

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

Pada umumnya, yang disebut dengan lapisan tanah yang lunak adalah lempung atau lanau yang mempunyai harga pengujian *Standart Penetration Test* (N) lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Dilihat dari mineral pembentuknya, tanah lempung dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Tanah lempung ekspansif tersusun dari mineral lempung yang mempunyai karakter kembang dan susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air. Hal ini dikarenakan tanah ekspansif mengandung jenis-jenis material tertentu yang mengakibatkan tanah ekspansif mempunyai luas permukaan cukup besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah besar.

Bila suatu konstruksi dibangun di atas tanah ekspansif maka kerusakan-kerusakan yang dapat terjadi antara lain retakan (*cracking*) pada perkerasan jalan dan jembatan, terangkatnya struktur plat, kerusakan jaringan pipa, jembulan tanah (*soil heaving*), longsoran, dan sebagainya. Sehingga perlu untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah seperti penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung tanah terhadap beban dan lain-lain.

2.2. Klasifikasi Tanah berdasarkan *UNIFIED SYSTEM*

Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan Teknik Pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan.

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi :

- 1 Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. 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 yang tinggi.

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

1. Prosentase butiran yang lolos ayakan no.200 (fraksi halus).
2. Prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.40.
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200.
4. Batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no.40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no.200).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat dalam Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Simbol klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System*

Jenis Tanah	Simbol	Sub kelompok	Simbol
Kerikil Pasir	G S	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
		Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M	LL < 50% LL > 50%	L H
Lempung	C		
Organik	O		
Gambut	PT		

Sumber : Bowles, 1991

2.3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-8, namun kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawa yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual (lihat Tabel 2.2), dan pada awalnya membutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Analisis ukuran butiran.
2. Batas cair dan batas plastis dan I_p yang dihitung.
3. Batas susut.
4. Ekuivalen kelembaban lapangan, kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.
5. Ekuivalen kelembaban sentrifugal, sebuah percobaan untuk mengukur kapasitas tanah dalam menahan air.

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah untuk Jalan Raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Maks 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40							
Batas cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Maks 41
Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6 [§]
Analisa saringan (% lolos)				
No.10				
No.40				
No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos No.4				
Batas cair (LL)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (IP)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Bowles, 1991

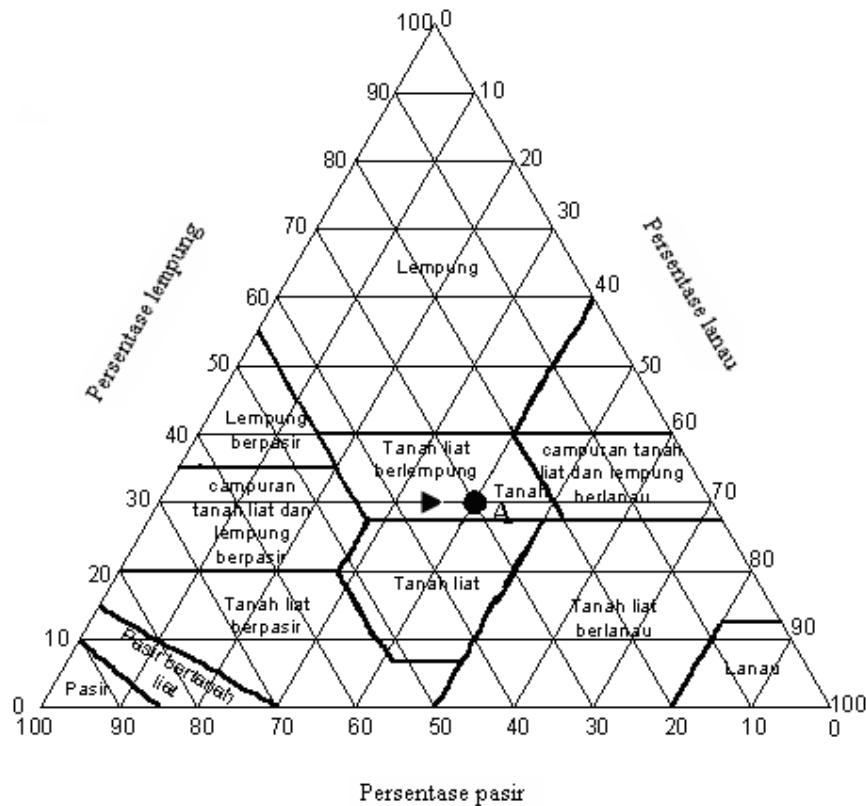
* $PI \leq LL - 30$

[§] $PI > LL - 30$

2.4. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USDA

Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 yaitu :

- Pasir : merupakan butiran dengan diameter 2,0 – 0,05 mm
- Lanau : merupakan butiran dengan diameter 0,05 – 0,002 mm
- Lempung : merupakan butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 2.1 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh USDA

Untuk pemadatan, harus dilakukan dengan sebaiknya karena pemadatan dipengaruhi oleh :

1. Kadar air tanah
2. Jenis tanah
3. Energi pemadatan

2.5. Identifikasi Tanah Lempung

Definisi tanah lempung menurut beberapa ahli :

1. Terzaghi (1987)

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. Di Amerika bagian barat, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin disebut “gumbo”. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

2. DAS (1988)

Merupakan tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.

3. Bowles (1991)

Mendefinisikan tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50 %.

4. 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.

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). Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan ukuran saja, namun belum

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

Jadi, dari segi mineral tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (*non clay soil*) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil (partikel-partikel *quartz, feldspar*, mika dapat berukuran sub mikroskopis tetapi umumnya tidak bersifat plastis). Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid, merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu $< 1 \mu\text{m}$ ($2 \mu\text{m}$ merupakan batas atasnya). Tanah lempung merupakan hasil proses pelapukan mineral batuan induknya, yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida.

2.6. Lempung dan Mineral Penyusunnya

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (Das. Braja M, 1988).

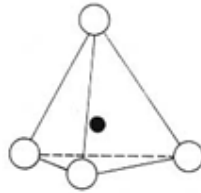
Das. Braja M (1988) menerangkan bahwa tanah lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Tanah lempung sangat keras dalam kondisi kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Namun pada kadar air yang lebih tinggi lempung akan bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak. *Kohesif* menunjukkan kenyataan bahwa partikel-partikel itu melekat satu sama lainnya sedangkan *plastisitas* merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

2.10.1. Struktur Mineral Penyusun Lempung

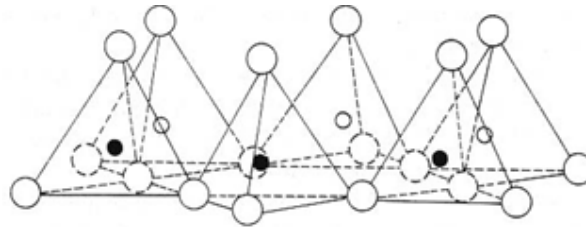
Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa *hydrous aluminium* dan *magnesium silikat* dalam jumlah yang besar. Batas atas ukuran butir untuk lempung umumnya adalah kurang dari $2 \mu\text{m}$

($1\mu\text{m} = 0,000001\text{m}$), meskipun ada klasifikasi yang menyatakan bahwa batas atas lempung adalah $0,005\text{ m}$ (ASTM).

