

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tanah**

##### **2.1.1. Pengertian Tanah**

Tanah merupakan kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat tersebut diaduk dalam air atau kumpulan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relativelepas (loose), yang terletak diatas batuan dasar (bedrock). Menurut Suyono Sosrodarsono (1984:8) tanah didefinisikan sebagai partikel-partikel mineral yang tersemem maupun yang lepas sebagai hasil pelapukan dari batuan, dimana rongga pori antar partikel terisi oleh udara dan atau air. (Aziz, 2015)

Akibat pengaruh cuaca dan pengaruh lainnya, tanah mengalami pelapukan sehingga terjadi perubahan ukuran dan bentuk butirannya. Pelapukan batuan dapat disebabkan oleh pelapukan mekanis, kimia dan organis. Menurut Harry Cristady Hardiyatmo (2002) tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (loose), yang terletak diatas batuan dasar (bedrock).

Ikatan antara butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya. (Aziz, 2015)

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 pertikel 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). Istilah pasir, lempung, lanau, atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang samajuga 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.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran, atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir-butiran ukuran lanau maupun pasir, dan mungkin terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampaidengan lebih kecil dari 0,001 mm. Pelapukan mekanis mengakibatkan pecahnya butiran batuan sehingga terbentuk ukuran yang lebih kecil seperti menjadi kerikil, pasir dan lanau. (Aziz, 2015)

Sedangkan pelapukan kimia, menghasilkan kelompok partikel koloida berbutir halus dengan ukuran butirnya lebih kecil dari 0,002 mm. Ada berbagai macam jenis-jenis tanah untuk klasifikasi tanah dilapangan antara lain :

1. Pasir dan kerikil

Pasir dan kerikil yaitu agregat tak berkohesi yang tersusun dari regmin-regmin sub anguler atau angular. Partikel berukuran sampai 1/8 inchi dinamakan pasir sedangkan partikel yang berukuran 1/8 inchi sampai 6/8 inchi disebut kerikil. Fragmen bergaris tengah lebih besar dari 8 inchi disebut boulders (bongkah)

2. Hard pan

Hard pan merupakan tanah yang tahanan terhadap penetrasi alat pemboran besar sekali. Cirinya sebagian besar dijumpai dalam keadaan bergradasi baik, luar biasa padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

3. Lanau anorganik (*inorganic silt*)

Lanau anorganik merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atausama sekali tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya

mengandung butiran kuarsase dimensi, yang kadang-kadang disebut tepung

batuan (*rockflour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenalsebagai lanau plastis.

4. Lanau organik (*organic silt*)

Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedangkan kompresibilitasnya sangat tinggi.

5. 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 Permeabilitas lempung sangat rendah.

6. Lempung Organik

Tanah lempung organik merupakan lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi adanya bahan organik yang terpisah dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kopresibel tapi pada keadaan kering kekuatannya sangat tinggi. Warnanya abu-abu tua atau hitam, dan berbau.

7. Gambut (*peat*)

Tanah gambut merupakan agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya coklat terang dan hitam bersifat kompresibel, sehingga tidak mungkin menopang pondasi.

### 2.1.2. Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem Klasifikasi Tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya.

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.

Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1989) Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif atau sebagai tanah berbutir kasar atau tanah berbutir halus.

Istilah ini terlalu umum, sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya. Disamping itu, klasifikasi tersebut di atas tidak cukup lengkap untuk menentukan apakah tanah itu sesuai untuk suatu bahan konstruksi atau tidak.

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. Adapun sistem klasifikasi tanah yang telah umum digunakan adalah Umumnya penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. (Aziz, 2015)

Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti :

1. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi

2. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Dari sini kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy dan jaring arus (flownet) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dari sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainnya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu pemilihan ini disebut klasifikasi.

Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979). Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari Sistem Unified mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (United State Bureau of Reclamation). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik. (Aziz, 2015)

### 2.1.3 Klasifikasi sistem USCS(*Unified soil classification system*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* (1942) untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers*.

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. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan S, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck dan tanah-tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS, adalah :

**W**= tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

**P**= tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

**L**= tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*),  $L < 50$

**H**= tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*),  $LL > 50$

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : *GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC*. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut:

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)

2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200)

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai 12%, simbol ganda seperti : GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM dan SP-SC diperlukan. Cassagrande membagi tanah atas 3 (tiga) kelompok (Sukirman, 1992) yaitu:

1. Tanah berbutir kasar, < 50% lolos saringan No. 200
2. Tanah berbutir halus, > 50% lolos saringan No. 200
3. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

#### **2.1.4 Klasifikasi sistem AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)**

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, yang akhirnya diambil oleh Bureau Of Public Roads. Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis ukuran butiran, pengujian batas cair dan batas palstis.

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, subbasedan subgrade. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem ini membedakan tanah dalam 8 (delapan) kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan. (Sukirman, 1992).

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum Kelompok	Tanah Granuler	Tanah mengandung Lanau-Lempung				
	A-2 A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 <sup>u</sup> A-7-5 <sup>c</sup>	
Persen Lolos Saringan						
No. 10						
No. 20						
No. 200	35 max	36	36	36 min	36	36 min
Batas Cair <sup>z</sup>	41 min	40	41	40 min	40	41 min
Indeks Plastisitas <sup>s</sup>	11 min	10 min	10	10 min	10	11 min
Fraksi Tanah	Kerikil, pasir		Lanau		Lempung	
Kondisi Kuat	Sangat Baik		Kurang baik hingga jelek			

(sumber: Bowles, 1989)

## 2.2. Tanah Lempung

### 2.2.1. Pengertian Tanah Lempung

Menurut Terzaghi (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Sedangkan menurut Hardiyatmo (1992) mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Dengan adanya pengetahuan mengenai mineral tanah tersebut, pemahaman mengenai perilaku tanah lempung dapat diamati. Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu *silika tetrahedra* dan *aluminium oktahedra*.

Dalam klasifikasi tanah secara umum, partikel tanah lempung memiliki diameter 2  $\mu\text{m}$  atau sekitar 0,002 mm (USDA, AASHTO, USCS). Namun demikian, di beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung (ASTM-D-653). Di sini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan ukuran saja, namun belum

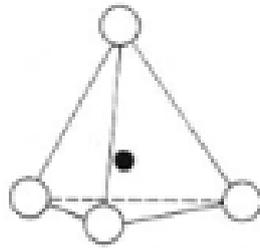
tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung.

Minerologi adalah faktor pengendali utama terhadap ukuran, bentuk, sifat-sifat fisis dan kimiawi, dari partikel tanah (Mitchell,1976). Chen, (1975) mengemukakan bahwa suatu mineral lempung tidak dapat dibedakan melalui ukuran partikel saja, sebagai contoh partikel *quartz* dan *feldspar*,meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil namun tidak bisa disebut tanah lempung karena umumnya partikel-partikel tersebut tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah. Perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh kelompok mineral yang mendominasi tanah tersebut.

### **2.2.2. Susunan Tanah Lempung**

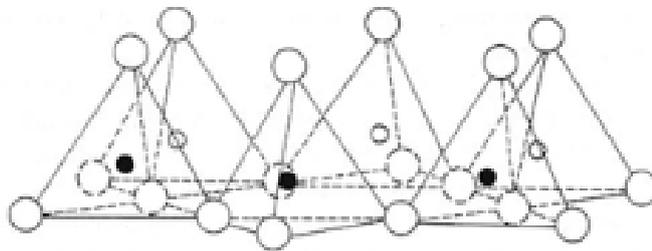
Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika *tetrahedran* dan aluminium *oktahedra*.Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi *isomorf*. Kombinasi susunan dari kesatuan dalam bentuk susunan lempung.Sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi, dari batuan yang mengandung *Feldspar ortoklas*, *Feldspar plagioklas*, *Mika (muskovia)* yang semuanya dapat disebut silikat aluminium kompleks. Menurut Grim (1968) dalam Bowles (1984), mineral lempung dapat terbentuk dari hampir setiap batuan selama terdapat cukup banyak alkali dan tanah alkalin untuk dapat membuat terjadinya reaksi kimia.

Menurut Das Braja (1988), satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari silika tetrahedron dan aluminium oktahedron. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran.



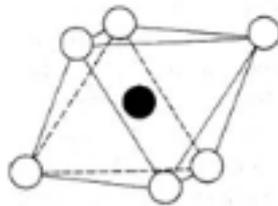
**Gambar 2.1** *Single Silika Tetrahedral*

(Das Braja, 1988)



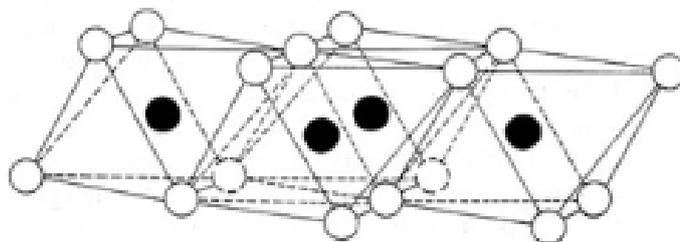
**Gambar 2.2** *Isometrik Silika Sheet*

(Das Braja, 1988)



**Gambar 2.3** *Single Aluminium Oktahedron*

(Das Braja, 1988)



**Gambar 2.4** *Isometric Oktahedral Sheet*

(Das Braja, 1988)

Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi *isomorf* dan oleh karena pecahnya keping partikel pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar.

Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung :

- 1 *Kaolinite*
- 2 *Montmorillonite*
- 3 *Illite Group*

Unsur susunan kimia yang terdapat di dalam tanah lempung adalah :

Tabel 2.2 Unsur kimia tanah lempung

Unsur/Senyawa	Lempung(%)
Silica(SiO <sub>2</sub> )	75.40
Kalsium Oksida(CaO)	0.70
Magnesium Oksida (MgO)	0.71
Besi Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.01
Alumunium Karbonat (AlO <sub>3</sub> )	14.10

(Edriani, 2012)

### 2.2.3. Sifat-sifat Tanah Lempung

Secara umum lempung mempunyai muatan listrik negatif pada permukaannya. Muatan negatif pada permukaan partikel lempung akibat substitusi *isomorf* dan kontinuitas perpecahan susunannya. Partikel yang mempunyai luasan spesifik yang lebih besar terdapat pada muatan negatif yang lebih besar. Mineral *montmorillonite*, adalah jenis mineral yang mempunyai luas permukaan spesifik terbesar dengan kapasitas pertukaran kation terbesar dari kelompok mineralnya, disusul berturut-turut mineral *illite*, dan *kaolinit*.

Tabel 2.3 Rentang pertukaran kation dalam mineral lempung

	Kaolinit	Illite	Montmorillonite
Tebal ( $\mu\text{m}$ )	(0,5 – 2)	(0,003–0.1)	>9,5A <sup>o</sup>
Diameter ( $\mu\text{m}$ )	(0,5 – 4)	(0,5 – 10)	(0,05 – 10)
Luas spesifik ( $\text{m}^2/\text{gr}$ )	10 – 20	65 – 180	50 – 840
Pertukaran kation	3 – 15	10 – 40	70 – 80

(chen, 1975)

#### 2.2.4. Batas – Batas Atterberg

Batas-batas Atterberg

Tanah lempung yang kelihatannya sama, ukuran butirannya juga hampir sama ada kemungkinan sifatnya berbeda terutama sifat terhadap perubahan kadar air yang ditentukan oleh komposisi mineral. Pengaruh perubahan air pada tanah kohesif yaitu antara lain ;

1. Tanah kohesif bila dicampur dengan air yang cukup banyak maka air akan mengisi pori-pori tanah dan meregangkan jarak antar butir tanah tersebut sehingga volume tanah akan bertambah besar dan sifatnya menjadi lebih lunak sedangkan kohesi menjadi lebih kecil. Diatas batas kadar air tertentu tanah akan menjadi cair (*liquid*)
2. Apabila airnya dikurangi maka volumenya berkurang. Pada kadar air tertentu tanah tidak lagi cair tetapi menjadi plastis. Maka tanah tersebut berada dalam keadaan plastis dan kadar air tersebut disebut batas cair.
3. Jika air dikurangi lagi maka volume tanah berkurang, tanah menjadi lebih keras. Pada batas kadar air tertentu tanah berubah dari plastis menjadi semi solid, kadar air tersebut disebut batas plastis.
4. Pada ketiga fase di atas, air masih cukup banyak untuk mengisi ruang pori dan meregangkan butiran tanah sehingga dalam keadaan 1,2,3 tanah masih dalam keadaan kenyang air. Setelah mencapai fase 3 (semi solid) jika airnya dikurangi pada batas kadar air tetentu butir-butir tanah akan saling bersinggungan satu dengan yang lainnya. Volume tanah tidak lagi berkurang dengan pengurangan air pada tanah tersebut sebagai pori-pori

tanah terisi udara, Pada kondisi tanah tersebut berada dalam keadaan solid dan kadar air pada batas perubahan semi solid ke solid disebut batas susut. (Sudirja, 2008)

### 2.2.5. Karakteristik Fisik Tanah Lempung Lunak

Menurut *Bowles (1989)*, mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat- sifat :

1 Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air *teradsorbsi*.

2 Aktivitas

Hasil pengujian index *properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah *ekspansif*.

Tabel 2.4 Aktivitas Tanah Lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai Aktifitas
Kaolinite	0,4-0,5
Illite	0,5-1,0
Montmorillonite	1,0-7,0

(skempton, 1953)

3 Flokulasi dan dispersi

Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung di dalam larutan air akibat mineral lempung umumnya mempunyai  $Ph > 7$ . Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion  $H^+$ ), seangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk menghindari dlokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

#### 4 Pengaruh Zat Cair

Air yang berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negative pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida ( $\text{Ccl}_4$ ) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun,

#### 5 Sifat Kembang Susut (*Swelling Potensial*)

Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listrik negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik.

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

- Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- Kadar air.
- Susunan tanah.
- Konsentrasi garam dalam air pori.
- Sementasi.
- Adanya bahan organik, dll.

### 2.3. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu adalah abu yang diperoleh dari ampas tebu yang telah di peras niranya dan telah melalui proses pembakaran pada ketel-ketel uap di mana ampas tebu ini digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap. Ketel uap merupakan sumber pembangkit tenaga untuk menggerakkan alat penggilingan tebu. Abu ampas tebu merupakan abu sisa pembakaran ampas tebu.

Abu ampas tebu yang dihasilkan harus dibakar kembali sehingga abu ampas tebu mengalami perubahan warna dari yang semula berwarna hitam karena

masih mengandung karbon berubah warna menjadi abu-abu dimana dalam keadaan ini abu ampas tebu memiliki kandungan silikat yang cukup tinggi.

Pembakaran ampas tebu akan menghasilkan abu ampas tebu yang memiliki kandungan senyawa silikan ( $\text{SiO}_2$ ). Abu ampas tebu memiliki kandungan senyawa silikan ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup besar yaitu 50%.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Abu Ampas Tebu.

Senyawa Kimia	Jumlah (%)
$\text{SiO}_2$	55
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,1
$\text{CaO}$	11
$\text{MgO}$	0,9
$\text{K}_2 + \text{Na}_2\text{O}$	1,4
$\text{SO}_3$	2,2
LO1	19,2

Sumber : (Rauanasholinunl el al. 2013)

### 2.3.1 Reaksi Abu Ampas Tebu dengan Tanah

Secara fisik dan mekanik, stabilisasi dengan abu ampas tebu dapat meningkatkan kepadatan tanah lempung ekspansif. Secara kimiawi, unsur-unsur dalam abu ampas tebu dapat mengurangi potensi pengembangan. Partikel lempung yang bermuatan negatif akan menyerap kation di sekitarnya termasuk ion  $\text{H}^+$  pada air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Ketika tanah lempung ekspansif dicampur dengan abu ampas tebu, unsur-unsur dalam abu ampas tebu yang meliputi Ca, Al, dan Mg akan terion dan diserap oleh partikel lempung. Ion-ion unsur tersebut dapat menggantikan ion  $\text{H}^+$  di antara lapisan partikel lempung dan mencegah penyerapan air oleh partikel lempung sehingga potensi pengembangan dapat berkurang.

#### 2.4. Stabilitas Tanah Dasar

Stabilitas tanah pada prinsipnya adalah untuk perbaikan mutu tanah yang kurang baik. Menurut Bowles (1986), cara untuk melakukan stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut:

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi atau tahanan geser.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah.
4. Menurunkan muka air tanah.
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk.

Sementara itu, menurut Ingles dan Metcalf (1972), stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan metode, yaitu:

1. Cara Mekanis.

Perbaikan tanah dengan menggunakan cara mekanis yaitu perbaikan tanah tanpa penambahan bahan-bahan lainnya. Stabilisasi mekanis biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis dan sebagainya. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik dengan cara mengurangi volume pori sehingga menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum. Metode ini biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar dengan fraksi tanah yang lolos saringan nomor 200 ASTM paling banyak 25%.

2. Cara Fisik

Perbaikan tanah dengan cara fisik yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi seperti hidrasi, absorpsi/penyerapan air, pemanasan, pendinginan, dan menggunakan arus listrik.

3. Cara Kimiawi

Perbaikan tanah dengan cara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus. Pencampuran

bahan kimia yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan semen, kapur, abu batubara dan sebagainya.

Sifat-sifat dari suatu jenis tanah, sangat mempengaruhi dalam penentuan jenis stabilisasi tanah tersebut. Secara umum ada 4 (empat) karakteristik utama tanah atau sifat tanah yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan masalah stabilisasi tanah, yaitu :

#### 1. Stabilitas Volume Tanah

Perubahan volume tanah berkaitan erat dengan kadar airnya. Banyak jenis tanah lempung yang mengalami susut dan kembang (*shrink and swell*) karena kepekaan terhadap perubahan kadar airnya. Perubahan kadarair ini biasanya terjadi sejalan dengan perubahan musim di wilayah tersebut. Untuk lempung yang ekspansif, bila hal ini terkontrol maka akan terjadi depormasi dan retak-retak pada permukaan jalan.

Untuk mengukur volume yang terjadi biasanya diadakan percobaan swellingpotensial dilaboratorium. Namun percobaan di laboratorium belum tentu menunjukkan perubahan yang terjadi di lapangan, karena perubahan volume di lapangan kemungkinan akan lebih kecil akibat adanya pengaruh permeabilitas yang rendah. Masalah ini biasanya diatasi dengan *waterproofing* dengan berbagai macam bahan seperti bitumen, tar dan lain-lain. Cara lain adalah dengan *menstabilisasi pressure* dari lempung.

#### 2. Kekuatan

Perubahan beban *eksternal* yang terjadi umumnya adalah berhubungan dengan perubahan volume karena adanya gaya internal yang diakibatkan oleh perubahan kadar air. Banyak percobaan dan praktek di lapangan yang membuktikan hal ini, kecuali pada tanah organik dimana stabilisasi hanya meningkatkan volume tanpa terjadi peningkatan kekuatan tanah.

#### 3. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesa dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik

dengan titik energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah.

Untuk lempung, permeabilitas yang terjadi disebabkan sistem micropore (sistem pori-pori mikro) dan kapasitasnya. Masalah utama akibat besarnya permeabilitas umumnya adalah timbulnya tekanan air pori dan terjadi aliran perembesan (seepage flow). Sedangkan pada tanah lempung, permeabilitas tinggi biasanya diakibatkan karena pelaksanaan pemadatan yang kurang baik. Karena itu masalah ini dapat diatasi dengan pembuatan sistem drainase, pelaksanaan pemadatan dan stabilisasi yang baik.

#### 4. Durabilitas

Durabilitas adalah daya tahan bahan konstruksi terhadap cuaca, erosi dan kondisi lalu lintas di atasnya. Durabilitas yang buruk dapat menimbulkan masalah baik pada tanah alami maupun tanah yang distabilisasi. Dampak yang ditimbulkan tidak terlalu berpengaruh pada struktur perkerasan tetapi lebih banyak terjadi pada permukaan sehingga biaya pemeliharaan jalan cenderung meningkat.

Pada tanah yang distabilisasi, durabilitas yang buruk biasanya diakibatkan oleh pemilihan jenis stabilisasi yang salah, bahan stabilisasi yang tidak cocok atau karena masalah cuaca. Percobaan untuk mengetahui ketahanan material terhadap cuaca dan kondisi lalu lintas sampai sekarang masih sulit dihubungkan dengan keadaan sebenarnya di lapangan.

### 2.5. Pengujian Indeks Properti

Pada pengujian ini dilakukan pada sample tanah yang akan digunakan yaitu pengujian penidifikasian tanah ekspansif. Adapun pengujian ini terdiri dari

#### 1) Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis butiran tanah yang mengacu pada ASTM D 854.

Rumus:

$$\text{Berat jenis} = \frac{w_2 - w_1}{(w_3 - w_1) - (w_4 - w_2)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

W<sub>1</sub> : Berat piknometer kosong + tutup

W<sub>2</sub> : Berat piknometer + tanah kering + tutup

W<sub>3</sub> : Berat Piknometer + tanah kering + air + tutup

W<sub>4</sub> : Berat Piknometer + air + tutup

Tabel. 2.6 Klasifikasi Tanah untuk Berat Jenis

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau Tak Organik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung Tak Organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber : (Hardiyatmo, 1992)

## 2) Pengujian kadar air

Kadar air sangat mempengaruhi perilaku tanah khususnya proses pengembangannya. Lempung dengan kadar air rendah memiliki potensi Pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lempung kadar air tinggi (Supriyono, 1993). Hal ini disebabkan karena lempung dengan kadar air alami rendah lebih berpotensi untuk menyerap air lebih banyak.

Rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{berat jenis (gr)}}{\text{Berat tanah kering (gr)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Perhitungan:

$$\text{Kadar air } \omega = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\%$$

Dimana:

$W_1$  : berat cawan kosong

$W_2$  : berat cawan + tanah basah

$W_3$  : berat cawan + tanah kering

### 3) Analisa Saringan

Analisa saringan ini dimasukkan untuk menentukan pembagian butiran pada sample tanah yang digunakan. Tujuannya adalah untuk menentukan pembagian ukuran butiran suatu contoh tanah.

Perhitungan

a) Presentase tanah yang tertinggal pada masing-masing ayakan

$$= \frac{\text{berat tanah yang tertinggal}}{\text{berat total}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

b) Presentase komulatif tanah yang tertinggal pada ayakan

= jumlah presentase tanah yang tertinggal pada semua ayakan yang lebih besar

### 4) Pengujian batas – batas konsistensi

Pengujian atterberg limit dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed*).

Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai batas cair, batas plastis, batas susut, indeks plastisitas serta aktivitas sample tanah.

- Batas Cair ( ASTM D 423 – 66 )

Pengujian batas cair dilakukan untuk mengetahui kadar air tanah pada batas keadaan cair. Tujuannya adalah untuk menentukan dimana tanah berada pada batas keadaan cair.

Perhitungan:

1. Tentukan kadar air tiap-tiap contoh dan gambarkan dalam grafik.
2. Tarik garis lurus melalui titik tersebut.
3. Kadar air didapatkan pada jumlah ketukan tertentu.

$$\omega = \frac{\omega_{\text{sample 1}} + \omega_{\text{sample 2}}}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Batas Plastis ( ASTM D 424 – 74 )

Pengujian batas plastis ini dilakukan untuk nilai kadar air terendah pada saat tanah masih dalam keadaan plastis.

Tujuannya adalah untuk menentukan dimana tanah berada dalam keadaan plastis.

Perhitungan:

$$w = \frac{w_{sample1} + w_{sample2}}{2}$$

- Indeks Plastisitas

Rumus:

$$\text{Indeks Plastisitas} = \text{batas cair} - \text{batas plastis}$$

Tabel. 2.7 Klasifikasi untuk Batas-batas Atterberg Limits

Tingkat Pengembangan	Batas Cair	Indeks Plastis	Uji Hisap Asli (Kn/M2)
Tinggi	> 60	> 35	> 4
Sedang	50 - 60	25 - 35	1,5 - 4
Rendah	< 50	< 25	< 1,5

Sumber : SNI 03-1967-1990, SNI 03-1966-1990.

##### 5) Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan merupakan proses dimana tanah yang terdiri dari butiran tanah air, dan udara diberi energy mekanik seperti penggilasan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) sehingga volume tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah. Untuk pemadatan di lapangan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya dengan cara menggilas. Sedangkan untuk pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart Compaction Test* dan *Compaction Test*.

Pengujian pemadatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum. Kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pemadatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas.

Pemadatan tanah ini dilakukan pada tanah asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Pemadatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu.

$$\text{-- berat isi bersih : } \frac{\text{Berat Tanah}}{1000} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{-- berat isi kering : } \frac{\text{Berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{-- berat} = \text{berat isi kering} \times 1000 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{-- Volume tanah kering} = \frac{\text{Berat tanah kering}}{Gs} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{-- } ZAV = \frac{Gs \cdot yw}{1 + \left( \frac{\text{Kadar air asumsi}}{100} \right)} \times Gs \dots\dots\dots(2.9)$$

## 2.6. Pemadatan

Pemadatan merupakan proses dimana tanah yang terdiri dari butiran tanah, air, dan udara diberi energi mekanik seperti penggilasan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) sehingga volume tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah. Untuk pemadatan di lapangan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya dengan cara menggilas. Sedangkan untuk pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart (Compaction Test dan Modified Compaction Test)*.

Pengujian pemadatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum. Kadar air optimum yang didapat dari hasil

pengujian pemadatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas. Pemadatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode Standart (*Compaction Test*). Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.

Pemadatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu. Pemadatan tanah lempung secara benar akan memberikan kuat geser yang tinggi, sedangkan stabilitas terhadap kembang susut tergantung dari jenis material yang digunakan. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Berat volume kering dari tanah akan naik, bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Jenis tanah (distribusi ukuran butiran), bentuk butiran tanah, gravitas khusus bagian tanah, jumlah sertajenis mineral lempung yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut. Dalam pemadatan tanah, ada empat faktor yang mempengaruhi pemadatan yaitu :

1. Usaha Pemadatan (energi pemadatan).
2. Jenis Tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya).
3. Kadar Air.
4. Berat isi Kering

Rumus :

$$\text{— berat isi bersih : } \frac{\text{Berat Tanah}}{1000} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{— berat isi kering : } \frac{\text{Berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{— berat} = \text{berat isi kering} \times 1000 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{— Volume tanah kering} = \frac{\text{Berat tanah kering}}{Gs} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{— ZAV} = \frac{Gs \cdot yw}{1 + \left( \frac{\text{Kadar air asumsi}}{100} \right)} \times Gs \dots\dots\dots(2.14)$$

Tabel 2.8 Klasifikasi untuk Pematatan

Deskripsi Tanah Visual	Berat isi kering maksimum	kadar air optimum (%)	Perkiraan kinerja timbunan
Granular	18,10 - 22,30	7 - 15	Baik sampai baik sekali
Granular bercampur tanah	17,30 - 21,2	9 - 18	Sedang sampai sangat baik
Pasir dan pasir halus	17,3 - 18,10	9 - 15	Sedang sampai baik
Lanau dan lanau berpasir	14,90 - 20,40	10 - 20	Buruk sampai bagus
Lanau dan lempung elastic	13,30 - 15,70	20 - 35	Tidak memuaskan
Lanau - lempung	14,90 - 18,80	10 - 30	Buruk sampai bagus
Lempung berlanau elastic	13,30 - 15,70	20 - 35	Tidak memuaskan
Lempung	14,10 - 18,10	15 - 30	Buruk sampai sedang

Sumber : SNI 03-1976-1990

### 2.7. Kuat Tekan Bebas (*Unconfined*)

Kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan aksial ( $\text{kg/cm}^2$  atau  $\text{KN/m}^2$ ), yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah sebesar 20%, apabila sampai dengan pemendekan 20% tanah tidak pecah.

Benda uji pada percobaan kuat tekan bebas dapat berupa contoh tanah kohesif asli dan berbentuk silinder dengan tinggi 2-3 kali diameter. Diameter minimum benda uji adalah 3,30 cm. Apabila diameter benda uji  $< 7,10$  cm, butir tanah terbesar yang diijinkan adalah 1/10 kali diameter benda uji, sedang diameter benda uji  $> 7,10$  cm butir tanah yang diijinkan 1/16 kali diameter.

Bila contoh tanah yang dipriksa adalah contoh tanah asli dari dalam tabung, contoh diameternya sudah sesuai dengan diameter silinder benda uji yang diinginkan, maka keluarkan tanah dari tabung contoh, dengan alat pengeluar contoh didorong masuk cetakan tabung belah yang diolesi tipis dengan pelumas. Arah mendorongnya harus ujung tabung contoh ke pangkal (dari bagian yang tajam). Potong benda uji rata bagian atas dan bawah.

Bila contoh tanah padat pada buatan, maka dapat berupa:

- Contoh tanah yang rusak (gagal pada persiapan/pelaksanaan percobaan) dapat dibentuk kembali dengan memasukkan tanah dalam kantong plastik/karet, remas dengan jari sampai rata seluruhnya. Hindarkan tambahannya dalam cetakkan sehingga kepadatannya sama dengan aslinya.
- Contoh tanah padat buatan dan kepadatan diperoleh dengan memadatkan contoh tanah dengan kadar air dan kepadatan yang diinginkan. Pemadatan dapat dilaksanakan pada silinder pemadatan dan di tumbuk, kemudian tanah didorong masuk tabung contoh atau dipotong dan dibubut.

Regangan aksial pada pembebanan yang dibaca dihitung dengan

rumus:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

Dimana:

$\Delta L$  = pemendekan tinggi benda uji

$L_0$  = tinggi benda uji semula

Untuk perhitungan luas penampang benda uji dengan koreksi akibat pemendekan, digunakan rumus:

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon)$$

Dimana:

$A_0$  = luas penampang benda uji mula-mula (cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = regangan

Sedangkan untuk tekanan aksial yang bekerja pada benda uji pada setiap pembebanan dihitung dari rumus sebagai berikut:

$$\Sigma = P / A \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana:

$P$  = gaya beban yang bekerja (hasil pembacaan arloji pembebanan)

Dari grafik dapat ditentukan kuat tekan bebas, yaitu nilai tau harga maksimum tekanan aksial yang terjadi ( $\sigma_{maks}$ ). Bila benda uji tidak mengalami pecah, kuat tekan bebas adalah tekanan pada regangan 20%.

Tabel 2.9 Klasifikasi untuk Kuat Tekan Bebas

Konsistensi	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
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 Tabel ; (Hary Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, Hal.320)

### 2.8. Prosedur Pengujian

Dalam suatu pengujian terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja yang telah ada sebelumnya, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai sebenarnya.

### 2.9. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap analisa dilakukan perbandingan nilai Kuat Tekan Bebas yang didapat dari pengujian di laboratorium, antara pengaruh Abu Ampas Tebu yang di tambah pada tanah lempung terhadap daya dukung tanah.