

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Lempung

Lempung adalah tanah yang memiliki butiran-butiran sangat kecil dengan diameter kurang dari 2 μm (Mitchell, 1976). Demikian juga menurut Chen (1975), partikel lempung dalam klasifikasi secara umum adalah merupakan partikel tanah yang berukuran kurang dari 2 μm . Lebih lanjut Hardiyatmo dalam bukunya Mekanika Tanah I, 1992, menyatakan bahwa lempung merupakan pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter kurang dari 0,002 mm, yang disebut dengan mineral lempung.

Dalam kenyataannya, suatu deposit tanah yang terdiri atas fraksi lempung saja jarang dijumpai, maka apabila tanah mengandung 50 persen atau lebih partikel dengan ukuran 0,002 mm atau kurang, tanah tersebut dapat disebut lempung (Das, 1985).

3.1.1 Sifat Fisik Tanah Lempung

Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut “*adsorbed water*” (air yang terserap). Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut “lapisan difusi”,

“lapisan difusi ganda” atau “lapisan ganda”. Air ini tertarik dengan kuat sehingga berlaku lebih sebagai benda padat daripada benda cair.

Lapisan air ini dapat menghilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60 sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah tanah. Sebagian tanah ini juga dapat menghilang cukup hanya dengan pengeringan udara saja. Pada umumnya, apabila lapisan ganda mengalami pengeringan pada temperatur rendah, sifat plastisnya dapat dikembalikan lagi dengan cara mencampur lagi dengan air yang cukup dan ‘dikeringkan (curing)’ selama 24 sampai 48 jam. Apabila dehidrasi terjadi pada temperatur yang lebih tinggi, sifat plastisitasnya akan turun atau mengecil secara permanen.

Konsistensi dari tanah lempung dan tanah-tanah kohesif yang lainnya sangat dipengaruhi oleh banyaknya kandungan air atau kadar air dalam tanah tersebut. Kadar air pada saat tanah mengalami perubahan dari satu keadaan ke keadaan lain tidak sama bagi setiap jenis tanah yang ada. Hal itu dapat dipergunakan, secara kualitatif, untuk membedakan atau mengklasifikasikan jenis-jenis tanah butir halus yang berlainan.

Pada kadar air yang sangat tinggi, tanah akan berperilaku sebagai cairan encer yang mengalir dan tidak dapat mempertahankan bentuk tertentu. Kadar terendah pada saat tanah dalam keadaan cair tersebut disebut batas cair / *liquid limits* (LL), dan suatu prosedur pengujian spesifik telah dikembangkan guna menentukan kadar air pada keadaan LL ini, yaitu dengan pengujian *Casagrande*. Pengujian dilaksanakan dengan menempatkan segumpal tanah dalam sebuah mangkok dan dibuat alur dengan ukuran standar pada tanah tersebut. Kemudian

mangkok tersebut dijatuhkan ke atas permukaan yang keras dari ketinggian 10mm. Kadar air ditetapkan sebagai batas cair apabila alur pada tanah sampel diatas bertaut sebesar 12,7 mm (1/2 in) pada 25 pukulan.

Tanah dianggap dalam keadaan plastis apabila dapat dibentuk atau diolah menjadi bentuk baru tanpa retak-retak. Kadar air pada saat tanah dianggap dalam keadaan plastis disebut batas plastis / *plastic limits* (PL) dari tanah tersebut. Batas plastis ditentukan dengan cara menggulung segumpal tanah menjadi sebuah batangan. Apabila batangan tersebut mulai retak-retak pada diameter 3,18 mm (1/8 in) maka kadar air pada keadaan tersebut adalah batas plastisnya. Selisih antara batas cair dan batas plastis disebut indeks plastisitas (IP) dan merupakan rentang kadar air pada saat tanah berperilaku dalam keadaan plastis.

