tanah. Beberapa lempung sangat sensitif terhadap gangguan, sehingga akan mengalami pengurangan kuat geser akibat susunan aslinya terganggu. Sensitivitas didefinisikan sebagai nilai banding kuat tekan *undrained* dalam kondisi tak terganggu terhadap kuat tekan *undrained* tanah yang sudah berubah dari bentuk aslinya, pada kadar air yang sama.

Sensitivitas (S_T) dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_T = \frac{q_{uu}}{q_{ur}} \quad (2.23)$$

Keterangan:

S_T = Sensitivitas

q_{uu} = Kuat tekan dalam kondisi tidak terganggu

q_{ur} = Kuat tekan dalam kondisi sudah berubah dari kondisi aslinya

Karena beberapa jenis lempung mempunyai sifat sensitif terhadap gangguan yang berbeda-beda, maka perlu diadakan pengelompokan yang berhubungan dengan sifat sensitifnya

Tabel 2.5 Klasifikasi sensitivitas lempung

Sensitivitas	Klasifikasi
≈ 1	Tidak sensitif
1 – 2	Sensitivitas rendah
2 – 4	Sensitivitas sedang
4 – 8	Sensitif
8 – 16	Sensitivitas ekstra
>16	<i>Quick</i>

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016)