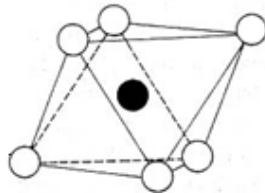
Menurut Das. Braja (1988), satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari silika tetrahedron dan aluminium oktahedron. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2 sampai dengan Gambar 2.5 berikut ini. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan struktur dasar atau tumpuan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.



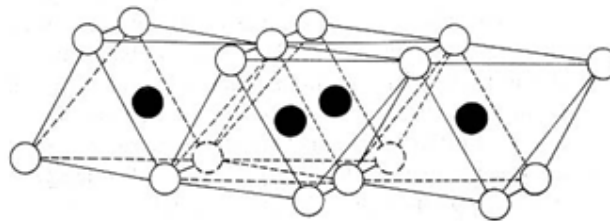
Gambar 2.2 Single silika tetrahedral (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.3 Isometric silika sheet (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.4 Single aluminium oktahedron (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.5 Isometric oktahedral sheet (Das Braja M, 1988)

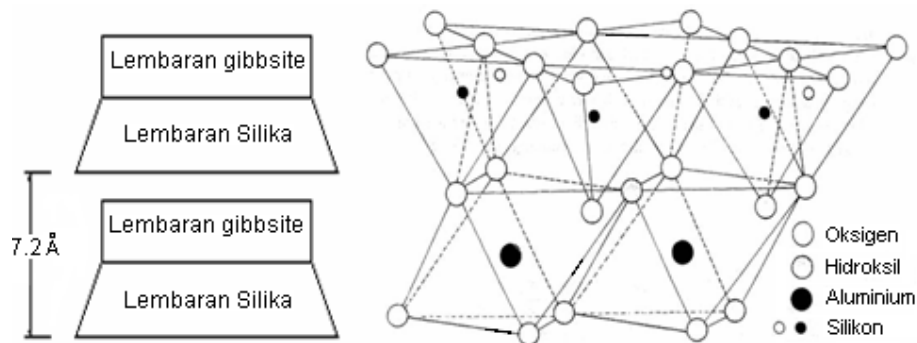
Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi isomorf dan oleh karena pecahnya keping partikel pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar.

Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentinite group*).

2.6.1.a. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan hasil pelapukan sulfat atau air yang mengandung karbonat pada temperatur sedang. Warna *kaolinite* murni umumnya putih, putih kelabu, kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan.

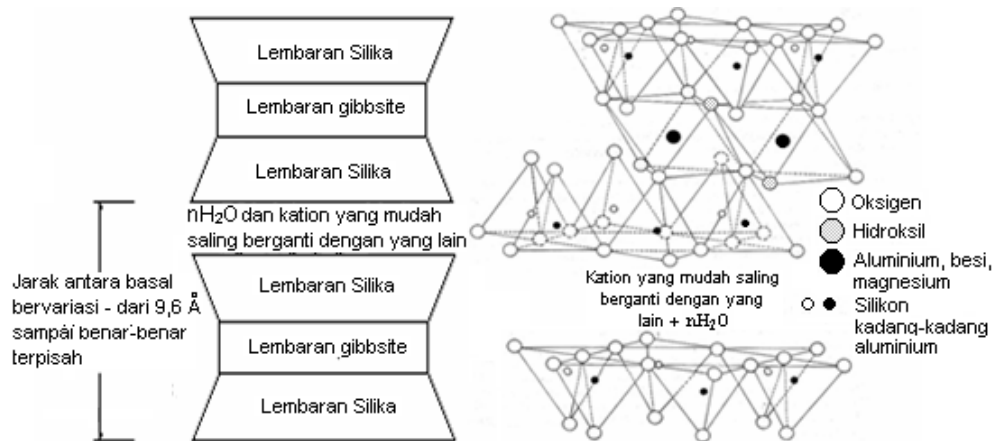
Kaolinite disebut sebagai mineral lempung satu banding satu (1:1). Bagian dasar dari struktur ini adalah lembaran tunggal silika tetrahedral yang digabung dengan satu lembaran alumina oktahedran (*gibbsite*) membentuk satu unit dasar dengan tebal kira-kira $7,2 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. hubungan antar unit dasar ditentukan oleh ikatan hidrogen dan gaya bervalensi sekunder. Mineral *kaolinite* berwujud seperti lempengan-lempengan tipis, masing-masing dengan diameter 1000 \AA sampai 20000 \AA dan ketebalan dari 100 \AA sampai 1000 \AA dengan luasan spesifik per unit massa $\pm 15 \text{ m}^2/\text{gr}$.



Gambar 2.6 Struktur *kaolinite* (Das Braja M, 1988)

2.6.1.b. *Montmorillonite*

Montmorillonite disebut juga mineral dua banding satu (2:1) karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya. Struktur kisinya tersusun atas satu lempeng Al_2O_3 diantara dua lempeng SiO_2 . Karena struktur inilah *Montmorillonite* dapat mengembang dan mengkerut menurut sumbu C dan mempunyai daya adsorpsi air dan kation lebih tinggi. Tebal satuan unit adalah $9,6 \text{ \AA}$ ($0,96 \mu\text{m}$), seperti ditunjukkan Gambar 2.7 dibawah ini sebagaimana dikutip Das. Braja M (1988). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Waals, diantara ujung-ujung atas dari lembaran silika itu sangat lemah, maka lapisan air ($n\text{H}_2\text{O}$) dengan kation yang dapat bertukar dengan mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar satuan susunan kristal mengakibatkan antar lapisan terpisah. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



Gambar 2.7 Struktur montmorillonite (Das Braja M, 1988)

2.6.1.c. *Illite*

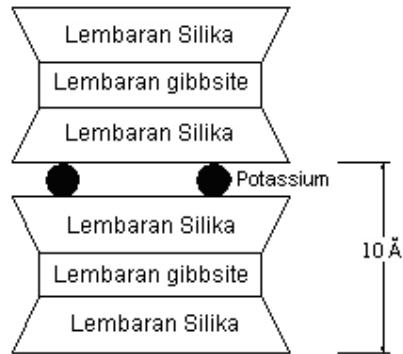
Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula *hidrat-mika*.

Illite memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan montmorillonite. Perbedaannya ada pada :

- Pengikatan antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan, sekaligus sebagai pengikat.

- Terdapat $\pm 20\%$ pergantian silikon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral.
- Struktur mineralnya tidak mengembang sebagaimana *montmorillonite*

Gambar satuan unit *illite* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Struktur illite (Das Braja M, 1988)

Substitusi dari kation-kation yang berbeda pada lembaran oktahedral akan mengakibatkan mineral lempung yang berbeda pula. Apabila ion-ion yang disubstitusikan mempunyai ukuran yang sama disebut *isomorphous*. Bila sebuah anion dari lembaran oktahedral adalah *hydroxyl* dan dua per tiga posisi kation diisi oleh aluminium maka mineral tersebut disebut *gibbsite* dan bila magnesium disubstitusikan kedalam lembaran aluminium dan mengisi seluruh posisi kation, maka mineral tersebut disebut *brucite*.

2.10.2. Sifat Umum Mineral Lempung

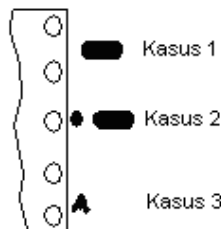
Air sangat mempengaruhi sifat tanah lempung, karena butiran dari tanah lempung sangat halus, sehingga luas permukaan spesifikasinya menjadi lebih besar. Dalam suatu partikel lempung yang ideal, muatan positif dan negatif berada dalam posisi seimbang, selanjutnya terjadi substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, sehingga terjadi muatan negatif pada permukaan partikel kristal lempung. Salah satu cara untuk mengimbangi muatan negatif, partikel tanah lempung menarik muatan positif (kation) dari garam yang ada di dalam air porinya. Hal ini disebut dengan pertukaran ion-ion.

Pertemuan antar molekul air dan partikel lempung akan menimbulkan lekatan yang sangat kuat, sebab air akan tertarik secara elektrik dan air akan

berada disekitar partikel lempung yang disebut air lapisan ganda, yaitu air yang berada pada lapisan air resapan (lihat Gambar 2.9). Lapisan air inilah yang menimbulkan gaya tarik menarik antar partikel lempung yang disebut *unhindered moisture film*.

Molekul bersifat dipolar, yang berarti memiliki muatan positif dan negatif pada ujung yang berlawanan, sehingga dapat tertarik oleh permukaan lempung secara elektrik dalam 3 kasus, yaitu :

1. Tarikan antar permukaan negatif dan partikel lempung dengan ujung positif dipolar.
2. Tarikan antara kation-kation dalam lapisan ganda dengan muatan negatif dari ujung dipolar. Kation-kation ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif.
3. Andil atom-atom hidrogen dalam molekul air, yaitu ikatan hidrogen antara atom oksigen dalam molekul-molekul air



Gambar 2.9 Molekul air dipolar dalam lapisan ganda (Hardiyatmo, 1992)

Jadi jelaslah bahwa semakin luas permukaan spesifik tanah lempung, air yang tertarik secara elektrik disekitar partikel lempung yang disebut air lapisan ganda jumlahnya akan semakin besar. Air lapisan ganda inilah yang menyebabkan sifat plastis pada tanah lempung.

Konsentrasi air resapan dalam mineral lempung memberi bentuk dasar dari susunan tanahnya sebagai berikut, tiap partikelnya terikat satu sama lain lewat lapisan air serapannya. Selain itu jarak antara partikel juga akan mempengaruhi hubungan tarik menarik atau tolak menolak antar partikel tanah lempung yang diakibatkan oleh pengaruh ikatan hidrogen, gaya *Van der Waals* serta macam ikatan kimia dan organiknya. Bertambahnya jarak akan mengurangi gaya antar partikel.

Jadi jelaslah bahwa ikatan antar partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangi muatannya.

Gaya elektrostatik (gaya tarik menarik antar partikel aluminium) yang terjadi pada permukaan lempung (bermuatan negatif) dengan kation-kation yang berada diantaranya, berpengaruh terhadap penyusutan ketebalan lapisan ganda karena jumlah air yang terhidrasi menjadi berkurang.

Hal ini berdasarkan rumusan gaya elektrostatis :

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan ; F : Gaya elektrostatis

q₁ : muatan partikel 1

q₂ : muatan partikel 2

r : jari-jari antara partikel bermuatan

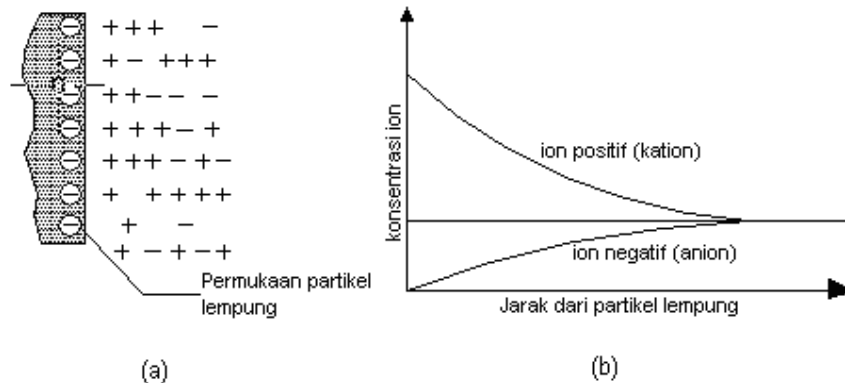
Lempung akan bersifat labil (kembang susutnya besar) bila kation-kation yang berada diantara partikel lempung adalah kation-kation yang lemah, atau dapat dengan mudah digantikan oleh kation-kation yang lain atau tergeser oleh molekul-molekul air yang konsentrasinya tinggi. Kation yang lemah adalah kation-kation yang berasal dari garam-garam mineral yang terdapat di alam (misalnya Na⁺). Sehingga akan dihasilkan gaya elektrostatis yang lemah serta jari-jari antar partikel besar, sehingga akan didapatkan lempung yang mengembang disaat banyak air dan menyusut pada saat air keluar dari lempung dengan perbedaan kembang susut yang besar.

Pada kasus ini kami mencoba menggantikan kation-kation yang terdapat pada tanah lempung dengan kation-kation dari bahan gypsum atau arang.

2.7. Fenomena Tanah Lempung Ekspansif

Permukaan mineral lempung tanah biasanya mengandung muatan elektronegatif yang memungkinkan terjadinya reaksi pertukaran kation. Muatan ini merupakan hasil dari satu atau lebih dari reaksi yang berbeda.

Lempung dalam suspensi dapat menarik kation-kation, ion-ion positif tersebut tidak teragih secara seragam dalam seluruh media dispersi, mereka ditahan pada atau dekat permukaan lempung sebagian kation tersebut bebas untuk dipertukarkan dengan kation lain. Dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan ekuivalen dari ion lawan bermuatan positif dengan kerapatan terbesar dekat permukaan dan semakin berkurang kerapatannya dengan bertambahnya jarak dari permukaan partikel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah. Menurut Das. Braja M. (1988) berpendapat bahwa tingkat kerapatan ion lawan dilapisan kedua merupakan fungsi jarak, semakin jauh jaraknya dari tepi permukaan partikel lempung semakin kecil tingkat kerapatan ion.



Gambar 2.10 Lapisan ganda terdifusi partikel lempung (Das Braja M, 1988)

Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai luasan spesifik yang lebih besar. Pada Tabel 2.3 berikut, rata-rata kerapatan muatan dikedua sisi permukaan partikel diberikan daftar rata-rata kerapatan muatan negatif pada kedua permukaan pada mineral-mineral lempung sebagaimana dikutip Das. Braja M (1988).

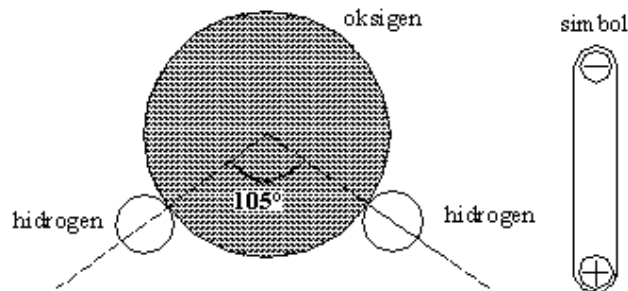
Tabel 2.3 Rata-rata kerapatan muatan di kedua sisi permukaan partikel

Mineral lempung	Kerapatan muatan di kedua sisi permukaan partikel (A^{02} /muatan elektron)
<i>Kaolinite</i>	25
Mika lempung dan <i>Chlorite</i>	50
<i>Montmorillonite</i>	100
<i>Vermiculite</i>	75

Sumber : Das. Braja M, 1988

Muatan negatif pada permukaan partikel lempung beserta kumpulan ion-ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan rangkap listrik atau *diffuse double layer*. Lapisan pertama dari lapisan rangkap tersebut terbentuk dari muatan dari permukaan lempung (berupa muatan titik yang terlokalisasi) tetapi dianggap teragih secara merata pada permukaan lempung. Lapisan kedua berada dalam lapisan cairan yang berdekatan dengan permukaan lempung.

Molekul air merupakan molekul dipolar karena atom hidrogen tidak tersusun simetris disekitar atom oksigen melainkan membentuk sudut ikatan 105° , akibatnya molekul-molekul air berperilaku seperti batang-batang kecil yang mempunyai muatan positif di satu sisi dan muatan negatif disisi lainnya. Sifat dipolar air terlihat pada Gambar 2.11 berikut.

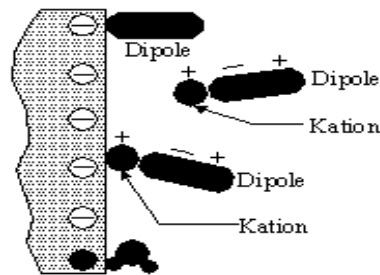


Gambar 2.11 Sifat dipolar molekul air (Das Braja. M, 1988)

Interaksi antara molekul-molekul air dengan partikel lempung dapat melalui tiga proses. Pertama, kutub positif dipolar air akan saling tarik menarik dengan muatan negatif permukaan partikel lempung. Kedua, molekul air diikat

oleh partikel lempung melalui ikatan hidrogen (hidrogen air ditarik oksigen atau hidroksil lain yang ada pada permukaan partikel lempung). Ketiga, penarikan molekul air oleh muatan negatif permukaan lempung secara berantai melalui kation yang menggapung dalam larutan air. Faktor paling dominan adalah proses ikatan hidrogen (proses kedua).

Jumlah molekul air yang berinteraksi dengan permukaan lempung akan sangat dipengaruhi oleh jenis mineral yang ada, yaitu pada nilai luasan permukaan spesifiknya (*specific surface*). Luas permukaan lempung merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya molekul air yang ditarik untuk membentuk lapisan listrik rangkap (*diffuse double layer*). Fenomena ini mengidentifikasi kemampuan mineral lempung menarik molekul air atau menunjukkan kapasitas perilaku plastis tanah lempung seperti terlihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Interaksi molekul air dengan partikel lempung

(Das Braja. M, 1988)

2.8. Bahan – Bahan Pencampur untuk Stabilisasi Tanah Lempung.

Sifat – sifat tanah tidak selalu memenuhi harapan dalam perencanaan suatu konstruksi, maka apabila dijumpai tanah yang bersifat sangat lepas, sangat mudah mampat (Compressible), indeks konsistensi yang tidak baik, permeabilitas yang terlalu tinggi, tekanan pengembangan (swelling) yang besar atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan, maka tanah tersebut harus distabilisasi (diperbaiki) sehingga dapat memenuhi syarat – syarat

– Bottom Ash

Bottom Ash merupakan salah satu bahan kimia yang digunakan untuk pencampuran bahan stabilisasi tanah seperti halnya kapur. Kandungan

limbah batu bara dari penelitian Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Diponegoro dengan metode AAS adalah sebagai berikut :

- Tembaga (Cu).....89,5 (mg/Kg)
- Besi (Fe).....470 (mg/Kg)
- Nikel (Ni).....6.35 (mg/Kg)
- Zink (Zn).....31.65(mg/Kg)

Dengan melihat hasil diatas Bottom Ash banyak mengandung logam (Kation), Hal ini menunjukkan limbah tersebut bermuatan positif (+) yang cenderung mengikat tanah lempung ekspansif yang bermuatan negatif.

2.9. Stabilisasi Tanah

Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan sehingga dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan.

2.9.1. Konsep Umum Stabilisasi Tanah

Stabilisasi Tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung (mutu) tanah yang tidak atau kurang baik. Dapat juga dikatakan bahwa stabilisasi tanah ialah usaha meningkatkan daya dukung (mutu) tanah yang sudah tergolong baik.

Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah itu sendiri adalah meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut :

1. Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat.
2. Perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang, sehingga tercapai gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir, dan kerikil atau pasir saja.

3. Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain : Portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu : mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan. Cara dua adalah memasukkan bahan kimia kedalam tanah (Grouting) sehingga bahan kimia bereaksi dengan tanah.
4. Pembongkaran dan penggantian tanah yang jelek. Pada tanah yang jelek akan mengandung bahan organik sehingga terjadi pembusukan, apabila terkena beban akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan tanah dilakukan dengan mengganti tanah jelek tersebut dengan tanah berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Stabilisasi tanah dapat berupa suatu pekerjaan atau gabungan – gabungan pekerjaan berikut :
 - a. Stabilisasi mekanis, stabilisasi dengan berbagai macam peralatan mekanis.
 - b. Stabilisasi dengan bahan pencampur tambahan / Adictive.
Dalam analisa stabilisasi tanah lempung ini, kami akan melakukan perbaikan tanah lempung dengan campuran atau bahan adictive berupa Bottom Ash dari PT. APAC INTI CORPORA Semarang.

2.9.2. Penelitian Yang Pernah Dilakukan.

Penelitian ini memakai dasar hasil dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan. Dari berbagai penelitian yang menyangkut stabilisasi tanah, telah dilakukan stabilisasi tanah dengan material kapur, Portland Semen, Abu Terbang (Fly Ash), Abu sekam, Semen Merah dan kombinasi beberapa material tersebut. Dari pengamatan sampai sekarang belum ada penelitian tentang stabilisasi tanah dengan Bottom Ash .

Ari Pitoyo (2001) meneliti stabilisasi tanah lempung di Karangawen Demak memakai semen dan kapur tohor dengan variasi campuran 0%, 30%, 35%, 40%,45% dan 50% dari volume kering tanah dengan masa pemeraman 0 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran tanah lempung dengan kapur tohor dengan variasi campuran 35% dan 45% merupakan yang paling optimum untuk stabilisasi tanah lempung. Dari hasil penelitian menunjukkan pada pencampuran tanah lempung dengan kapur tohor (0 hari) dengan variasi campuran seperti di atas diperoleh penurunan Indeks plastisitas, berat isi kering maksimum, dan kohesi sebaliknya terjadi kenaikan kadar air optimum dan sudut geser dalam. Sedangkan pada pencampuran tanah lempung dengan semen (0 hari) dengan variasi campuran tersebut diatas terjadi penurunan Indeks plastisitas nilai berat jenis dan kadar air optimum, namun mengalami kenaikan pada berat isi kering maksimum dan kohesi.

Diana.S.D.P,2000 meneliti stabilisasi tanah lempung dengan kapur tohor dan Abu sekam padi dengan variasi campuran 0%, 5%, 7,5%,10%,12.5%, 15% dari berat kering tanah dengan masa pemeraman 0 hari. Hasil penelitian menunjukkan pada campuran kapur tohor 10% terjadi peningkatan nilai daya dukung (q_u), juga terjadi peningkatan nilai stabilisasi tanah optimum pada campuran kapur tohor sebesar 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan prosentase kapur tohor menyebabkan terjadinya penurunan indeks plastisitas berat isi kering maksimum dan kohesi. Tetapi terjadi kenaikan kadar air optimum dan sudut geser dalam, sedangkan pada pencampuran tanah lempung dengan Asbu Sekam Padi terjadi peningkatan yang tidak signifikan seperti yang diharapkan. Arang atau Karbon yang terdapat dalam Abu Sekam Padi menjadikan silika dalam Abu Sekam Padi tidak dapat bereaksi dengan baik pada tanah lempung atau dengan kata lain Karbon dalam Abu Sekam Padi menjadi penghalang bereaksinya silika dengan partikel penyusun lempung.

Adit (2002) meneliti stabilitas tanah lempung dengan Fly Ash (FA) dan semen (PC) dengan variasi campuran 2%PC+2%FA, 2%PC+4%FA,2%PC+6%FA dari berat kering tanah dengan masa pemeraman 0,3,7 hari. Hasil penelitian menunjukkan pada campuran 2%PC+6%FA terjadi peningkatan nilai Shrinkage Limit (SL) penurunan Indeks Plastis dan Liquid Limit, dan dari pengujian hidrometer tanah campuran tergolong jenis tanah berbutir. Pada variasi campuran yang sama dengan pemeraman 7 hari diperoleh peningkatan nilai optimum q_u dan penurunan tekanan mengembang.

2.10. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif ada tiga cara, yaitu :

- Identifikasi Mineralogi
- Cara tidak langsung (*single index method*)
- Cara langsung

2.10.1. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogi sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara :

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*)
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorption*)
- Penurunan Panas (*Differential Thermal Analysis*)
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*)
- *Elektron Microscope Resolution*

2.10.2. Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas *Atterberg*, *linear shrinkage test* (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid.

2.10.2.a. *Atterberg Limit*

Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal *swelling* pada tanah lempung. Potensi mengembang didefinisikan sebagai persentase mengembang contoh tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASHTO, setelah direndam dengan 1psi. Potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas seperti terlihat dalam Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Hubungan potensial mengembang dengan indeks plastisitas

Potensi mengembang	Indeks plastisitas
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat tinggi	35 <

Sumber : Chen, 1975

2.10.2.b. Linear Shrinkage

Acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linier dan persentase batas susut Atterberg, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Klasifikasi potensi mengembang didasarkan pada batas Atterberg limit

Batas susut Atterberg (%)	Susut linier (%)	Derajat mengembang
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 – 8	Tidak kritis

Sumber : Chen, 1975

2.10.2.c. Free Swell

Uji *Free Swell* yaitu memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur yang diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

Perbedaan tinggi air atau volume awal pengamatan dengan akhir pengamatan menunjukkan perubahan volume material tanah. Persentase *Free Swelling* adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

2.10.2.d. Colloid Content

Colloid Content merupakan salah satu indikator mengembang tanah lempung ekspansif. Hubungan potensial mengembang dengan kandungan koloid yang ada pada mineral lempung seperti yang terlihat pada Gambar 2.13 mengenai hubungan potensial mengembang dengan kadar lempung.

Grafik hubungan potensial mengembang dan persentase kandungan koloid dibuat hubungan dalam bentuk analisa sebagai berikut :

$$S = k C^x \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan ; S = Potensial mengembang

C = persentase butiran lempung (<0.002mm)

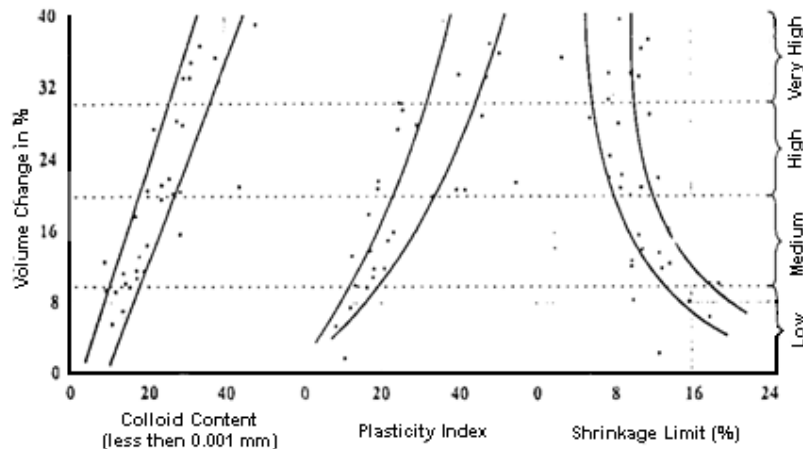
x = Eksponensial yang tergantung dari jenis lempung

k = Konstanta atau koefisien yang menunjukkan jenis lempung

Gambar 2.13 dibawah ini merupakan hubungan antara persentase mengembang dengan persentase butiran lempung pada sejumlah tanah lempung yang diambil pada kondisi kepadatan kering maksimum standar AASHTO dan dibawah tekanan 1psi.

2.10.2.e. Metode Klasifikasi

Metode USBR berdasarkan pada penelitian terhadap sejumlah nilai indeks tanah secara simultan (lihat Gambar 2.14).



Gambar 2.13 Hubungan persentase mengembang

dengan kandungan koloid, PI dan batas susut (Chen, 1975)

Dari kurva di atas kriteria identifikasi sebagaimana terlampir dalam Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Kriteria identifikasi tanah lempung ekspansif USBR

Colloid content (<0,001mm) (%)	Indeks plastisitas (%)	Batas susut (%)	Persentase pengembangan (%)	Derajat pengembangan
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat tinggi
20 – 13	25 – 41	7 – 11	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

Sumber : Chen, 1975

2.10.2.f. Activity Method

Parameter menurut Skemton 1953 yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut :

$$Activity (A) = \frac{PI}{C - 10} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan ; PI = Indeks Plastisitas

C = persentase lempung lolos saringan 0.002 mm

Dari rumus tersebut kategori tanah terbagi dalam tiga golongan, yaitu :

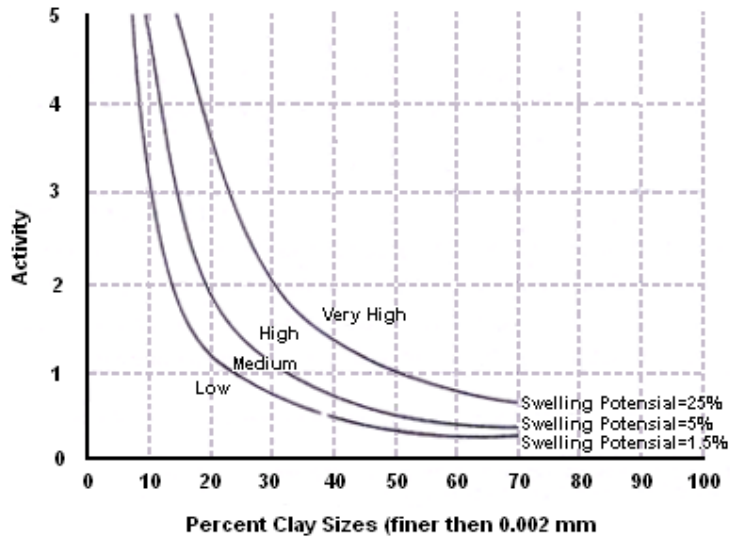
- A < 0,75 (tidak aktif)
- 0,75 < A < 1,25 (normal)
- A > 1,25 (aktif)

Besaran aktifitas menurut Seed (1962) berdasarkan jenis mineral, seperti yang terlihat dalam Tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2.7 Hubungan aktifitas dengan mineral

Mineral	Aktifitas
<i>Kaolinite</i>	0,33 – 0,46
<i>Illite</i>	0,99
<i>Montmorillonite</i> (Ca)	1,5
<i>Montmorillonite</i> (Na)	7,2

Sumber : Seed, 1962



Gambar 2.14 Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed, 1962)

Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.15 di atas, grafik hubungan nilai aktifitas dan persentase butir tanah lempung yang lolos saringan 0,002mm yang diperoleh dari hasil pengamatan sejumlah tanah lempung *remolded* yang berbeda-beda, yaitu : *Bentonite*, *Illite*, *Kaolinit* dan pasir halus. Dimana contoh tanah-tanah tersebut dipadatkan 100% pada kadar air optimumnya dan menerima beban 1 psi. rumus dalam bentuk analitis sebagai berikut :

$$Activity (A) = \frac{PI}{C - n} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan ; PI = Indeks Platisitas

C = Persentase lempung yang lolos saringan 0,002 mm
n = berharga 5 atau 10 (tanah asli = 5; remolded = 10)

2.10.3. Cara Langsung

Metode pengukuran terbaik adalah dengan pengukuran langsung, yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan *Oedometer Terzaghi*. Contoh tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

Adapun cara pengukuran tekanan pengembangan ada dua cara yang umum digunakan. Cara pertama yaitu pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai persentase mengembang tertinggi, kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ke tebal semula. Cara kedua yaitu contoh tanah direndam dalam air dengan mempertahankan volume atau mencegah terjadinya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini sering juga disebut *constan volume method*.

2.11. Teori Pemadatan Tanah

Pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan salah satu cara mekanis atau suatu proses berkurangnya volume tanah akibat adanya energi mekanis, pengaruh kadar air dan gradasi butiran.

Cara mekanis yang dipakai untuk memadatkan tanah boleh bermacam-macam. Dilapangan biasanya dengan cara menggilas, sedangkan di laboratorium dengan cara memukul. Untuk setiap daya pemadatan tertentu kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air didalam tanah tersebut yaitu kadar airnya. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Air dalam pori tanah berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) tanah, sehingga butiran tanah tersebut lebih mudah bergerak atau bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih padat atau rapat.

Pada pembuatan timbunan tanah untuk jalan raya, DAM tanah dan banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas (renggang) haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah. Sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan, atau dengan kata lain maksud dari pemadatan adalah :

- Mempertinggi kuat geser tanah
- Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
- Mengurangi permeabilitas
- Mengurangi perubahan volume sebagai akibat penurunan kadar air dll.

Dalam suatu usaha pemadatan, berat volume kering tanah akan meningkat seiring dengan kenaikan kadar air tanah, tetapi pada kadar air tanah tertentu penambahan air justru cenderung menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian akan menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel tanah. Kadar air yang memberikan nilai berat volume kering maksimal (MDD) disebut kadar air optimal (OMC).

Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapat dengan adanya pemadatan ini adalah :

- Berkurangnya penurunan permukaan tanah, yaitu gerakan vertikal di dalam, massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya air pori
- Bertambahnya penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dan nilai patokan pada saat pengeringan
- Bertambahnya kekuatan tanah

Untuk pengujian pemadatan tanah di laboratorium dilakukan dengan test Proctor. Dalam hal ini Proctor mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu :

- Usaha pemadatan atau energi pemadatan
- Jenis tanah
- Kadar air
- Berat isi kering (γ_d)

Usaha pemadatan dan energi pemadatan (*compact effort and energy*) adalah tolak ukur energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di lapangan usaha pemadatan ini dihubungkan dengan jumlah gilasan dari mesin gilias, jumlah jatuhan dari benda-benda yang dijatuhkan dan hal-hal yang serupa untuk suatu volume tanah tertentu. Energi pemadatan jarang merupakan bagian dari spesifikasi untuk pekerjaan tanah, karena sangat sukar untuk diukur. Malah yang sering diisyaratkan adalah jenis peralatan yang digunakan, jumlah gilasan, atau yang paling sering adalah hasil akhir berupa berat isi kering.

Apabila diketahui berat tanah basah di dalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah dapat langsung dihitung sebagai berikut :

$$\gamma_{\text{basah}} = \frac{\text{berat basah di dalam cetakan}}{\text{volume cetakan}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Perhitungan kadar air diperoleh dari tanah yang dipadatkan dan berat isi kering dapat dihitung sebagai berikut :

$$\gamma_{\text{kering}} = \frac{\gamma_{\text{basah}}}{1 + w} \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada percobaan pemadatan tanah di laboratorium untuk penelitian ini yang dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum adalah percobaan pemadatan standar (*standard compaction test*).

2.11.1 Percobaan Pemadatan Standart

Pada uji pemadatan standar ini tanah dipadatkan dalam suatu cetakan silinder dengan diameter 101,6 mm dan volume 943,3 cm³. cetakan di klem pada sebuah plat dasar dan di atasnya diberi perpanjangan.

Untuk memperoleh suatu nilai MDD dan OMC biasanya dilakukan enam kali percobaan pemadatan dengan kadar air yang berbeda-beda. Setiap pemadatan dilakukan dengan menggunakan penumbuk khusus. Berat penumbuk adalah 2,5 kg dan tinggi jatuh 304,8 mm. pemadatan dilakukan dalam tiga lapisan yang sama dan setiap lapisan dilakukan 25 X pukulan. Pada uji pemadatan ini tanah yang diuji adalah tanah yang lolos saringan 20 mm.

2.12.2 Batas Cair

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (yaitu batas atas atau daerah plastis) atau menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dapat mengalir dibawah beratnya. Cara menentukannya adalah dengan menggunakan alat Cassagrande. Tanah yang telah dicampur dengan air ditaruh di dalam mangkuk Cassagrande dan di dalamnya dibuat alur dengan menggunakan alat spatel (*grooving tool*). Bentuk alur sebelum dan sesudah percobaan tampak berbeda. Engkol dibuka sehingga mangkuk dinaikkan dan dijatuhkan pada dasar dan banyaknya pukulan dihitung sampai kedua tepi alur tersebut berhimpit. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar air berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik ini dapat dibaca kadar air pada pukulan tertentu.

2.12.3 Batas Plastis

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi). Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada plat kaca hingga diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inchi. Bilamana tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inchi, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.

2.12.4 Batas Susut

Batas susut menunjukkan kadar air atau batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering tidak akan menyusut lagi, meskipun dikeringkan terus atau batas dimana sesudah kehilangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah. Percobaan batas susut (*shrinkage limit*) ini bertujuan untuk mengetahui batas menyusut tanah.

$$SL = M - \left\{ \frac{(v - v_0) \gamma_w}{W_0} \right\} 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan ; SL: Batas susut

- M : Kadar air (%)
- v : Isi tanah basah (cm³)
- v_o : Isi tanah kering (cm³)
- w_o : Berat tanah kering (gram)
- γ_w : Berat isi air (gram/cm³)

2.12.5 Indeks Plastisitas

Selisih antara batas cair dan batas plastis ialah daerah dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis (*plasticity index*).

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan ; PI : Indeks Plastisitas

LL : Batas cair

PL : Batas plastis

2.13. Kuat Geser Tanah

2.13.1 Parameter Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Seperti material teknik lainnya, tanah mengalami penyusutan volume jika menderita tekanan merata disekelilingnya. Apabila menerima tegangan geser, tanah akan mengalami distorsi dan apabila distorsi yang terjadi cukup besar, maka partikel-partikelnya akan terpeleset satu sama lain dan tanah akan dikatakan gagal dalam geser. Dalam hampir semua jenis tanah daya dukungnya terhadap tegangan tarik sangat kecil atau bahkan tidak mampu sama sekali.

Tanah tidak berkohesi, kekuatan gesernya hanya terletak pada gesekan antara butir tanah saja (c = 0), sedangkan pada tanah berkohesi dalam kondisi jenuh, maka $\sigma = 0$ dan $S = c$.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth preassure*) dan kestabilan lereng (*slope stability*).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar seperti ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan pematatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada gesernya
- Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya

Oleh karena itu kekuatan geser tanah dapat diukur dengan rumus :

$$\tau = c + (\sigma - u)\tan \varphi \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan ; τ : Kekuatan geser tanah

σ : Tegangan normal total

u : Tegangan air pori

c : Kohesi tanah efektif

φ : Sudut perlawanan geser efektif

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

- Pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
- Pengujian triaksial (*Triaxial test*)
- Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)
- Pengujian baling-baling (*Vane shear test*)

Namun dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*). Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat tekan, kuat geser dan sensitivitas.

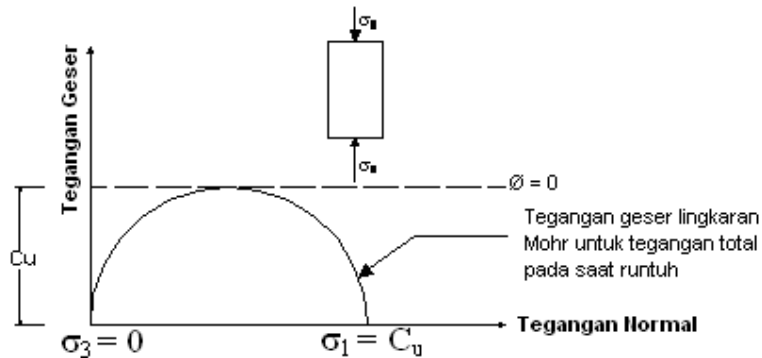
2.13.2 Uji Tekan Bebas

Pengujian uji tekan bebas (*Unconfined compression test*) ini adalah bentuk khusus dari uji UU yang umum dilakukan terhadap sampel tanah lempung untuk mengetahui sensitifitas tanah. Pada uji ini, tegangan penyekap σ_3 adalah nol. Tegangan aksial dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat mencapai keruntuhan. Pada titik keruntuhan, harga tegangan total utama kecil (*total minor principal stress*) adalah nol dan tegangan utama besar adalah σ_1 seperti terlihat

pada Gambar 2.17 dibawah ini. Karena kekuatan geser kondisi air termampatkan dari tanah tidak tergantung pada tegangan penyekap, maka :

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u \dots\dots\dots(2.10)$$

- Keterangan ; τ_f : Kekuatan geser
 σ_1 : Tegangan utama
 q_u : Kekuatan tanah kondisi tak tersekat
 c_u : Kohesi



Gambar 2.16 Keruntuhan geser kondisi air termampatkan (Das Braja M, 1988)

q_u di atas sebagai kekuatan tanah kondisi tak tersekat. Pada Tabel 2.8 berikut diberi perkiraan harga-harga konsistensi tanah lempung.

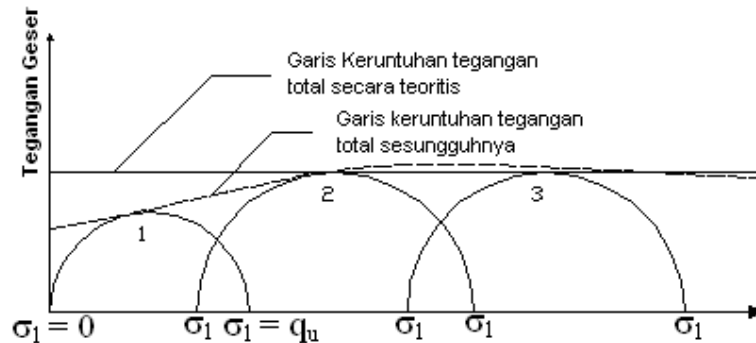
Tabel 2.8 Harga konsistensi tanah berdasarkan harga kekuatan tanah

Konsistensi	q_u	
	(ton/ft ²)	(kN/m ²)
Sangat lunak	0 - 0,25	0 – 23,94
Lunak	0,25 - 0,5	24 – 48
Menengah	0,5 - 1,48	48,1 – 96
Kaku	1,00 - 2,96	96,1 – 192
Sangat kaku	2,00 - 4,192	192,1 – 383
Keras	> 4	> 383

Sumber : Das Braja M, 1988

Secara teoritis, untuk tanah lempung jenuh air yang sama uji tekanan tak tersekat mampu dalam kondisi air termampatkan tak terkendali (*Unconsolidated-undrained*) akan menghasilkan harga C_u yang sama. Tetapi pada kenyataannya pengujian *Unconfined compression* pada tanah lempung jenuh air biasanya

menghasilkan harga C_u yang lebih kecil dari harga yang didapat dalam pengujian *Unconsolidated-undrained*. Ini dapat dilihat pada Gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.17 Perbandingan hasil uji tekanan tak tersekat unconfined-compression dan unconsolidated-drained dari tanah lempung jenuh air (Das Braja M, 1988)

2.14. Kembang Susut Tanah (*Swelling*)

Kembang susut tanah didefinisikan sebagai peristiwa pengembangan (*swell*) karena meresapnya air ke pori-pori tanah menggantikan udara akibat penambahan beban.

Rangkaian pengujian kembang susut tanah ini menggunakan satu set alat *consolidometer*. Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui seberapa besar persentase mengembang dan tekanan (*pressure*) apabila tanah dibebani.

2.14.1 Pengujian Persentase Mengembang

Pemeriksaan ini untuk menentukan nilai *swell* atau kembang susut akibat beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang meresap ke pori-pori mengisi rongga-rongga udara sehingga terjadi perubahan isi dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal yang bekerja pada tanah tersebut.

Tanah lempung yang banyak mengandung mineral *montmorillonite* berpotensi untuk mengembang dan umumnya diuji dengan metode ini.

2.14.2 Pengujian Tekanan Mengembang

Pengujian tekanan mengembang merupakan lanjutan dari uji persentase mengembang setelah pengembangan maksimum. Selanjutnya diberi tekanan bertahap hingga kembali ke angka pori awal (e_0). Pembacaan dial dilakukan pada

setiap masing-masing beban setelah pembebanan berlangsung selama 24 jam. Besar beban-beban tersebut adalah minimal kelipatan dari beban *overburden*.

Ada beberapa pilihan metode pengamatan menurut ASTM-D-4546-90, yaitu metode A, metode B, metode C yang berkaitan dengan pengujian tekanan mengembang. Namun yang digunakan dalam penelitian ini adalah ASTM-D-4546-90 metode B. Hal ini dikarenakan metode B didesain sedemikian hingga dapat digunakan untuk menghindari perubahan volume dan tekanan yang terjadi di lapangan. Berikut penjelasan mengenai 3 metode tersebut :

- **METODE A (ASTM-D-4546-90)**

Contoh tanah yang sudah siap dicetak dalam *consolidometer ring* diberi tekanan awal sebesar tegangan vertikal awal rata – rata selama 5 menit. Kemudian dilakukan pembacaan deformasi selama 5 menit dan tegangan vertikal dihilangkan, kecuali pengaturan tekanan. Catat deformasi yang terjadi selama 5 menit setelah tegangan vertikal dikurangi. Contoh tanah tersebut diberi air dan dilakukan pencatatan Dial hingga batas swell maksimum dengan interval waktu sesuai standart pembacaan.

- **METODE B (ASTM-D-4546-90)**

Metode ini sering disebut *loaded swell test*. Contoh tanah yang sudah siap dicetak dalam *consolidometer ring* diameter 6,20 cm dan tinggi 2,54 cm diberi tekanan minimal sebesar 1 kPa, kemudian dilakukan setting awal selama 5 menit sebelum dibasahi dan dilakukan pembacaan *dial*. Contoh tanah diberi air hingga mengembang dan dilakukan pencatatan *dial* hingga mencapai batas *swell maximum* dengan interval waktu sesuai dengan standar pembacaan. Setelah mencapai batas *swell maximum*, ditetapkan sebagai persentase mengembang maksimum yang terjadi. Langkah berikutnya contoh tanah diberi beban tambahan berturut-turut minimal sebesar kelipatan *overburden*, dan sampai seterusnya hingga melewati kondisi air pori awal. Untuk masing-masing kondisi dipakai massa beban 24 jam.

- **METODE C (ASTM-D-4546-90)**

Contoh tanah yang sudah siap diberi tegangan awal sebesar tekanan vertikal selama 5 menit dan segera beri contoh tanah dengan air. Variasi dari pembacaan deformasi pada saat contoh diberi air antara 0,005 mm hingga 0,01 mm. Grafik penentuan tekanan mengembang Metode A, B, dan C dapat dilihat pada gambar 2.18.

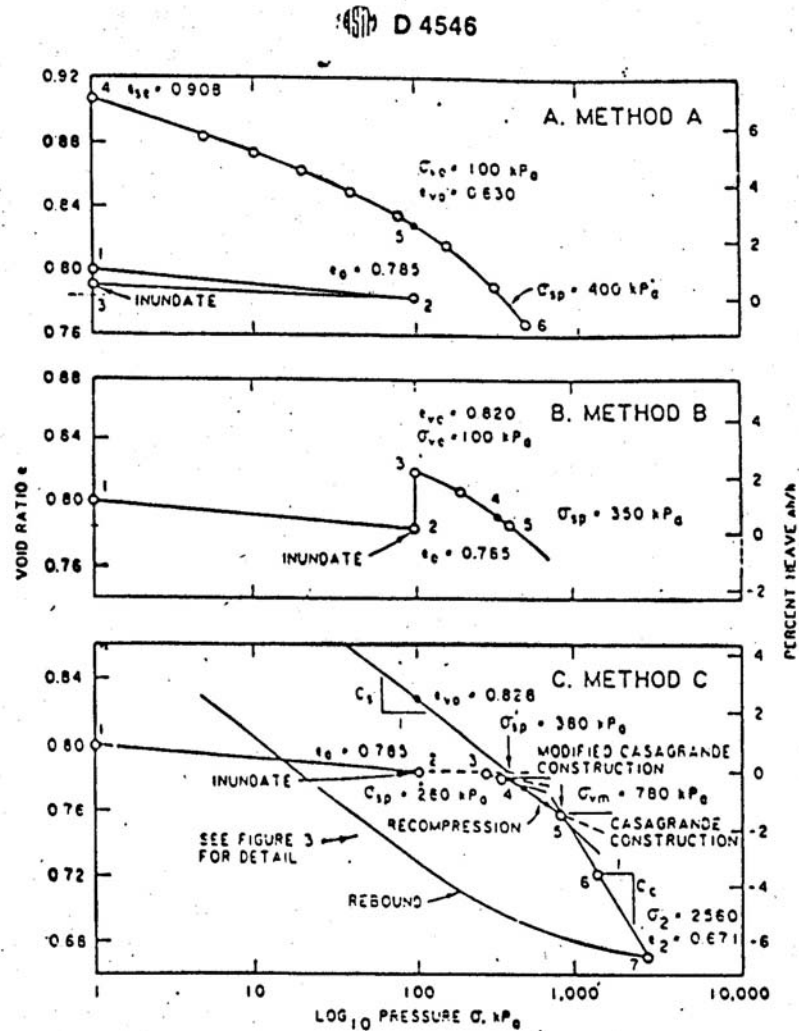


FIG. 2 Void Ratio - Log Pressure Curves

Gambar 2.18 Grafik penentuan tekanan mengembang
(ASTM-D2435-96)