L.D. Wesley, 1977, menyatakan bahwa sifat tanah lempung secara langsung tidak ada hubungannya dengan ukuran butirnya, karena lempung lebih tergantung kepada komposisi zat mineralnya daripada ukuran butirnya. Hal yang lebih penting adalah menentukan batas plastisitasnya, karena angka-angka ini memberi petunjuk yang lebih baik akan sifat-sifatnya daripada ukuran butirnya.

Tanah lempung adalah salah satu jenis tanah yang kohesif dan plastis. Biasanya mempunyai indeks plastisitas yang relatif tinggi. Menurut AASHTO, suatu tanah dapat dikategorikan lempung apabila mempunyai $IP > 11$. Hal itu menandakan bahwa tanah lempung adalah jenis tanah yang mudah mengalami keadaan plastis. Hal itu menjadikan tanah lempung mempunyai daya dukung yang rendah karena mudah mengalami perubahan bentuk, baik mengembang maupun menyusut.

Potensi pengembangan yang merupakan prosentase pengembangan tanah lateral sangat erat kaitannya dengan indeks plastisitas, sehingga klasifikasi potensi pengembangan tanah dapat didasarkan pada indeks plastisitas seperti ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tingkat *ekspansifitas* tanah

<i>Swelling potential</i>	<i>Plasticity Index (%)</i>
<i>Low</i>	0-15
<i>Medium</i>	10-35
<i>High</i>	20-55
<i>Very High</i>	35 and above

Sumber : Chen (1988) dalam J. D. Nelson.

3.1.2 Pengaruh Air pada Tanah Lempung

Tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus luas permukaan spesifik menjadi lebih besar sehingga variasi kadar air akan sangat mempengaruhi plastisitasnya.

Partikel-partikel lempung mempunyai muatan listrik negatif. Di dalam suatu kristal yang ideal, muatan-muatan negatif dan positif adalah seimbang. Akan tetapi, akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempungnya. Sehingga untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel lempung akan menarik ion-ion yang bermuatan listrik positif (kation) dari garam yang ada di dalam air porinya.

Hal ini disebut dengan pertukaran ion-ion. Selanjutnya, kation-kation tersebut dapat disusun dalam urutan menurut kekuatan tarik menariknya.



Urutan tersebut mengindikasikan bahwa ion Al^{3+} dapat menggantikan ion Ca^{2+} , begitu juga ion Ca^{2+} dapat mengganti Na^+ dengan mudah. Proses ini disebut proses pertukaran kation. Sebagai contoh :



Dari reaksi kimia di atas dapat diartikan bahwa ion Ca akan lebih mudah menggantikan ion Na yang telah terserap oleh mineral lempung.

Beberapa garam juga terdapat pada permukaan partikel lempung kering. Dan pada waktu air ditambahkan pada lempung, kation-kation dan anion-anion akan mengapung di sekitar partikelnya (Hardiyatmo, 1992).

Molekul air merupakan molekul dipolar, yaitu atom hidrogen yang tidak tersusun simetri di sekitar atom-atom oksigen. Hal ini berarti bahwa satu molekul air merupakan batang yang mempunyai muatan positif pada salah satu ujungnya dan muatan negatif pada ujung yang lainnya atau dapat disebut molekul dipolar (dobel kutub).

Terdapat tiga mekanisme yang menyebabkan molekul air dapat tertarik oleh permukaan partikel lempung secara elektrik, yaitu :

- a. tarikan antara permukaan bermuatan negatif dari partikel lempung dengan positif dipolar,

- b. tarikan antara kation-kation di dalam lapisan ganda dengan muatan negatif dari ujung dipolar. Kation-kation ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif, dan
- c. ikatan atom-atom hidrogen di dalam molekul air, yaitu dengan ikatan hidrogen antara atom oksigen dalam partikel lempung dan atom oksigen dalam molekul-molekul air.

Air yang terkandung didalam suatu massa tanah terdiri dari dua bagian, yaitu air yang bersifat higroskopis dan selaput air. Air higroskopis mengisi rongga-rongga antar butir dan dapat keluar dengan proses pemanasan atau konsolidasi. Sedangkan selaput air (air serapan) sangat kuat melekat pada partikel lempung sehingga sangat sulit keluar walaupun dengan proses pemanasan.

3.2 Kapur

Kapur merupakan salah satu bahan yang memegang peranan yang penting dalam sebuah konstruksi suatu bangunan teknik sipil, dan juga telah digunakan sejak lama sebagai bahan perekat sebelum semen ditemukan. Bahan dasar kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung kalsium karbonat (CaCO_3), dengan pemanasan ($\pm 980^\circ\text{C}$) karbondioksidanya akan keluar dan tinggal kapurnya (CaO) saja. Susunan kimia maupun sifat fisik bahan dasar yang mengandung kapur ini berbeda dari satu tempat ke tempat yang lain, bahkan dalam satu tempatpun terkadang belum tentu sama. Jenis kapur yang baik untuk digunakan sebagai stabilisator adalah *hydrated lime* atau kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan *quick lime* atau kalsium oksida (CaO).

Kapur hasil dari pembakaran ini apabila ditambahkan air akan mengembang serta akan banyak sekali mengeluarkan panas (mendidih) selama proses ini. Proses itu akan menghasilkan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Air yang dibutuhkan dalam proses ini, secara teoritis, hanya 32% berat kering kapur itu sendiri. Akan tetapi karena adanya faktor-faktor yang lain seperti pembakaran, jenis kapur, dan sebagainya, kadang-kadang air yang diperlukan sampai 2 atau 3 kali volume kapur. Proses ini disebut *slacking*, dan hasilnya adalah kalsium hidroksida yang disebut *slacked lime* atau *hydrated lime*. Bila kalsium hidroksida ini dicampur air maka akan diperoleh mortel kapur yang akan menyerap karbondioksida (CO_2) di udara terbuka dan akan menghasilkan CaCO_3 yang bersifat keras dan tidak larut dalam air.

Proses kimia pembentukan kapur dapat ditulis sebagai berikut :



3.2.1 Pengaruh kapur pada subgrade tanah lempung

Kapur merupakan stabilisator yang sudah biasa digunakan para ahli geoteknik dalam usaha untuk memperbaiki sifat-sifat negatif dari tanah lempung. Cara pelaksanaannya adalah dengan mencampurkan kapur dengan tanah lempung pada persentase tertentu berdasarkan berat kering tanah.

Stabilisasi dengan kapur digunakan untuk menurunkan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan pada tanah lempung. Penambahan

kapur menghasilkan konsentrasi ion-ion kalsium yang tinggi dalam lapis ganda sekeliling partikel-partikel lempung, sehingga mengurangi tarikan bagi air. Selain itu kapur juga dapat menurunkan indeks plastisitas (I.S. Dunn, L.R. Anderson, F.W. Kiefer, 1980) .

Kekuatan lempung dapat dinaikkan bila ditambahkan dengan kapur dalam jumlah yang tepat. Berdasarkan pengujian yang dilakukan Ingles dan Metcalf (1977), stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur menghasilkan nilai *UCS* (*Unconfined Compression Strength*) yang meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan kapur, biasanya sampai sekitar 8 %. Setelah penambahan melebihi 8 %, laju peningkatan nilai *UCS* berkurang sampai tidak ada penambahan kekuatan lagi (konstan). Untuk stabilisasi tanah lempung menggunakan kapur, Ingles dan Metcalf (1977) merekomendasikan penggunaan kadar kapur (Ca(OH)_2) antara 2% sampai 8% dan tergantung jenis tanahnya. Hal itu dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Rekomendasi kadar kapur untuk stabilisasi tanah lempung

Jenis tanah lempung	Kadar Kapur
Lempung berkerikil gradasi baik	~ 3 %
Lempung berpasir	~ 5 %
Lempung berlanau	2% - 4%
Lempung	3% - 8%
Lempung berat	3% - 8%

Sumber : Ingles dan Metcalf, 1977.

Proses reaksi kimia yang terjadi pada stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu :

- a. proses cepat, yang terjadi karena pertukaran ion langsung. Ion kalsium diserap oleh tanah lempung, yang akan berpengaruh terhadap penurunan Indeks Plastisitas,
- b. pengerasan kimia merupakan proses pengerasan yang relatif lambat, yaitu terjadinya proses hidrasi, yang diikuti dengan terbentuknya kalsium silikat dan aluminat. Proses ini sama dengan proses mengerasnya semen secara terus menerus sampai beberapa bulan. Proses ini dinamakan proses pozzolanisasi yang dipercepat pada suhu tinggi.

3.3 Garam

Mineral garam yang ada di lapangan mempunyai beragam jenis. Jenis yang paling umum dan paling mudah ditemui adalah garam dapur dengan rumus kimia NaCl (Natrium klorida). Sodium klorida juga merupakan salah satu jenis mineral garam yang menurut beberapa ahli dapat digunakan untuk bahan stabilisasi. Begitu juga dengan kalsium klorida, yang mempunyai rumus kimia CaCl_2 , dapat pula digunakan sebagai stabilisator pada tanah yang mempunyai plastisitas tinggi.

Natrium klorida yang berasal dari penguapan air laut seringkali disamakan atau dianggap sangat mirip dengan sodium klorida. Agar didapat sampel yang dapat mewakili keadaan di lapangan, yaitu tanah lempung yang

tercampur dengan garam akibat dari intrusi air laut, maka garam yang digunakan untuk membuat sampel tanah lempung bergaram dalam penelitian ini adalah garam dapur (NaCl) tanpa yodium yang didapat di pasaran umum di Yogyakarta.

3.4 Pemadatan

Menurut Hardiyatmo (1992), pemadatan adalah proses bertambahnya berat volume kering tanah sebagai akibat memadatnya partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap. Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah dipadatkan akan tergantung pada cara pemadatan, macam tanah dan kadar airnya. Biasanya kadar air tanah yang dipadatkan didasarkan pada kondisi kadar air yang kurang dari kadar air optimum (*dry side optimum*), mendekati optimum atau optimum, dan sisi basah optimum (*wet side optimum*).

Hal-hal yang sering dispesifisikan dalam suatu pemadatan adalah jenis peralatan yang dipergunakan, jumlah gilasan atau yang paling sering adalah hasil akhir yang berupa berat volume tanah kering.

Dalam percobaan pemadatan, beberapa contoh tanah dicampur dengan kuantitas air yang semakin bertambah banyak, dipadatkan dan ditimbang. Apabila diketahui berat tanah basah di dalam acuan yang volumenya diketahui, maka berat volume tanah basah dapat langsung dihitung sebagai:

$$\gamma_b = \frac{W}{V_m} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan γ_b = berat volume tanah basah

W = berat tanah basah yang dipadatkan dalam cetakan

V_m = volume cetakan (943,3 cm³)

Contoh-contoh kadar air diperoleh dari tanah yang dipadatkan, dan berat volume tanah kering dihitung sebagai:

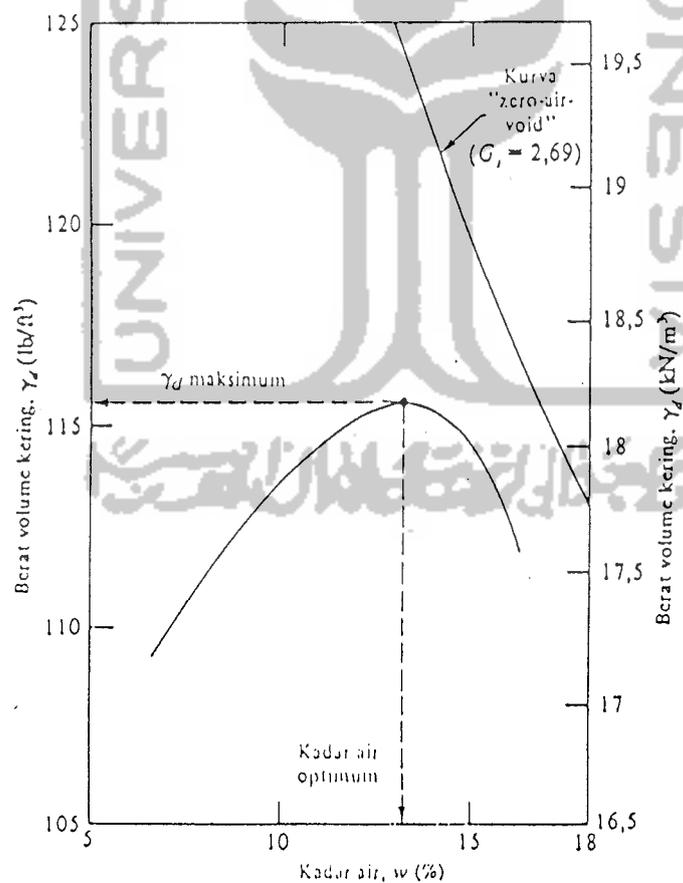
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots \dots \dots (3.2)$$

dengan γ_d = berat volume tanah kering

w = kadar air tanah

dengan satuan berat volume tanah kering (γ_d) adalah gram/cm³.

Dari data beberapa contoh yang dipadatkan dipakai untuk menggambarkan suatu kurva berat volume tanah kering terhadap kadar air, seperti terlihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Hasil uji pemadatan Proctor standar untuk lempung berlanau

Semua tanah yang telah mengalami percobaan pemadatan menunjukkan kurva seperti yang diperlihatkan Gambar 3.1. terkadang kurva tersebut lebih melengkung atau kurang melengkung daripada Gambar 3.1. Dari kurva-kurva ini jelas terlihat bahwa jenis pemadatan, kadar air dan jenis tanah, merupakan parameter yang penting dalam usaha pemadatan tanah. Nilai puncak dari berat volume tanah kering disebut kerapatan kering maksimum (*Maximum Dry Densities* (MDD)). Kadar air pada kerapatan kering maksimum disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content* (OMC)).

3.5 CBR (*California Bearing Ratio*)

Nilai CBR adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kuat dukung tanah dasar dalam perancangan lapisan perkerasan. Bila suatu tanah dasar memiliki nilai CBR yang tinggi, praktis akan mengurangi ketebalan lapis perkerasan yang berada di atas tanah dasar (*subgrade*), begitu juga sebaliknya.

CBR adalah antara perbandingan beban yang dibutuhkan untuk penetrasi. Contoh, tanah sebesar 0,1 "/0,2" dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1"/0,2" dan harga CBR dinyatakan dalam persen. Jadi harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai CBR sebesar 100%. Untuk lebih jelas lagi harga CBR dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$CBR = \frac{PT}{PS} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

dengan PT = beban percobaan (*test load*)

PS = beban standar (*standard load*)

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

3.6 Klasifikasi Tanah

Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah yang tidak kohesif dan kohesif, atau sebagai tanah yang berbutir kasar atau halus. Akan tetapi istilah ini masih terlalu umum sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya. Klasifikasi tanah di atas juga tidak cukup lengkap untuk menentukan apakah tanah tersebut sesuai untuk suatu bahan konstruksi.

Dari beberapa sistem klasifikasi yang ada, yang sering digunakan adalah : Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan Unified Soil Classification (USC). Sistem klasifikasi yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah Sistem Klasifikasi AASHTO.

3.6.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam tabel 3.3. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir yang 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut