

INDEX PROPERTIES

(SIFAT – SIFAT INDEKS TANAH)

Oleh : Ir. Idrus M.Sc

KURSUS SINGKAT

PENGUJIAN TANAH DAN INTERPRETASINYA :

MASALAH DAN DAMPAKNYA TERHADAP DESAIN
SERTA CARA MENGATASINYA

6 – 8 JUNI 1995

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN

- 1.1. Sifat alamiah tanah
- 1.2. Analisis ukuran partikel
- 1.3. Hubungan antar fase tanah
- 1.4. Batas-batas Atterberg
- 1.5. Klasifikasi tanah

II. INTERPRETASI HASIL PENGUJIAN INDEX PROPERTIES DI LABORATORIUM

III. KORELASI INDEX PROPERTIES TANAH DENGAN PARAMETER TANAH

LAINNYA

- 3.1. Kepadatan Tanah
- 3.2. Standard Penetration Test
- 3.3. Permeabilitas tanah
- 3.4. Konsolidasi tanah
- 3.5. Kuat geser tanah
- 3.6. California Bearing Ratio
- 3.7. Karakteristik Penyusutan dan Pengembangan

IV. PENUTUP

REFERENSI

SOIL PROPERTIES

Oleh : Idrus

I. PENDAHULUAN.

1.1. Sifat Alamiah Tanah.

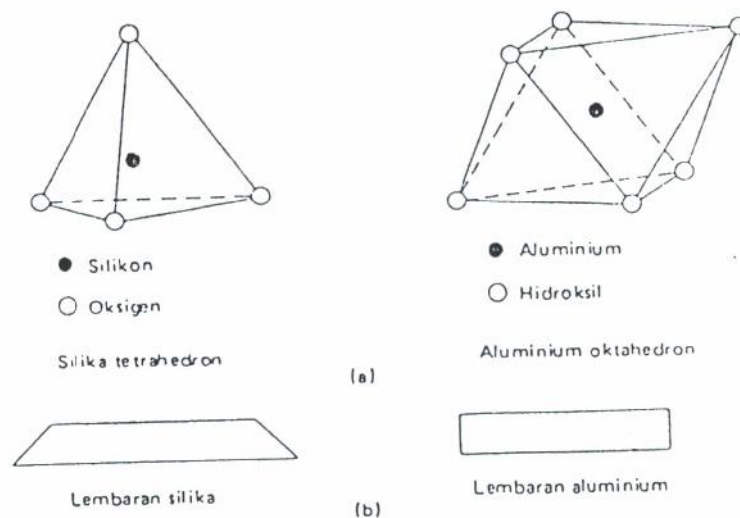
Tanah yang merupakan akumulasi dari pada partikel mineral yang lemah ikatan antarpartikelnya terbentuk karena pelapukan dari batuan. Fase tanah yang terdiri dari partikel tanah padat yang diantaranya terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori. Pada ruang pori ini dapat berisi air dan udara. Ikatan yang lemah pada partikel-partikel tanah disebabkan oleh karbonat atau oksida yang tersenyawa diantara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut tetap pada tempat semula, maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa (residual soil) , jika pelapukan terangkut ketempat lain dan mengendap di beberapa tempat berlainan maka disebut tanah bawaan (transportation soil).

Proses pelapukan kimia menghasilkan kelompok-kelompok partikel kristal berukuran koloid (< 0.002 mm) yang dikenal sebagai mineral lempung. Sebagai contoh mineral Kaolinit terbentuk akibat pecahan feldspar akibat pengaruh air dan karbondioksida (CO_2). Hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbandingan antara luas permukaan dengan massa) yang tinggi. Akibatnya sifat-sifat partikel ini sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan (soil structure).

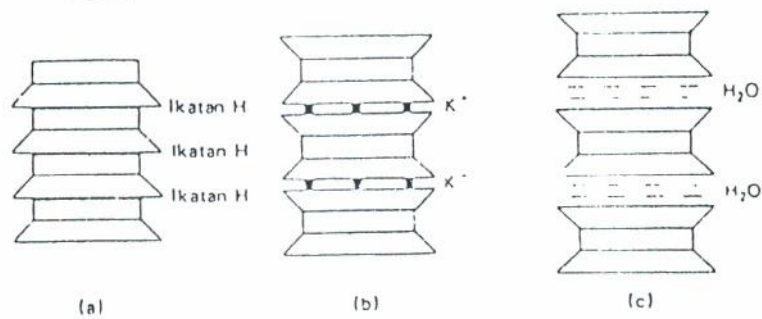
Satuan struktural dasar dari struktural mineral lempung terdiri dari silika tetrahedron dan alumina oktahedron (gambar 1.1). Silikon dan aluminium mungkin juga diganti sebagian oleh unsur lain, yang disebut substitusi isimorfis.

Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari kombinasi susunan satuan lembaran dasar, dan yang membedakan jenis-jenis mineral diatas adalah kombinasi tumpukan lembaran dan macam ikatan antara masing-masing lembaran. Struktur-struktur utama mineral lempung dapat dilihat pada gambar 1.2.

Kaolinit adalah salah satu struktur utama mineral lempung. Bagian dasar struktur ini adalah lembaran tunggal silika tetrahedron yang digabung dengan alumina oktahedron. Substitusi isomorfis praktis tidak terjadi dalam struktur ini. Kombinasi alumina diperkuat oleh hidrogen sebagai perekat. Sebuah partikel kaolinit dapat mencapai lebih dari seratus tingkat. Illite mempunyai struktur dasar sebuah lembaran alumina oktahedron yang diapit oleh dua lembaran silika tetrahedron. Pada bagian oktahedral terjadi substitusi sebagian aluminium oleh magnesium dan besi, sedang pada bagian tertetrahedral terjadi substitusi sebagian silikon oleh aluminium. Kombinasi lembaran-lembaran tersebut diatas berikatan satu sama lain dengan perekat yang berkekuatan rendah akibat pengaruh ion potasium yang terdapat diantara mereka. Montmorilonit mempunyai struktur dasar yang sama seperti mineral illite, tetapi pada bagian oktahedral hanya magnesium yang menggantikan sebagian aluminium. Ruangan diantara kombinasi-kombinasi lembaran diatas diisi oleh molekul air dan kation-kation selain potasium. Kekuatan ikatan antara kombinasi-kombinasi lembaran ini sangat lemah, Kombinasi-kombinasi lembaran tersebut dapat menyerap air, sehingga pada mineral montmorilonit dapat terjadi pemuaian (swelling) yang cukup besar bila penyerapan air terjadi.



Gambar 1.1 : Mineral-mineral lempung : satuan-satuan dasar.



Gambar 1.2. Mineral lempung (a) Kaolinit, (b) Illite (c) Montmorilonit

1.2 Analisis Ukuran Partikel

Sebagaimana telah diketahui bahwa ukuran dari partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Dilihat dari ukuran diameternya tanah dapat disebut sebagai krikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk dapat menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, maka beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*). Pada tabel 1.1 dapat dilihat batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh (Massachussetts Institute of technology (MIT), U.S Department of Agriculture (USDA), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan U.S Bureau of Reclamation yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai Unified Classification System (USCS). Pada tabel tersebut dibawah ini sistem USCS telah diterima hampir diseluruh dunia. Sistem ini sekarang telah dipakai pula oleh American Society of Testing and Material (ASTM).

Krikil (gravel) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar dan mineral-mineral lain.

Pasir (sand) sebagian besar terdiri dari mineral-mineral quartz dan feldspar. Butiran dari mineral yang lain mungkin saja masih ada pada golongan ini.

Lanau (silt) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika.

Lempung (clay) sebagian besar terdiri dari partikel-partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas hanya dengan mikroskopis saja) yang berbentuk lempengan lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya.

Tabel 1.1 Batasan-batasan ukuran golongan tanah.

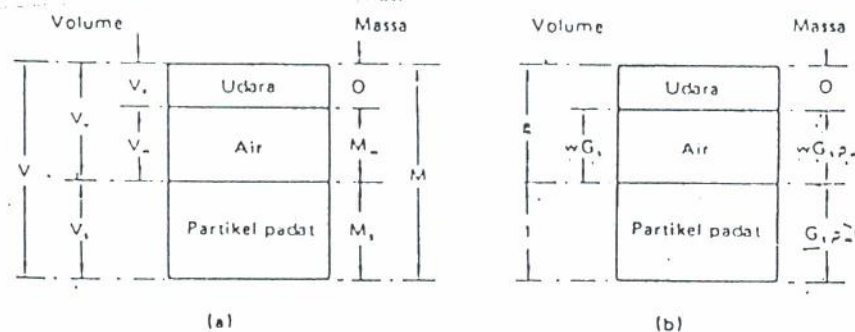
Nama golongan	Kerikil	Ukuran butiran (mm)			Lempung
		Pasir	Lanau		
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002		<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0,05	0,05 - 0,002		<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002		<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075		Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075.	

Pada tabel 1.1 lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (2μ). Namun demikian diberapka kasus partikel berukuran antara 0.002 mm sampai dengan 0.005 mm masih juga digolongkan sebagai partikel lempung (ASTM D-653). Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya dilihat dari ukuran partikelnya saja. Belum tentu tanah dengan ukuran sebagai partikel lempung mengandung mineral-mineral lempung (clay minerals). Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung (dan mineral lempung) adalah yang memiliki partikel mineral-mineral tertentu "yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air " (Grim, 1953). 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 dan mika dapat berukuran submikroskopis, tetapi umumnya mereka tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah). Dari segi ukuran, partikel-partikel tersebut memang dapat digolongkan sebagai partikel lempung. Untuk itu, akan lebih tepat bila partikel-partikel tanah yang berukuran $< 2 \mu$ atau $< 5 \mu$ menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut sebagai lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($< 1 \mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas dari ukuran partikel mineral lempung.

1.3 Definisi Dasar dan Hubungan Antar Fase Tanah.

Komposisi tanah dapat terdiri dari 2 (dua) atau 3 (tiga) fase yang berbeda. Jika pada kondisi kering sempurna, maka terdiri dari 2 fase yaitu partikel padat dan udara pengisi pori (udara pori). Sedangkan tanah yang jenuh sempurna juga terdiri dari 2 (dua) fase, yaitu partikel padat dan air pori. Sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari 3 fase, yaitu partikel padat, udara pori dan air pori. Komponen hubungan antar fase dapat dilihat pada gambar 1.3 berikut :



Gambar 1.3 : Diagram fase

Kadar air (w) adalah perbandingan antara massa air dengan massa tanah, yaitu :

$$w = M_w/M_s$$

Penentuan kadar air dilakukan di laboratorium dengan menimbang contoh tanah kedalam oven dengan temperatur $105^{\circ} - 110^{\circ} \text{ C}$ dan

ditimbang kembali. Pengeringan harus dilakukan terus sampai tercapai selisih antara dua penimbangan berturut-turut tidak lebih 0.1 % massa mula-mula dengan interval penimbangan 4 jam. Kebanyakan tanah cukup dikeringkan dalam oven selama 24 jam.

Derajat Kejenuhan (S_r), adalah perbandingan antara volume air dan volume total pori, yaitu :

$$D_r = (V_w / V_v) \times 100\%.$$

$S_r = 100\%$ untuk tanah jenuh sempurna.

Angka Pori (e) adalah perbandingan antara volume pori dan partikel padat, yaitu :

$$e = V_v / V_s$$

Porositas (n) adalah perbandingan antara volume pori dan volume tanah, yaitu :

$$n = V_v / V$$

Hubungan antara angka pori dan porositas sebagai berikut :

$$e = n / (1 - n)$$

$$n = e / (1 + e)$$

Volume Spesifik (V) adalah volume total tanah yang mengandung satuan volume partikel padat, yaitu :

$$V = 1 + e$$

Kandungan Udara (A) adalah perbandingan antara volume udara dan volume total tanah :

$$A = V_a / V$$

Kerapatan butiran / Berat isi tanah (γ) adalah perbandingan antara massa total dengan volume total.

$$\gamma = M / V$$

Berat Jenis dari partikel padat (Specific Gravity, G_s) adalah perbandingan antara berat partikel padat dengan volume partikel padat dan berat isi air.

$$G_s = M_s / V_s \cdot \gamma_w$$

Berdasarkan definisi angka pori, bila partikel padat adalah 1 satuan, maka volume pori adalah e satuan. Masa partikel padat menjadi $G_s \cdot \gamma_w$ dan, dari definisi kadar air, massa air adalah $w \cdot G_s \cdot \gamma_w$. Volume air menjadi $w \cdot G_s$.

$$S_r = w \cdot G_s / e$$

untuk tanah jenuh sempurna $S_r = 100 \%$ maka $e = w.G_s..$
 Kandungan udara dapat dinyatakan dengan :

$$A = \frac{e}{1+e} \frac{w.G_s}{e}$$

$$A = n (1 - S_r)$$

Berat isi tanah dapat pula ditulis sebagai :

$$\gamma = \frac{G_s}{1+e} \left(\frac{1}{1+e} + w \right) \gamma_w \text{ atau } \gamma = \frac{G_s}{1+e} + \frac{S_r \cdot e}{1+e} \gamma_w$$

Untuk tanah yang jenuh sempurna : (dimana $S_r = 100 \%$)

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w$$

Untuk tanah kering sempurna : (dimana $S_r = 0 \%$)

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w$$

Bilai tanah dilapangan pada kondisi jenuh sempurna, maka partikel tanah padat akan mendapatkan tekanan keatas, sehingga menghasilkan berat isi tanah efektif (γ')

dimana $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$

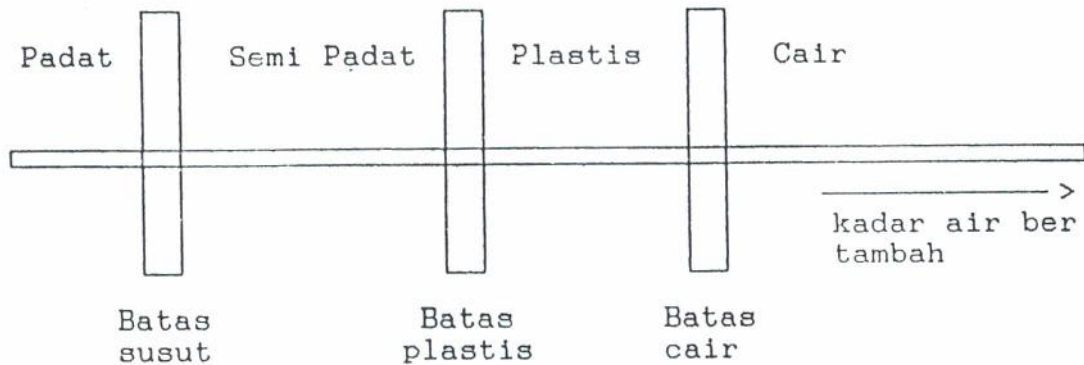
$$\gamma' = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w - \gamma_w$$

$$\frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e} - \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w$$

1.4. Batas-batas Atterberg.

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif isi disebabkan oleh karena adanya air yang terserap disekeliling permukaan dari partikel lempung. Pada awal tahun 1900 an seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg menjelaskan pengaruh dari variasi kadar air terhadap konsistensi tanah berbutir halus. Bilamana kandungan air sangat tinggi, maka campuran tanah dan air akan menjadi

sangat lembek seperti cairan. Oleh sebab itu atas dasar kandungan air pada tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.4.



Gambar 1.4 : Batas-batas Atterberg.

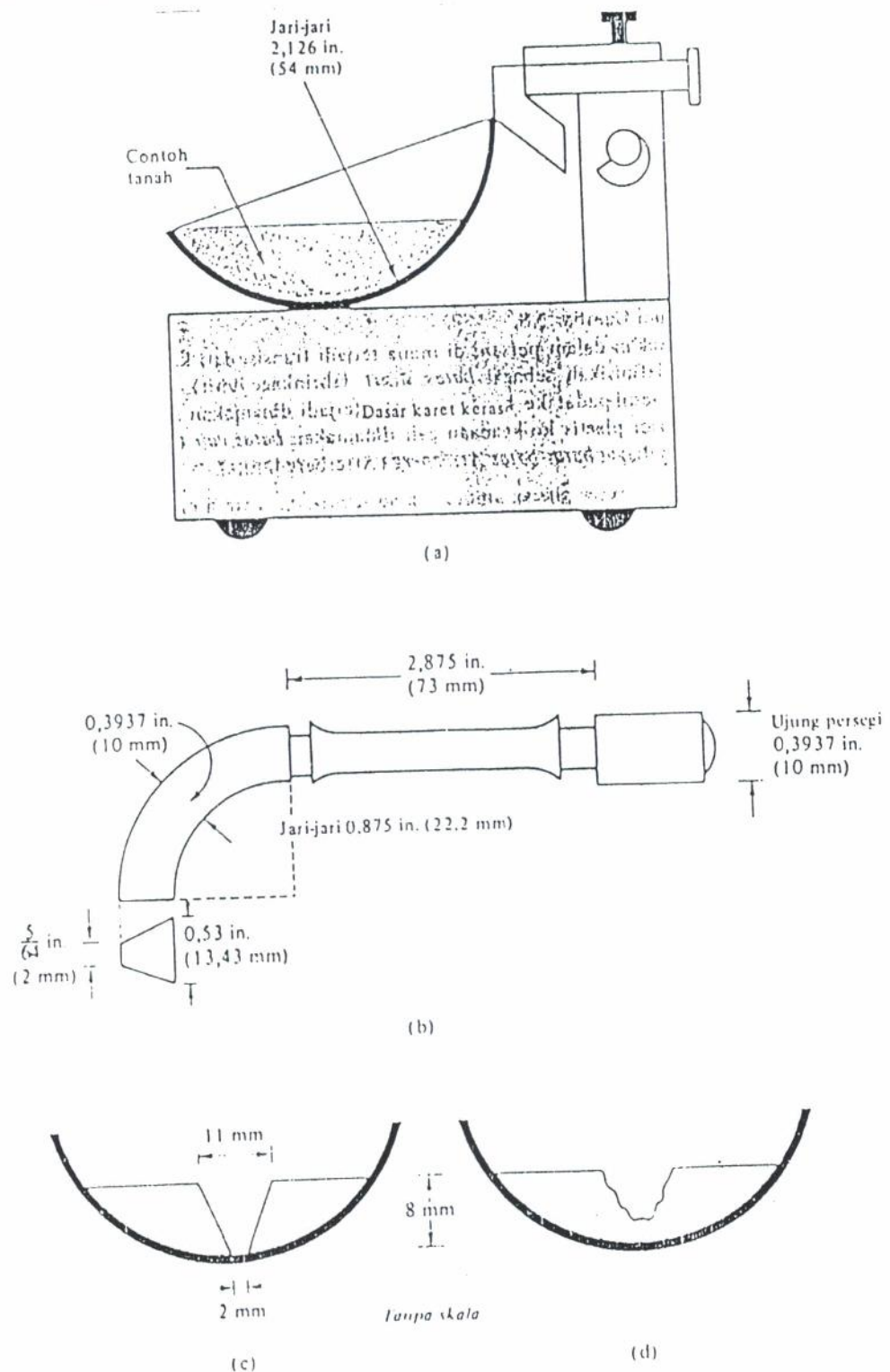
Kadar air dinyatakan dalam prosen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi padat didefinisikan sebagai batas susut (shrinkage limits). Kadar air dimana transisi dari keadaan semi padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (Plastic limits), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (liquid limits). Batas-batas ini dikenal juga sebagai BATAS-BATAS ATTERBERG.

1.4.1. Batas Cair (Liquid Limits)

Batas cair ditentukan dengan menggunakan alat mangkuk kuningan yang dapat diangkat dan dijatuhkan diatas dasar karet keras dengan sebuah pengungkit eksentris yang dijalankan oleh suatu alat pemutar. Pasta tanah diletakkan diatas mangkok kuningan kemudian digores tepat ditengahnya dengan menggunakan alat gores standar. Dengan menjalankan alat pemutar, mangkok kemudian dinaik-turunkan dari ketinggian 10 mm. Kadar air dinyatakan dalam prosen dari tanah yang dibutuhkan untuk menutup goresan yang berjarak 12.7 mm (0.5") sepanjang dasar contoh tanah didalam mangkok. Kadar air yang menyebabkan jarak goresan diatas dan yang berjumlah 25 pukulan itulah yang disebut batas cair.

Alat Uji batas cair dapat dilihat pada gambar 1.5, sedangkan

hasil hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan (N) dapat dilihat pada gambar 1.6.



Gambar 1.5 : Uji batas cair (a) alat untuk uji batas cair (b) alat pengores (c) contoh tanah sebelum diuji (d) contoh setelah diuji.

Hubungan antara kadar air dan log N dapat dianggap sebagai garis lurus. Garis lurus tersebut dinamakan sebagai "kurva aliran" (flow curve). Kadar air yang bersesuaian dengan $N = 25$ yang ditentukan dari kurva aliran adalah merupakan batas cair dari tanah yang bersangkutan. Kemiringan garis aliran (flow line) didefinisikan sebagai "indeks aliran" (flow index).

$$If = (W_1 - W_2) / (\log\{N_2/N_1\})$$

US Waterways Experiment Station, vickburg, Mississippi (1949) mengajukan suatu rumusan empiris untuk menentukan batas cai, yaitu :

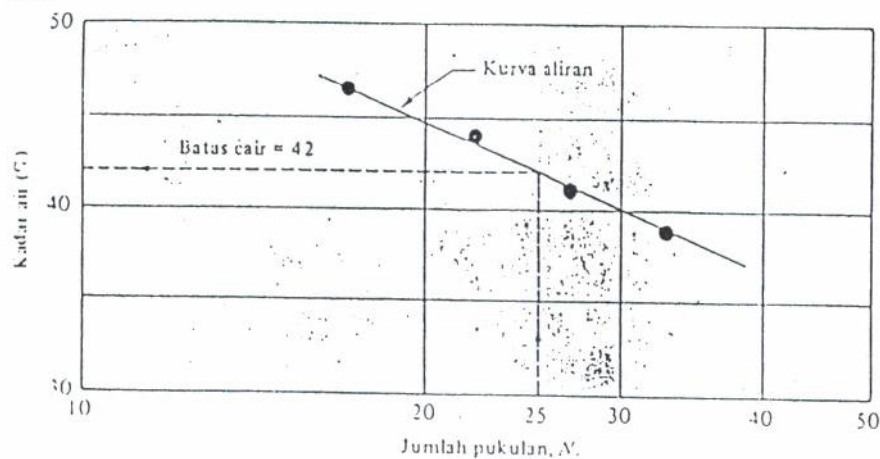
$$LL = W_n \left\{ \frac{N}{25} \right\}^{\tan \beta}$$

dimana : N = jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menutup goresan selebar 0.5 " .

W_n = kadar air dimana untuk menutup dasar goresan dari contoh tanah dibutuhkan pukulan sebanyak N.

$\tan \beta = 0.121$ (harap dicatat bahwa tidak semua tanah mempunyai harga $\tan \beta = 0.121$).

Persamaan diatas akan menghasilkan hasil yang lebih baik bila jumlah pukulan antara 20 s/d 30 . Uji laboratorium yang dilakukan secara rutin persamaan tersebut dapat dipergunakan untuk menentukan batas cair bila mana dilakukan hanya satu pengujian untuk tiap-tiap tanah. Cara ini dikenal sebagai "metode satu titik (one poit methode)". Metode ini telah dimasukan dalam standar ASTM nomor D-423.



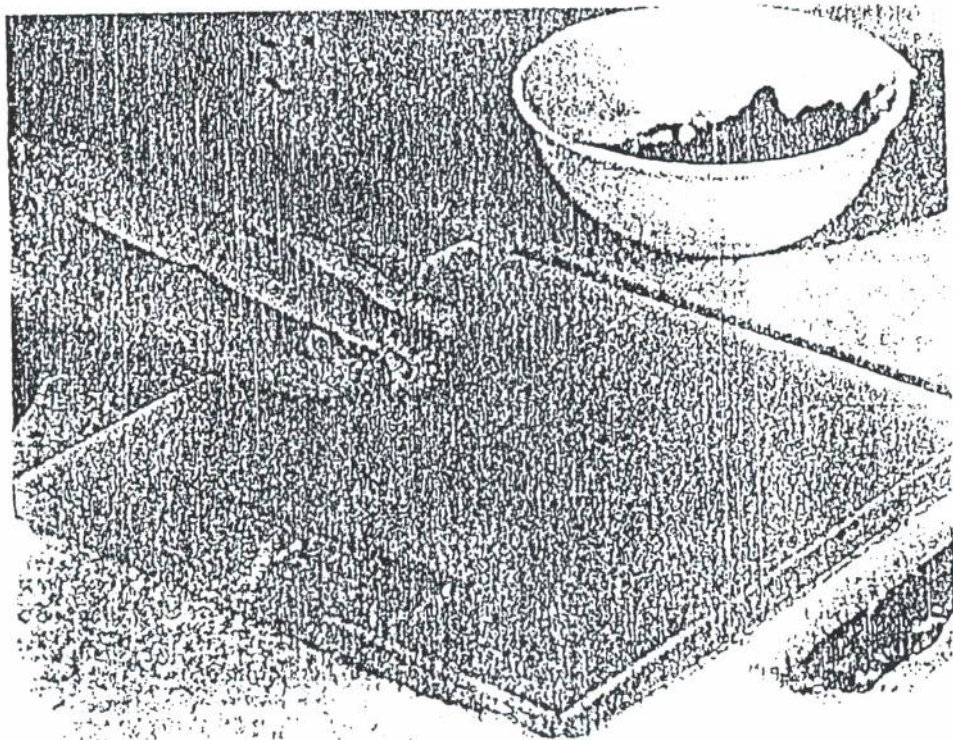
Gambar 1.6 : Kurva aliran untuk menentukan batas cair

1.4.2 . Batas Plastis.

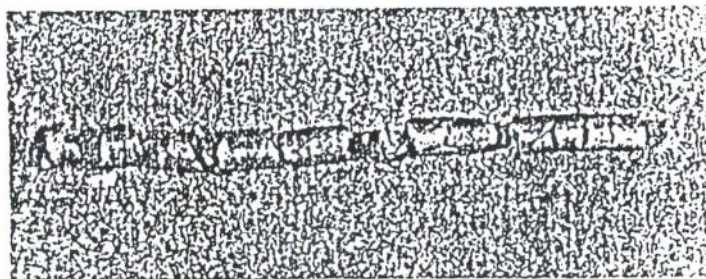
Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam prosen, dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 " menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Cara pengujian adalah sangat sederhana, yaitu dengan cara menggulung suatu massa tanah berukuran ellipsoida dengan telapak tangan diatas kaca datar.

Indeks Platisitas (Plasticity Index) = PI adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis tanah, yaitu :

$$PI = LL - PL$$



(a)



(b)

Gambar 1.7 : Uji batas plastis

Kadar air (W_n) suatu tanah relatif terhadap indeks plastisitas dan batas plastis dapat diwakili oleh Indeks Kecaian (Liquidity Index), dimana :

$$IL = \frac{W_n - PL}{PI}$$

1.4.3 Batas Susut

Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandung secara perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan terjadinya perubahan volume tanah lagi. Kadar air, dinyatakan dalam proses, dimana perubahan volume suatu massa tanah berhenti didefinisikan sebagai "Batas Susut" (SL).

Seperti digambarkan pada gambar 1.8, batas susut dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$SL = W_i (\%) - \Delta W (\%)$$

dimana : W_i = kadar air tanah mula-mula pada saat ditempatkan didalam mangkok uji batas susut.

ΔW = perubahan kadar air (yaitu pada keadaan kadar air mula-mula dan kadar air pada batas susut.

sedangkan :

$$W_i (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

dimana :

m_1 = massa tanah basah dalam mangkok pada saat permulaan pengujian (grm)

m_2 = massa tanah kering (grm). lihat gambar 1.9

selain itu :

$$\Delta W (\%) = \frac{(V_i - V_f) \gamma_w}{m_2} \times 100$$

dimana :

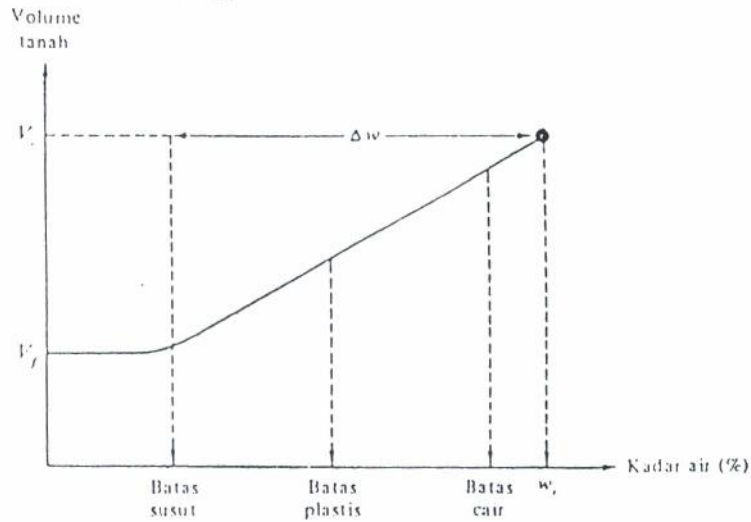
V_i = volume contoh tanah basah pada saat permulaan pengujian (yaitu volume mangkok cm^3)

V_f = volume tanah kering sesudah dikeringkan didalam oven.

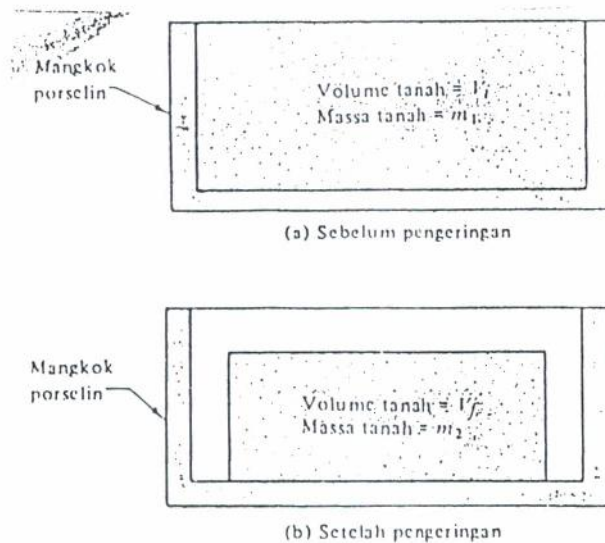
γ_w = kerapatan air (g/cm^3)

Dengan demikian :

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) (100) - \left(\frac{(V_i - V_f) \gamma_w}{m_2} \right) (100)$$



Gambar 1.8 : Definisi Batas Susut



Gambar 1.9 : Uji Batas Susut

1.5. Klasifikasi Tanah.

Klasifikasi tanah adalah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok - subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa

penjelasan yang rinci. Sebagian besar klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas.

Pada saat ini telah banyak dikenal sistem klasifikasi tanah yang lazim digunakan untuk keperluan rekayasa, antara lain :

- . Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur oleh USDA
- . Sistem klasifikasi dari AASHTO
- . Sistem klasifikasi Unified Classification System (UCS)
- . Sistem Klasifikasi Tanah Inggris.
- . dll.

1.5.1. Sistem Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh USDA (United State of Department of Agriculture)

Sistem ini berdasarkan susunan / komposisi dari gradasi butiran kasar (pasir) dan halus (lanau dan lempung), sehingga hasilnya sangat dipengaruhi oleh gradasi butiran yang diperoleh dari analisa ayakan dan hydrometer test.

Definisi ukuran pasir adalah antara 0.05 mm s/d 2.0 mm, lanau antara 0.005 mm s/d 0.05 mm, sedangkan lempung berukuran lebih kecil dari 0.002 mm.

Gambar 1.10 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departement Pertanian Amerika (USDA).

1.5.2 Sistem Klasifikasi ASSHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem ini telah beberapa kali mengalami perbaikan.

Sistem klasifikasi ASSHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam tabel 1.2. Pada sistem ini tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tersebut lolos ayakan No: 200. Tanah dimana lebih dari 35% lolos ayakan No: 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4 ,

A-5 , A-6 dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 sebagian besar adalah lanau dan lempung.

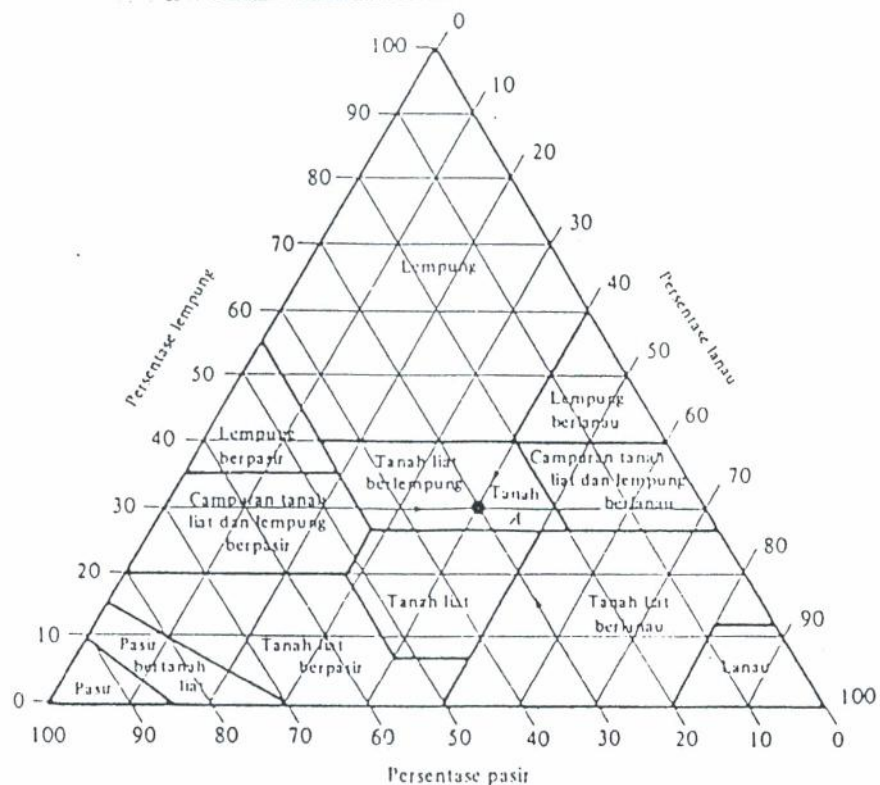
Kriteria ukuran butiran dalam sistem ini adalah sebagai berikut :

Kerikil 2.00 mm s/d 75.00 mm

Pasir 0.075 mm s/d 2.00 mm

Lanau dan lempung lolos ayakan No: 200 (< 0.075 mm)

Sedangkan istilah berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai IP < 10 . istilah berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai IP > 11 . Apabila terdapat batuan yang lebih besar dari 75 mm , maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi prosentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.



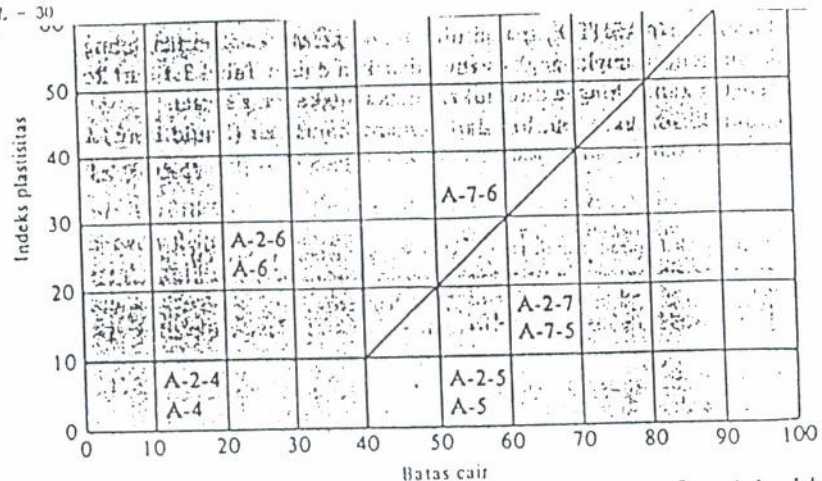
Gambar 1.10 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur oleh USDA

Tabel 1.2 : Klasifikasi tanah dari ASSHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos)							
No. 10	Maks 50	Maks 50	Min 51				
No. 40	Maks 30	Maks 30					
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 (<i>LL</i>)			NP	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (<i>PI</i>)		Maks 6		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)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Analisis ayakan (% lolos)				
No. 10	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
No. 40				
No. 200				
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40				
Batas cair (LL)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Batas sampai jelek			

* Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$
† Untuk A-7-6, $PI > L$



Gambar 1.11. Rentang batas cair dan inkeks plastisitas untuk tanah dalam kelompok A-2,A-4,A-5,A-6 dan A-7.

1.5.3. Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Sistem ini pertama kali dikenalkan oleh Casagrande 1942 dan pada saat ini sistem ini telah digunakan secara luas oleh para ahli geoteknik. Sistem klasifikasi Unified diberikan dalam tabel 1.3, sistem ini mengelompokkan tanah kedalam 2 (dua) kelompok besar, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

Tanah berbutir kasar didefinisikan yang lolos ayakan No:200 kurang dari 50% dari berat total. Simbil dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G (gravel) atau S (sand).

Tanah berbutir halus dimanana yang lolos ayakan No:200 lebih besar dari 50% dari berat total. Simbol dari kelompok ini dimulai oleh huruf M (lanau) , C (lempung) dan O (lanau / lempung organik. Simbul PT digunakan untuk tanah gambut (peat) dengan kadar organik tinggi.

Simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi cara USCS ini adalah :

W = well graded (tanah bergradasi baik)

P = poorly graded (tanah bergradasi buruk)

L = low plasticity (plastisitas rendah , $LL < 50$)

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

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

- Prosentase butiran yang lolos No: 200 adalah fraksi halus.
- Prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan No:40
- Koefisien keseragaman C_u dan koefisien gradasi C_c untuk tanah dimana tanah lolos ayakan No:200 antara 0 - 12 %.
- Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos No:40 (tanah Lolos No: 200 > 5%)

Bilamana prosentase butiran yang lolos ayakan No:200 adalah antara 5% - 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan.

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dengan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagian plastisitas (Casagrande , 1948) yang diberikan pada tabel 1.3.

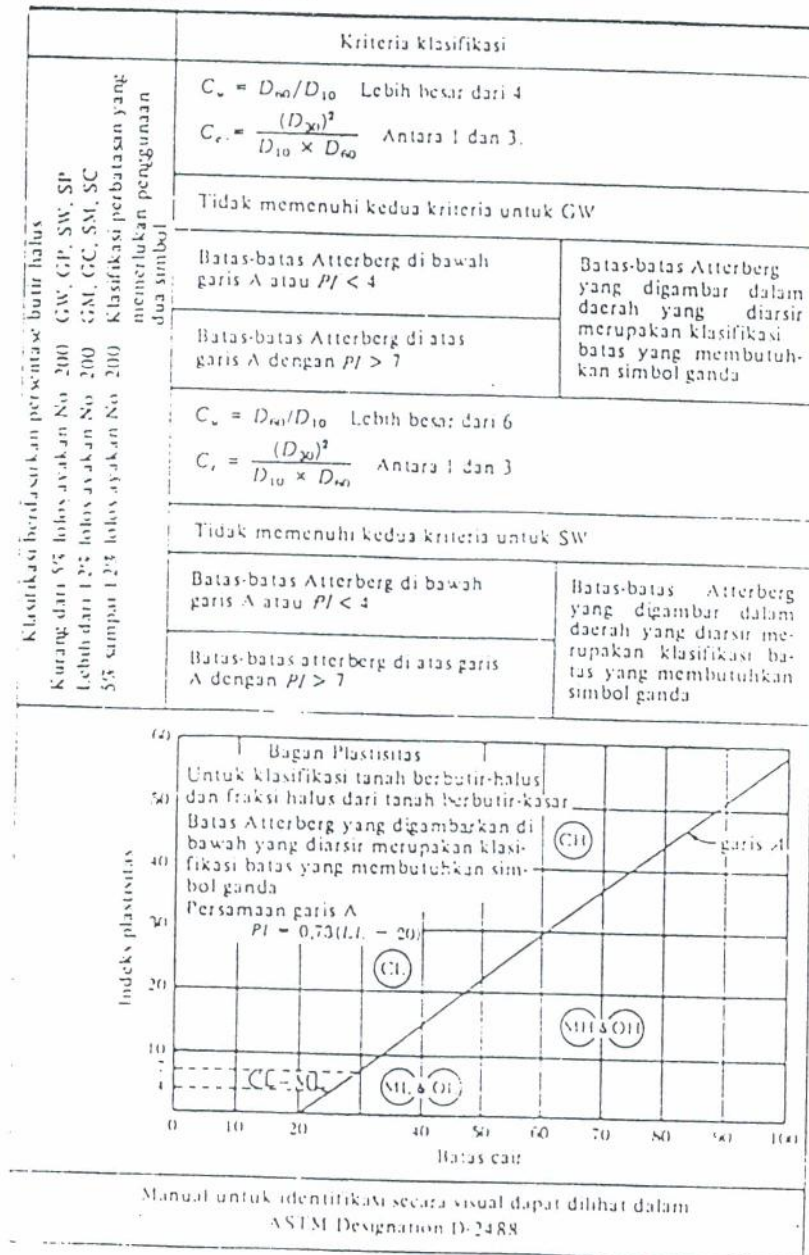
Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A, dengan persamaan :

$$PI = 0.73 (LL - 20)$$

Tabel 1.3 : Sistem klasifikasi Unified

Divisi utama			Simbol kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200†	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
			OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis
			CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Lanjutan ...



1.5.4. Sistem Klasifikasi Tanah Inggris

Sistem klasifikasi tanah inggris ditunjukkan secara rinci pada tabel 1.4. Grafik plastisitas gambar 1.12 juga harus dijadikan referensi. Kelompok tanah dalam klasifikasi ditandai dengan simbol kelompok yang terdiri dari huruf-huruf pertama dan deskripsi kualitas yang artinya dapat dilihat pada tabel 1.5.

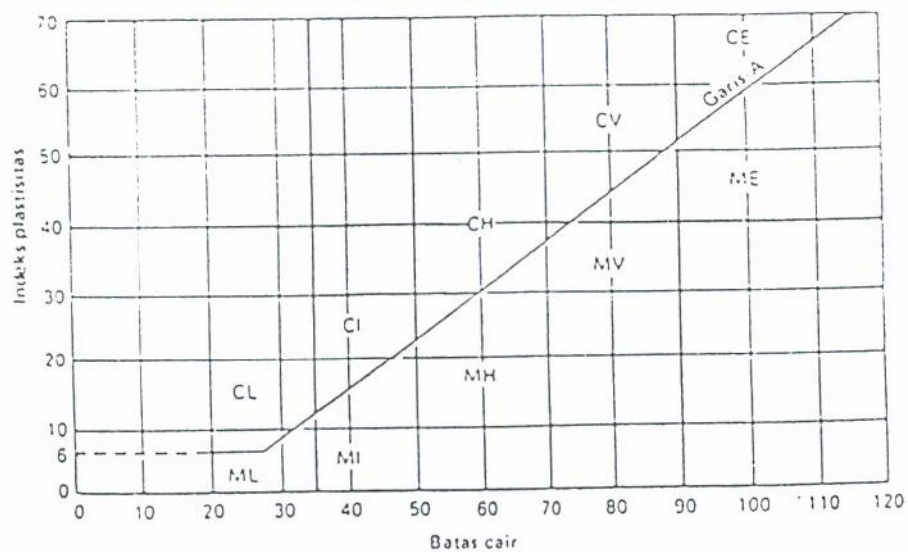
Tabel 1.4 : Sistem Klasifikasi Tanah Inggris

Kelompok tanah			Pembagian dari identifikasi laboratorium			
KERIKIL dan PASIR yang mungkin berubah menjadi KERIKIL berpasir dan PASIR berkerikil, yang ditentukan secara tepat			Simbol kelompok	Simbol sub-kelompok	Butiran halus (% kurang dari 0,06 mm)	Batas cair
TANAH BERBUTIR-KASAR kurang dari 35% materialnya lebih halus dari 0,06 mm.	KERIKIL Lebih dari 50% material berbutir kasarnya berukuran kerikil (lebih kasar dari 2 mm)	KERIKIL sedikit berlanau atau KERIKIL sedikit berlempung	GW G GP	GW GPu GPg	0 sampai 5	
		KERIKIL berlanau	G-M G-F	GWM GPM	5 sampai 15	
		KERIKIL berlempung	G-C	GWC GPC		
		KERIKIL sangat berlanau	GM GF	GML, dan lain-lain	15 sampai 35	
		KERIKIL sangat berlempung	GC	GCL GCL GCH GCV GCE		
	PASIR Lebih dari 50% material berbutir kasarnya berukuran pasir (lebih halus dari 2 mm)	PASIR sedikit berlanau atau PASIR sedikit berlempung	SW S SP	SW SPu SPg	0 sampai 5	
		PASIR berlanau	S-M S-F	SWM SPM	5 sampai 15	
		PASIR berlempung	S-C	SWC SPL		
		PASIR sangat berlanau	SM SF	SML, dan lain-lain	15 sampai 35	
		PASIR sangat berlempung	SC	SCL SCL SCH SCV SCE		
TANAH BERBUTIR-HALUS lebih dari 35% materialnya lebih halus dari 0,06 mm.	LANAU dan LEMPUNG berkerikil atau berpasir butiran halus 35% sampai 65%	LANAU berkerikil LEMPUNG berkerikil	MG FG CG	MLG, dan lain-lain CLG CIG CIIG CVG CEG		< 35 35 sampai 50 50 sampai 70 70 sampai 90 > 90
		LANAU berpasir LEMPUNG berpasir	MS FS CS	MLS, dan lain-lain CLS, dan lain-lain		
	LANAU dan LEMPUNG dengan butiran halus 65% sampai 100%	LANAU (TANAH-M) LEMPUNG	M F C	ML, dan lain-lain CL CI CII CV CE		< 35 35 sampai 50 50 sampai 70 70 sampai 90 > 90
TANAH ORGANIK		Huruf deskriptif akhir 'O' pada setiap simbol kelompok atau sub-kelompok				
GAMBUS		Pt				

Tabel 1.5 : Kualitas dalam klasifikasi tanah Inggris

Tabel 1.5 craig hal 15

Isilah utama	Kualifikasi		
KERIKIL	G	Bergradasi baik	W
PASIR	S	Bergradasi buruk	P
		Seragam	Pu
		Bergradasi-timpang	Pg
TANAH HALUS, BUTIRAN HALUS	F	Plastisitas rendah ($LL < 35$)	L
LANAU (TANAH M)	M	Plastisitas sedang ($LL 35-50$)	I
LEMPUNG	C	Plastisitas tinggi ($LL 50-70$)	H
		Plastisitas sangat tinggi ($LL 70-90$)	V
		Plastisitas sangat ekstrim ($LL > 90$)	E
		Rentang plastisitas atas ($LL > 35$)	U
		Organik (sebagai tambahan)	O
GAMBUT	Pt		



Gambar 1.12 Garfik Plastisitas Sistem Inggris

II. INTERPRETASI HASIL PENGUJIAN INDEX PROPERTIES DI LABORATORIUM

Didalam melakukan perencanaan pondasi maupun perencanaan pekerjaan geoteknik lainnya, seperti galian basement, dinding penahan tanah dan lain-lainnya, maka pekerjaan penyelidikan tanah sangat penting sekali dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah untuk keperluan desain tersebut.

Penyelidikan tanah biasanya dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Penyelidikan tanah di laboratorium pada dasarnya bertujuan mendapatkan sifat-sifat tanah (soil properties) berupa sifat-sifat indeks tanah (index properties), sifat kompresibilitas tanah dan sifat kekuatan tanah. Untuk melakukan pengujian sifat-sifat tersebut biasanya dilakukan pada contoh tanah tidak terganggu yang diperoleh dari tabung contoh tanah dari hasil pekerjaan bor di lapangan. Pengujian sifat-sifat indeks tanah (index properties) dilakukan juga pada contoh tanah tidak terganggu, terutama untuk mendapatkan parameter angka pori (e), porositas (n), berat isi tanah (γ). Sedangkan parameter-parameter sifat-sifat indeks tanah lainnya dapat pula dilakukan pada contoh tanah terganggu.

Hasil sifat-sifat indeks tanah (index properties) yang diperoleh dari penyelidikan tanah di laboratorium antara satu parameter dengan parameter lainnya haruslah memiliki kesesuaian. Apalagi semua parameter-parameter yang diuji mewakili dari suatu contoh tanah yang sama. Sifat kesesuaian dari hasil parameter ini dapat dilihat dari hasil dua parameter, misalnya hasil uji gradasi butiran tanah dengan hasil plastisitasnya.

Hubungan antara gradasi ukuran butiran tanah dengan plastisitas antara lain adalah bahwa dengan semakin dominannya gradasi yang berbutir kasar pada suatu komposisi butiran tanah maka semakin kecilnya batas cair. Atau sebaliknya, jika semakin banyak partikel berbutir halus, maka semakin besar batas cair, batas plastisnya.

Dari hasil uji konsistensi (Atterberg limit) suatu tanah berbutir halus diperoleh Batas cair dan Indeks Plastisitasnya yang selanjutnya dapat digolongkan klasifikasi tanahnya berdasarkan sistem Unified. Apakah hasil golongan diawali dengan C untuk lempung (dalam (CH atau CL), maupun diawali dengan M atau O untuk lanau (MH&OH atau ML&OL) dapat dilihat dengan membandingkan hasilnya dengan grafik gradasi butiran tanah dari percobaan analisa ayakan dan hidrometer.

Sebagai contoh bila dari hasil uji analisa ayakan dan hidrometer dikatakan bahwa tanah terdiri dari pasir 70% lanau 20% dan lempung 10%, sedangkan dari contoh yang sama dalam suatu laporan penyelidikan tanah disampaikan bahwa tanah tersebut termasuk CH (lempung dengan plastisitas tinggi), maka dapat kita simpulkan bahwa hasil penyelidikan tanah dari kedua pengujian tersebut tidak memiliki kesesuaian. Hal ini dapat terjadi oleh karena beberapa kemungkinan, antara lain bahwa tanah yang diuji pada kedua pengujian tersebut tidaklah sama. Bila tanah tersebut sama, maka dapat dipastikan terdapat kekeliruan dalam ketelitian atau prosedur pengujian di laboratorium.

Disamping kedua hasil pengujian tersebut diatas, terdapat pula hubungan antara hasil uji gradasi butiran dengan parameter kuat geser tanah. Kuat geser tanah dari suatu pengujian triaxial test ataupun pengujian geser langsung diperoleh parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Besarnya hasil kohesi tanah (c) menandai bahwa gradasi butiran tanah tersebut didominasi oleh partikel berbutir halus sedangkan bila semakin besarnya parameter sudut geser dalam (ϕ) maka semakin banyaknya partikel berbutir kasar dalam susunan butiran tanah. Hasil kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dapat dibahas dengan melihat hasil susunan gradasi butiran dari percobaan analisa ayakan dan hidrometer.

Jika terdapat suatu hasil yang menyimpang dari kebiasaan tersebut diatas, baik dari hubungan antara gradasi butiran dengan plastisitasnya, maupun antara gradasi butiran dengan parameter kuat geser, maka hal tersebut dimungkinkan oleh karena terdapat perbedaan dari mineral pembentuk partikel

tanah berbutir halus. Misalnya terdapat dominasi mineral quartz pada partikel halus (lempung), sedangkan mineral quartz adalah mineral yang biasanya pembentuk partikel berbutir kasar (pasir dan gravel). Sehingga sifat-sifat konsistensi dari plastisitasnya menunjukkan penyimpangan-penyimpangan dari hasil uji plastisitas dari tanah mineral lempung. Umumnya terdapat batas cair yang kecil walaupun didominasi oleh partikel berbutir halus (dari mineral quartz).

III. KORELASI INDEX PROPERTIES TANAH DENGAN PARAMETER TANAH LAINNYA.

3.1. Kepadatan Tanah.

Tanah yang memiliki butiran padat serta ruang pori tertentu memiliki kepadatan tertentu. Walaupun ruang pori adakalanya dapat terisi sebagian oleh air, atau seluruhnya dan kering sama sekali.

Jika ruang pori sebagian diisi oleh air dengan kadar air tertentu (W_n), maka ukuran kepadatannya disebut Berat Isi Tanah (γ). Parameter ini sering kali digunakan dalam menghitung tekanan lateral tanah pada suatu dinding penahan tanah dan lain-lannya.

Jika ruang pori terisi penuh oleh air, maka kondisi ini dikatakan bahwa tanah telah jenuh air ($S_r=100\%$), sedangkan kepadatannya disebut Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat}). Parameter Berat isi tanah dalam keadaan jenuh ini sangat diperlukan dalam menghitung tekanan tanah vertical dan lateral efektif, dimana Berat isi tanah efektif (γ') = $\gamma_{sat} - \gamma_w$.

(γ_w = berat isi air).

Pada kondisi dimana ruang pori tidak terisi sama sekali oleh air (kadar air = 0%), maka kepadatannya disebut sebagai Berat isi kering tanah (γ_d).

Hubungan antara berat isi tanah (bulk density) dengan berat isi kering tanah (dry density) sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{W_n}$$

dimana ; γ_d = berat isi kering tanah

γ = berat isi tanah pada kondisi W_n

W_n = kadar air.

Tabel 3.1 berikut menyajikan nilai suatu kepadatan (berat isi tanah dan berat isi kering tanah) pada suatu kepadatan tanah yang alamiah dengan variasi dari macam-macam tanah.

TABEL 3.1. Rentang nilai kepadatan tanah asli

Material	Natural density (kg/m ³)	
	Bulk density*	Dry density
Sands and gravels: very loose	1700-1800	1300-1400
loose	1800-1900	1400-1500
medium dense	1900-2100	1500-1800
dense	2000-2200	1700-2000
very dense	2200-2300	2000-2200
Poorly-graded sands	1700-1900	1300-1500
Well-graded sands	1800-2300	1400-2200
Well-graded sand/gravel mixtures	1900-2300	1500-2200
Clays: unconsolidated muds	1600-1700	900-1100
soft, open-structured	1700-1900	1100-1400
typical, normally consolidated	1800-2200	1300-1900
boulder clays (overconsolidated)	2000-2400	1700-2200
Red tropical soils	1700-2100	1300-1800

Istilah Kepadatan Relatif (Relative density) biasanya digunakan untuk menunjukkan kerapatan tanah berbutir kasar (granular soil) di lapangan. Yang dimaksud relatif adalah dari kepadatan maksimum (sangat padat) dan pada kepadatan minimum (sangat lepas). Nilai suatu Kepadatan relatif berarti berada diantara dua nilai kepadatan tersebut diatas.

Kepadatan relatif didefinisikan sebagai :

$$Dr = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}}$$

dimana : Dr = kepadatan relatif (%)

e = angka pori lapangan

e_{maks} = angka pori dalam keadaan paling lepas.

e_{min} = angka pori dalam keadaan paling padat.

Penjelasan tentang suatu hasil kepadatan relatif dari suatu deposit tanah berbutir kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2.

TABEL 3.2. Kualitatif Mengenai Deposit Tanah Berbutir Kasar.

Kepadatan Relatif	Penjelasan
0 - 15	sangat lepas
15 - 50	lepas
50 - 70	sedang
70 - 85	padat
85 - 100	sangat padat.

Dengan menggunakan definisi berat isi kering maka Kepadatan relatif dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Dr = \frac{\left[\frac{1}{\gamma_d \min} \right] - \left[\frac{1}{\gamma_d} \right]}{\left[\frac{1}{\gamma_d \min} \right] - \left[\frac{1}{\gamma_d \max} \right]} =$$

$$= \left[\frac{\gamma_d - \gamma_d (\min)}{\gamma_d (\max) - \gamma_d (\min)} \right] \left[\frac{\gamma_d (\max)}{\gamma_d} \right]$$

Penentuan kepadatan relatif dengan menggunakan parameter berat isi kering ini relatif lebih mudah dibandingkan dengan parameter angka pori.

Tabel 3.3 angka pori, kadar air, dan berat isi kering untuk beberapa tipe tanah dalam keadaan asli.

Type of soil	Void ratio, e	Natural moisture content in a saturated state %	Dry unit weight, γ_d	
			(lb/ft ³)	(kN/m ³)
Loose uniform sand	0.8	30	92	14.5
Dense uniform sand	0.45	16	115	18
Loose angular-grained silty sand	0.65	25	102	16
Dense angular-grained silty sand	0.4	15	121	19
Stiff clay	0.6	21	108	17
Soft clay	0.9-1.4	30-50	73-91	11.5-14.5
Loess	0.9	25	86	13.5
Soft organic clay	2.5-3.2	90-120	28-31	6-5
Glacial till	0.3	10	134	21

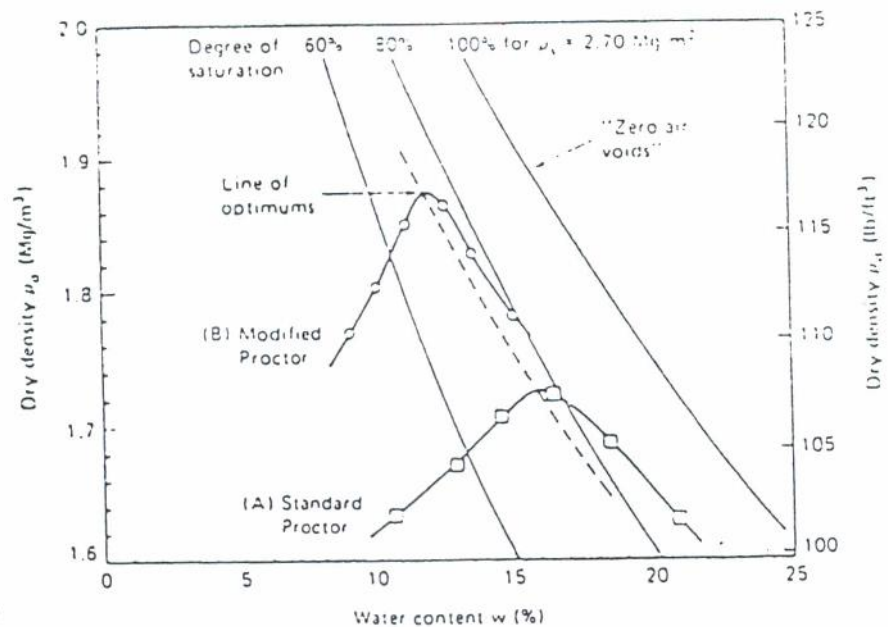
Penentuan kepadatan dilapangan biasanya dapat menggunakan beberapa metode antara lain : dengan percobaan sandcone test, rubber ballon test, test tube.

Berat isi kering maksimum diperoleh dilaboratorium dengan cara membebani permukaan pasir sebesar 13,8 kN/m² dan kemudian cetakan beserta isinya digetarkan selama 8 menit diatas suatu meja penggetar dengan frekuensi 3600 getaran/menit dan amplitudo getaran sebesar 0.025 inch.

Pada suatu tanah yang dipadatkan secara mekanis akan mencapai suatu kepadatan kering yang paling maksimum bila tanah dipadatkan pada kondisi kadar air yang optimum. Kadar air optimum ini ditentukan dengan suatu percobaan pemadatan tanah di laboratorium dengan metode standar atau yang modified sesuai dengan standar ASTM - D698/AASHTO T-99 dan ASTM - D 1577/AASHTO T -180.

Berat isi kering bila $S_r = 100\%$

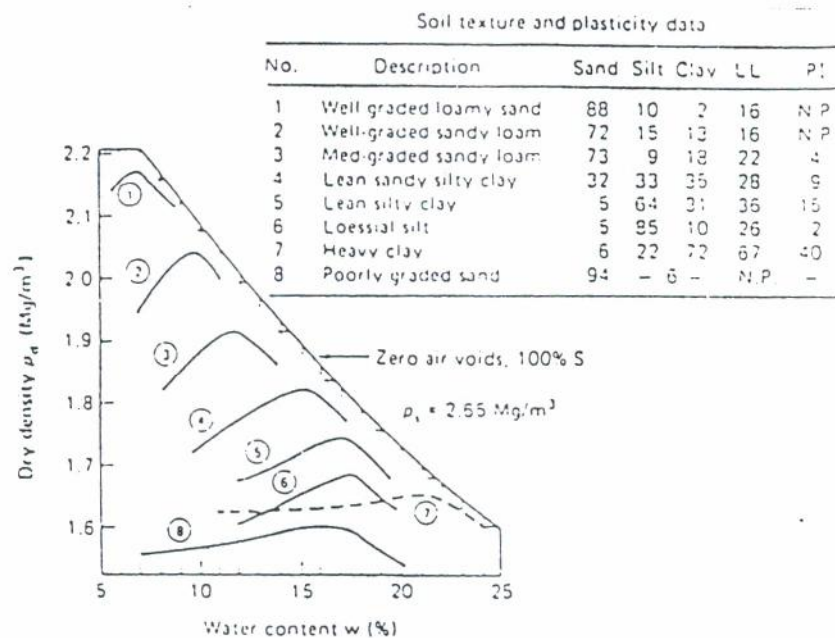
$$\gamma_d \text{ Sr } 100\% = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + W \cdot G_s}$$



Gambar 3.1 . Hasil percobaan pemadatan tanah di laboratorium.

Pengaruh komposisi gradasi butiran tanah pada perubahan kadar air optimum dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut, dimana pada

tanah bergradasi halus cenderung memiliki kadar air optimum yang lebih tinggi dari gradasi yang lebih kasar. Hal ini secara spesifik karena tanah berbutir halus memiliki spesifik permukaan yang lebih luas, sehingga mampu menyerap air lebih banyak.



Gambar 3.2 : Hubungan antara γ_d maks dan w_{opt} dari berbagai jenis tanah dengan liquid limit berbeda.

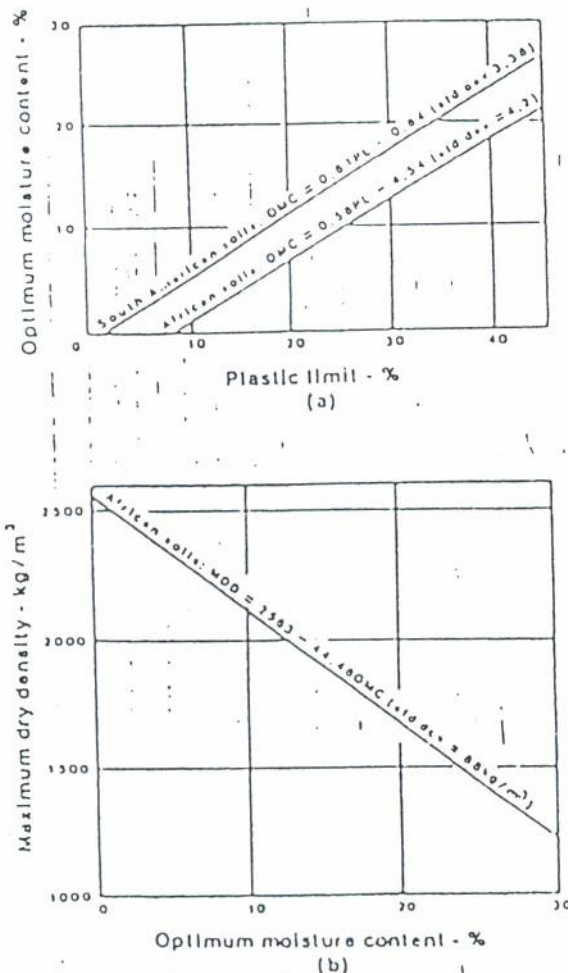
Pengaruh butiran tanah yang telah diklasifikasikan berdasarkan The Unified Classification System dan The ASSHTO terhadap berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dapat dilihat pada tabel 3.4 dan tabel 3.5

Tabel 3.4 Rentang hasil berat isi kering maksimum dan kadar air optimum berdasarkan klasifikasi tanah dari AASHTO

Soil description	Class	US/AASHTO compaction	
		Max dry density (kg/m³)	Opt. moisture content (%)
Well-graded gravel/sand mixtures	A-1	1850-2150	5-15
Silty or clayey gravel and sand	A-2	1750-2150	9-18
Poorly-graded sands	A-3	1600-1900	5-12
Silty sands and gravels of low plasticity	A-4	1500-2000	10-20
Elastic silts, diatomaceous or micaceous	A-5	1350-1600	20-35
Plastic clay, sandy clay	A-6	1500-1900	10-30
Highly plastic or elastic clay	A-7	1300-1850	15-35

Tabel 3.5 Rentang hasil berat isi kering maksimum dan kadar air optimum berdasarkan klasifikasi tanah dari UCS

Soil Description	Class	MDD standard compaction (kg/m^3)	Optimum moisture content (%)
Gravel/sand mixtures			
well-graded, clean	GW	2000-2150	11-8
poorly-graded, clean	GP	1850-2000	14-11
well-graded, small silt content	GM	1900-2150	12-8
well-graded, small clay content	GC	1850-2000	14-9
Sands and sandy soils:			
well-graded, clean	SW	1750-2100	16-9
poorly-graded, small silt content	SP	1600-1900	21-12
well-graded, small silt content	SM	1750-2000	16-11
well-graded, small clay content	SC	1700-2000	19-11
Fine-grained soils of low plasticity:			
silt	ML	1500-1900	24-12
clays	CL	1500-1900	24-12
organic silts	OL	1300-1600	33-21
Fine-grained soils of high plasticity:			
silt	MH	1100-1500	40-24
clays	CH	1300-1700	36-19
organic clays	OH	1050-1600	45-21



Gambar 3.3 Hubungan kadar W.opt. dan plastic limit

3.2. Standard Penetration Test

Dikarenakan begitu sulitnya memnentukan berat isi kering pada lapisan tanah pasir, maka biasanya nilai kepadatannya didapat dari korelasi dari nilai N-SPT.

Pada tabel 3.6 diperoleh hubungan antara tekakan over burden pressure dengan suatu factor koreksi N-SPT (N_1), dimana menggunakan formula $N_1 = C_N.N$.

Tabel 3.6 :

Reference	Correction factor (C_N)	Units of overburden pressure (σ'_v)
Gibbs and Holtz (1957) (equation by Teng 1962)	$C_N = \frac{50}{10 + \sigma'_v}$	psi
Peck and Bazaraa (1969)	$C_N = \begin{cases} \frac{4}{1 + 2\sigma'_v} & \sigma'_v \leq 1.5 \\ \frac{4}{3.25 + 0.5\sigma'_v} & \sigma'_v > 1.5 \end{cases}$	ksf
Peck, Hanson and Thornburn (1974)	$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{\sigma'_v}$	kg/cm ² or tsf
Seed (1976)	$C_N = 1 - 1.25 \log_{10} \sigma'_v$	kg/cm ² or tsf
Tokimatsu and Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v}$	kg/cm ² or tsf
Liao and Whitman (1986)	$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}}$	kg/cm ² or tsf
Skempton (1986)	$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \sigma'_v} & \text{For fine sands of medium Dr} \\ \frac{3}{2 + \sigma'_v} & \text{For dense, coarse sands when normally consolidated} \\ \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v} & \text{For overconsolidated fine sands} \end{cases}$	kg/cm ² or tsf

Bazaraa (1967) dan Peck & Bazaraa (1969), melakukan koreksi terhadap nilai N-SPT untuk pada pasir sebagai berikut :

$$N_{cor} = \frac{4 \cdot N_f}{1 + 0.04177 \sigma'_v} \quad \text{untuk } \sigma'_v < 71.82 \text{ kN/m}^2$$

$$N_{cor} = \frac{4 \cdot N_f}{3.25 + 0.01044 \sigma'_v} \quad \text{untuk } \sigma'_v > 71.82 \text{ kN/m}^2$$

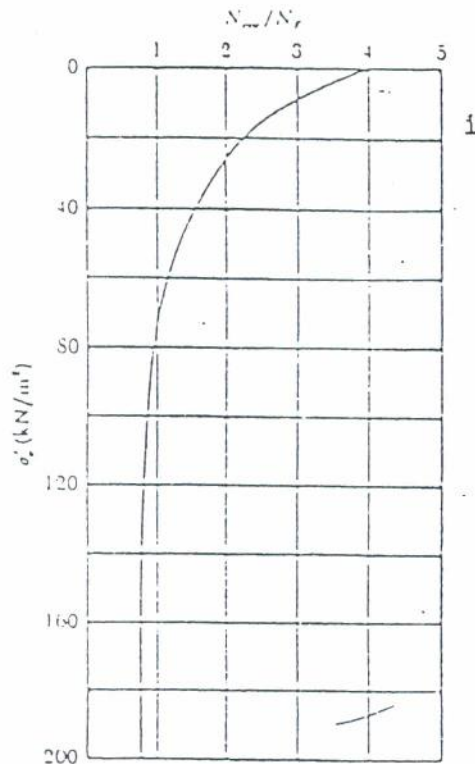
$$N_{cor} = N_f \quad \text{untuk } \sigma'_v = 71.82 \text{ kN/m}^2$$

dimana : N_{cor} = nilai N-SPT yang dikoreksi

N_f = nilai N-SPT yang didapat dilapangan

σ'_v = Tekanan over burden (efektif) kN/m².

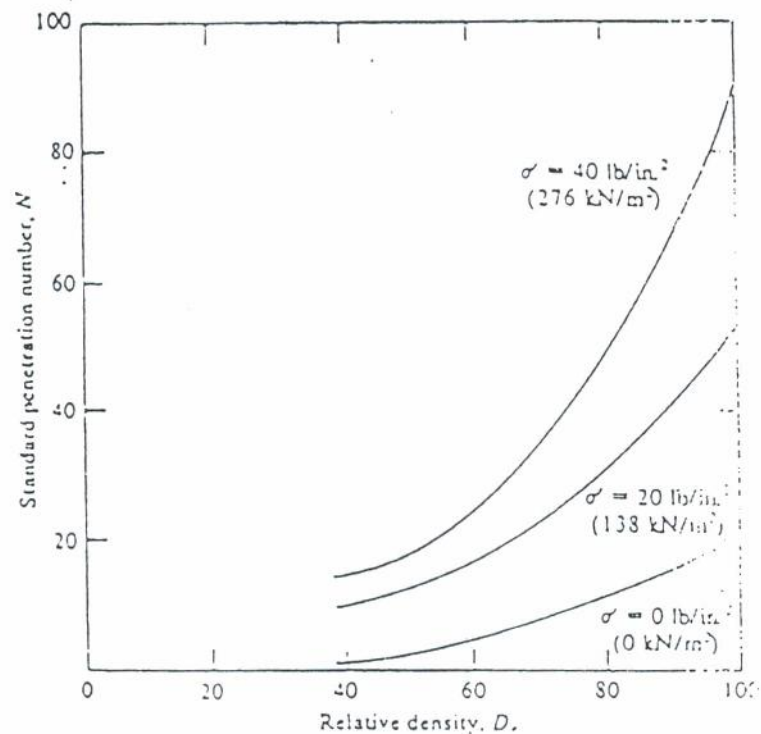
Hubungan antara N_{cor} / N_f terhadap tekanan over burden yang efektif dapat dilihat pada gambar 3.4.



Tabel 3.7 Hubungan antara N -SPT dengan D_r dan Sudut geser dalam (ϕ)

Nilai N-SPT	Perkiraan nilai Kepadatan Relatif (%)	Perkiraan besar ϕ (derajat)
0 - 5	0 - 5	26 - 30
5 - 10	5 - 30	28 - 35
10 - 30	30 - 60	35 - 42
30 - 50	60 - 95	38 - 46

Gambar 3.5 menunjukkan hubungan antara Kepadatan relatif (D_r) terhadap nilai N- SPT pada beberapa tekanan over burden tertentu (Gibbs and Holtz ,1957)



Gambar 3.5 : Hub antara Dr dan N-SPT dengan variasi $\sigma'v$

3.3. Permeabilitas Tanah.

Pada tahun 1956, Darcy memperkenalkan suatu persamaan sederhana yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran air yang mengalir didalam tanah yang jenuh, dinyatakan sebagai berikut : $V = k.i$

dimana : V = kecepatan aliran, yaitu banyaknya air yang mengalir dalam satuan waktu melalui suatu satuan luas penampang melintang tanah yang tegak lurus arah aliran

k = koefisien rembesan

Koefisien rembesan tanah (k) adalah tergantung pada beberapa faktor antara lain : kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah dan derajat kejenuhantanah. Pada tanah berlempung struktur tanah memegang peranan penting dalam

menentukan koefisien rembesan. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi sifat rembesan tanah adalah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung.

Harga-harga koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien diberikan dalam tabel 3.8.

Material	Permeability (m/s)
Uniformly graded coarse aggregate	$0.4 - 4 \times 10^{-1}$
Well-graded aggregate without fines	$4 \times 10^{-1} - 4 \times 10^{-1}$
Concrete sand, low dust content	$2 \times 10^{-1} - 2 \times 10^{-1}$
Concrete sand, high dust content	$2 \times 10^{-1} - 2 \times 10^{-1}$
Silty and clayey sands	$10^{-1} - 10^{-1}$
Compacted silt	$2 \times 10^{-1} - 2 \times 10^{-10}$
Compacted clay	less than 10^{-10}
Bituminous concrete*	$2 \times 10^{-1} - 2 \times 10^{-1}$
Portland cement concrete	less than 10^{-10}

Tabel 3.9 Rentang nilai koefisien rembesan (k) pada beberapa jenis tanah .

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
	m/s											
Coefficient of permeability (log scale)	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	1	10	100
	cm/s											
	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	
	ft/s											
Permeability:	Practically impermeable		Very low		Low		Medium		High			
Drainage conditions:	Practically impermeable			Poor			Good					
Typical soil groups:	GC - GM - SM - SW - GW - CH SC SM-SC SP - GP - MH MC-CL											
Soil types:	Homogeneous clays below the zone of weathering		Silt, fine sands, silty sands, glacial till, stratified clays				Clean sands, sand and gravel mixtures			Clean gravels		
			Fissured and weathered clays and clays modified by the effects of vegetation									

Untuk tanah pasir dengan ukuran butir merata (dengan koefisien keseragaman kecil) , Hazen (1930) memperkenalkan suatu hubungan empiris untuk koefisien rembesan dalam persamaan sebagai berikut :

$$k \text{ (cm/sec)} = C_1 \cdot D_{10}^2$$

dimana C_1 = suatu konstanta yang bervariasi dari 1 s/d 1,5.

D_{10} = ukuran efektif, dalam satuan mm.

Persamaan diatas didasarkan hanya pada penyelidikan tanah pasir bersih yang lepas. Bila tercampur oleh lempung atau lanau , maka harga koefisien rembesan tersebut akan berubah banyak.

Konstantan C_1 adalah sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{\gamma}{\mu} \frac{e^3}{(1+e)} c \quad (\text{Taylor , 1948})$$

dimana γ = berat isi tanah

μ = viscositas air

e = angka pori

c = faktor bentuk

Casagrande mengajukan suatu rumus sederhana untuk mencari koefisien k dari tanah pasir bersih halus sampai agak kasar dalam persamaan berikut :

$$k = 1,4 e^{2k_{0.85}}$$

dimana : k = koefisien rembesan pada angka pori e

$k_{0.85}$ = koefisien rembesan yang bersesuaian dengan angka pori 0.85.

Dengan persamaan Kozeny-Carman, didapat :

$$k = C_1 \frac{e^3}{1+e}$$

dimana : C_1 adalah konstanta, dan oleh Amer dan Awad (1974) menyarankan bahwa C_1 fungsi dari ukuran efektif dan koefisien keseragaman pasir :

$$C_1 = C_2 \cdot D_{10}^{2.92} \cdot C_u^{0.6}$$

dimana : D_{10} = ukuran efektif

C_u = koefisien keseragaman

C_2 = konstanta

Apabila kedua persamaan tersebut disatukan menjadi :

$$k = C_2 D_{10}^{2.32} C_u^{0.6} \frac{e^n}{1+e}$$

Pada lempung yang terkonsolidasi secara normal, Samarasinghe, Huang dan Drnevich (1982) memberikan persamaan sebagai berikut

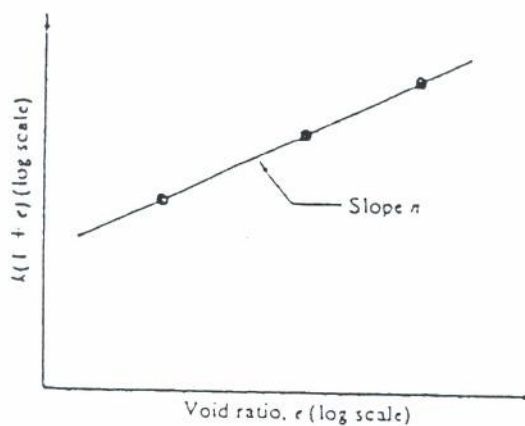
$$k = C_3 \frac{e^n}{1+e}$$

dimana : C dan n adalah konstanta-konstanta yang diperoleh dari percobaan.

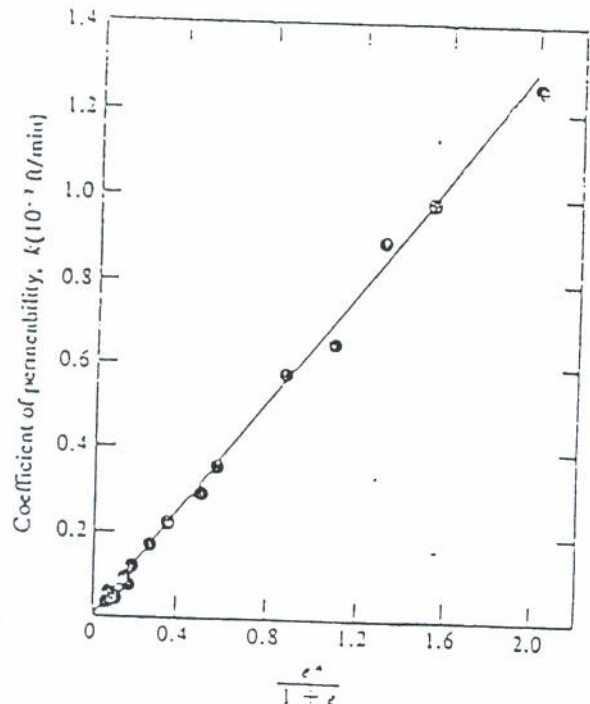
Persamaan diatas dapat dituliskan lagi sbb :

$$\log [k (1+e)] = \log C_3 + n \log e$$

Apabila pada suatu lempung variasi k terhadap angka pori e dapat diketahui, maka grafik k (1+e) dan e dapat digambar seperti gambar 3.6, dan harga-harga dari C₃ dan n dapat ditentukan. Pada gambar 3.7 menunjukkan gambar antara k dengan eⁿ/(1+e) untuk suatu tanah lempung dari New Liskeard.

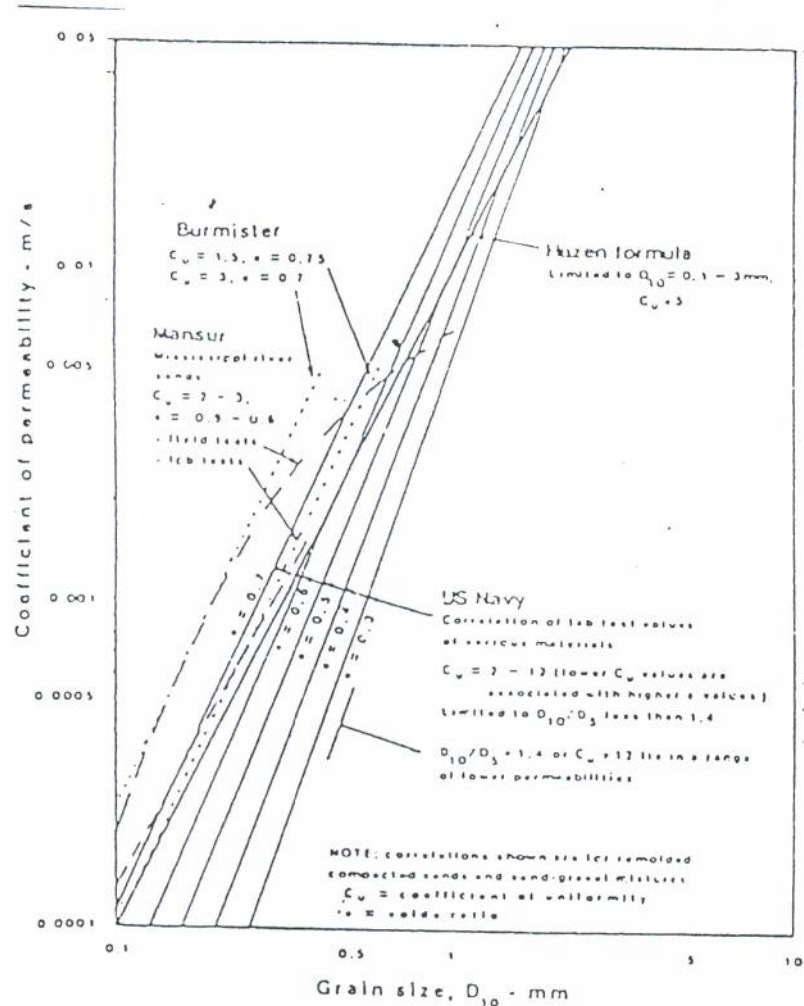


Gambar 3.6



Gambar 3.7

Pada gambar 3.8 meyajikan hubungan antara diameter efektif D_{10} dengan koefisien rembesan k dari suatu partikel pasir dan gravel



Gambar 3.8 Koefisien k dari pasir & koral

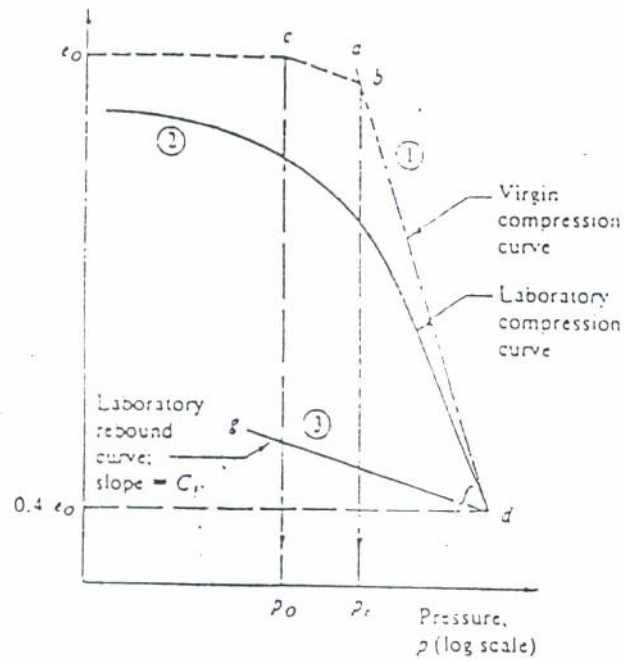
3.4. Konsolidasi dan Settlement.

Dari suatu uji konsolidasi satu dimensi di laboratorium dengan odometer test, umumnya didapatkan beberapa parameter kompresibilitas seperti :

- C_c = indeks kompresi
- C_v = koefisien konsolidasi vertikal
- P_c = tekanan pra konsolidasi
- C_r = koefisien pengembangan

sedangkan m_v = koefisien perubahan volume , didapat dari :

$$m_v = (1 / 1+e_0)((e_0 - e_1)/[\sigma_1 - \sigma_0])$$



gambar 3.9 : Hubungan $e - \log p$ dari suatu lempung konsolidasi berlebih.

Rentang parameter konsolidasi terutama indeks kompresi (C_c) dari beberapa jenis tanah dan asalnya dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 10 : Nilai indeks kompresi (Holtz and Kovacs)

Soil	C_c
Normally consolidated medium sensitive clays	0.2 to 0.5
Chicago silty clay (CL)	0.15 to 0.3
Boston blue clay (CL)	0.3 to 0.5
Vicksburg Buckshot clay (CH)	0.5 to 0.6
Swedish medium sensitive clays (CL-CH)	1 to 3
Canadian Leda clays (CL-CH)	1 to 4
Mexico City clay (MH)	7 to 10
Organic clays (OH)	4 and up
Peats (PI)	10 to 15
Organic silt and clayey silts (ML-MH)	1.5 to 4.0
San Francisco Bay Mud (CL)	0.4 to 1.2
San Francisco Old Bay clays (CH)	0.7 to 0.9
Bangkok clay (CH)	0.4

Sedangkan hubungan korelasi antara parameter indeks kompresi (C_c) dengan parameter lainnya, antara lain Batas cair (LL) angka pori awal (e_0), kadar air (W_n) dapat dilihat pada tabel 3.11 berikut :

Tabel 3.11. Korelasi nilai C_c terhadap parameter tanah lainnya.

Equation	Regions of applicability
$C_c = 0.007 (LL - 7)$	Remoulded clays
$C_u = 0.208 e_p + 0.0083$	Chicago clays
$C_c = 17.66 \times 10^{-3} w_L^2 + 5.93 \times 10^{-3} w_L - 1.35 \times 10^{-1}$	Chicago clays
$C_c = 1.15(e_p - 0.35)$	All clays
$C_c = 0.30(e_p - 0.27)$	Inorganic, cohesive soil, silt, some clay; silty clay; clay
$C_c = 1.15 \times 10^{-3} w_L$	Organic soils-meadow mats, peats, and organic silt and clay
$C_c = 0.75(e_p - 0.50)$	Soils of very low plasticity
$C_u = 0.156 e_p + 0.0107$	All clays
$C_c = 0.01 w_L$	Chicago clays

Skempton (1944) menyampaikan hubungan antara batas cair (LL) dengan parameter C_c untuk lempung yang terkonsolidasi normal sebagai berikut :

$$C_c = 0.007 (LL - 10)$$

Sedangkan Terzaghi & Peck (1967) meyajikan hubungan yang sama pada lempung dengan sensitifitas yang rendah sampai sedang sebagai berikut :

$$C_c = 0.009 (LL - 10)$$

Dari dua rumus terakhir hasil akan lebih baik bila sensitifitas tanah tidak lebih dari 4 dengan batas cai maksimum 100 .

Hubungan C_c dengan indeks plastisitas (PI) disajikan oleh Wroth and Wood (1978), dimana :

$$C_c = 0,5 PI. G_s$$

dimana : PI = adalah indeks plastisitas

G_s = spesifik gravity.

Hubunagn antara parameter indeks pemampatan kembali (index swelling) C_r dengan C_c berkisar :

$$C_r = 0.015 \text{ sampai } 0.35 C_c \text{ (Roscoe , 1958)}$$

atau kurang lebih 5 - 10 % dari nilai C_c .

Pada tabel 3.12, disajikan rentang nilai koefisien perubahan volume (mv) dengan penjelasan tentang sifat kompresibilitasnya dari berbagai jenis tanah.

Tabel 3.12 : Nilai mv dari berbagai jenis tanah (Carter 1983)

Type of clay	Descriptive term	Coefficient of volume compressibility, m_v	
		(m^2/MN)	(ft^2/ton)
Heavy over-consolidated boulder clays, stiff weathered rocks (e.g. weathered mudstone) and hard clays	Very low compressibility	< 0.05	< 0.005
Boulder clays, marls, very stiff tropical red clays	Low compressibility	0.05-0.1	0.005-0.01
Firm clays, glacial outwash clays, lake deposits, weathered marls, firm boulder clays, normally consolidated clays at depth and firm tropical red clays	Medium compressibility	0.1-0.3	0.01-0.03
Normally consolidated alluvial clays such as estuarine and delta deposits, and sensitive clays	High compressibility	0.3-1.5	0.03-0.15
Highly organic alluvial clays and peats	Very high compressibility	> 1.5	> 0.15

Dalam menentukan penurunan segera (elastic settlement) tanah dianggap sebagai media yang elastis, sehingga parameter E (Modulus Young's) diperlukan. Hubungan antara nilai E dengan poisson ratio (ν) sebagai berikut :

$$m_v = \frac{1}{E} \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Skempton dan Bjerrum (1957) menyampaikan bahwa pada perubahan deformasi lateral yang kecil maka poisson rasion (ν) = 0 sehingga hubungan antara E dan M_v sebagai berikut :

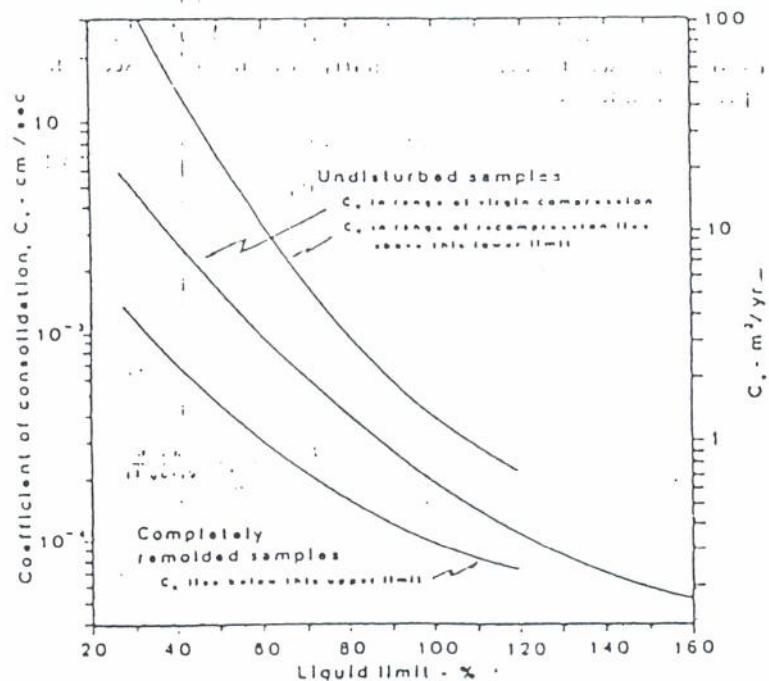
$$E = \frac{1}{m_v} = M$$

Dalam menghitung lamanya waktu konsolidasi utama, dibutuhkan koefisien konsolidasi (C_v). Rentang nilai C_v dari berbagai jenis tanah dari beberapa penelitian dapat dilihat pada tabel 3.13.

Sedangkan nilai koefisien konsolidasi terhadap parameter batas cair tanah (LL) telah disajikan oleh US Navy, 1988 pada gambar 3.10 untuk tanah tidak terganggu dan terganggu.

Tabel 3.13 : Rentang nilai C_v dari berbagai jenis tanah

Soil	$(\text{cm}^2/\text{s} \times 10^{-4})$	(m^2/yr)
Boston blue clay (CL) (Ladd and Lusher, 1965)	40 ± 20	12 ± 6
Organic silt (OH) (Lowe, Zaccaro, and Feldman, 1964)	2-10	0.6-3
Glacial lake clays (CL) (Wallace and Otto, 1964)	6.5-8.7	2.0-2.7
Chicago silty clay (CL) (Terzaghi and Peck, 1967)	8.5	2.7
Swedish medium sensitive clays (CL-CH) (Hultz and Broms, 1972)		
1. laboratory	0.4-0.7	0.1-0.2
2. field	0.7-3.0	0.2-1.0
San Francisco Bay Mud (CL)	2-4	0.6-1.2
Mexico City clay (MH) (Leonards and Girault, 1961)	0.9-1.5	0.3-0.5



Gambar 3.10 : Hubungan antara Liquid Limit (LL) dengan parameter konsolidasi C_v .

Pada akhir dari konsolidasi primer, yaitu setelah tekanan air pori sama dengan nol, penurunan masih terjadi sebagai akibat dari penyesuaian plastis butiran tanah. Tahap konsolidasi ini dinamakan konsolidasi sekunder (Secondary consolidation).

Indeks pemampatan sekunder dapat diefinisikan sebagai :

$$C_{\alpha} = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1}$$

dimana : C_{α} = indeks pemampatan sekunder

Δe = perubahan angka pori

t_1 t_2 = waktu.

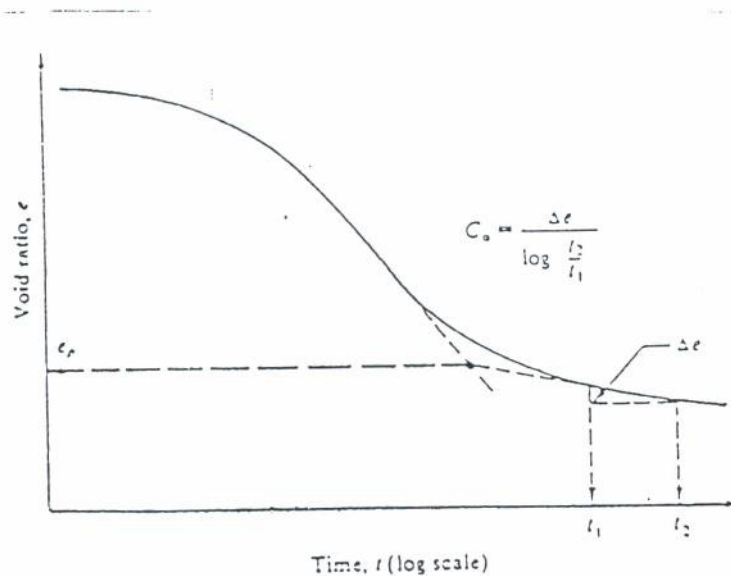
Besarnya konsolidasi sekunder sebagai berikut :

$$S_s = C_{\alpha}' \cdot H \cdot \log(t_2/t_1)$$

dimana : $C_{\alpha}' = C_{\alpha} / (1 + e_p)$

e_p = angka pori pada akhir konsolidasi primer.

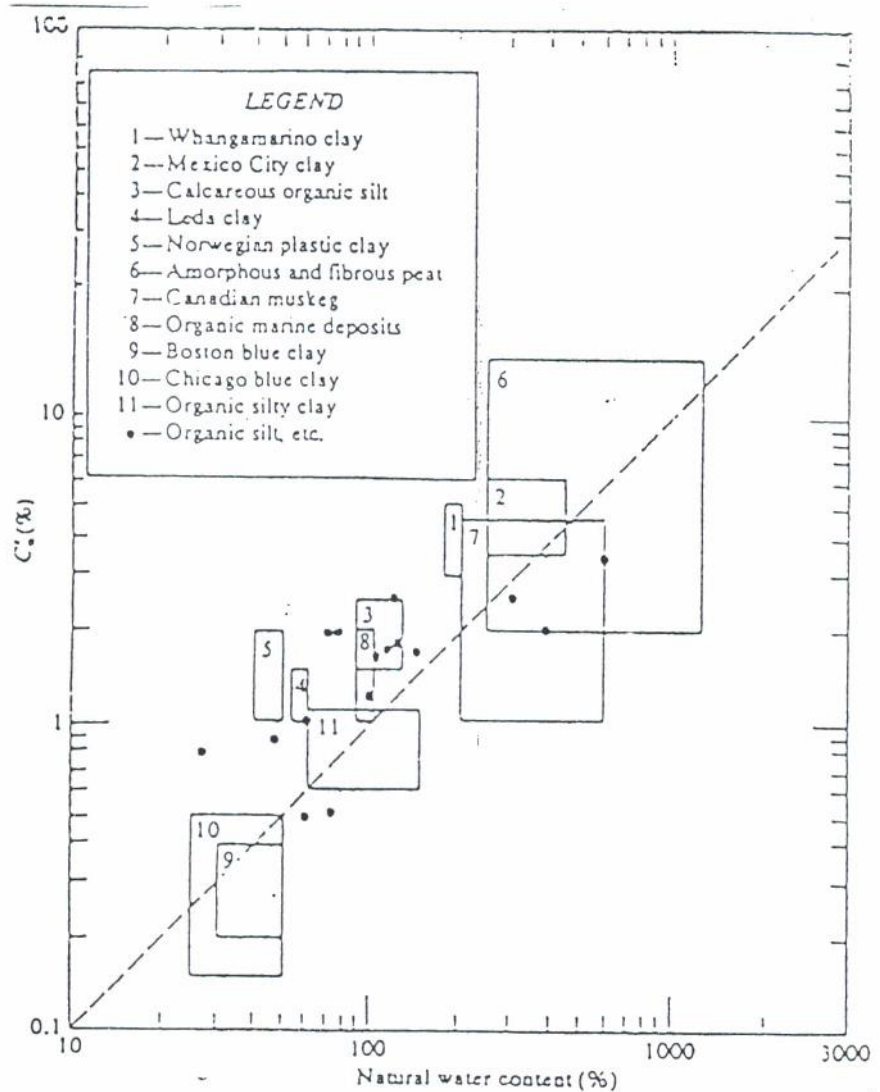
H = tebal lapisan lempung.



Gambar 3.11 Hubungan antara log t dan angka pori (e)

Hubungan antara kadar air asli (W_n) dengan indeks pemampatan sekunder (C_{α}') dapat dilihat pada gambar 3.12 dari berbagai lempung.

Besarnya parameter C_{α} terhadap C_c dapat dilihat pada tabel 3.14 dari berbagai asal lempung.



Gambar 3.12 Nilai C_c menurut Mesri, 1973

Tabel 3.14 : Nilai C_c/C_o dari berbagai jenis lempung

Soil	C_c/C_o
Organic silts	0.035-0.06
Amorphous and fibrous peat	0.035-0.085
Canadian muskeg	0.07-0.10
Leda clay (Canada)	0.03-0.06
Post-glacial Swedish clay	0.05-0.07
Soft blue clay (Victoria, B.C.)	0.026
Organic clays and silts	0.04-0.06
Sensitive clay, Portland, ME	0.025-0.055
San Francisco Bay Mud	0.04-0.06
New Liskeard (Canada) varved clay	0.01-0.06
Mexico City clay	0.03-0.055
Hudson River silt	0.03-0.06
New Haven organic clay silt	0.04-0.075

* Modified after Mesri and Goldswick (1973)

3.5. Kuat Geser Tanah

Pengetahuan tentang kekuatan geser diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan stabilitas massa tanah. Bila pada suatu titik pada massa tanah memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya, maka keruntuhan akan terjadi pada titik tersebut. Kekuatan geser (τ_f) di suatu titik pada suatu bidang tertentu dikemukakan oleh Coulomb sebagai suatu fungsi linear terhadap tegangan normal (σ_f) pada bidang tersebut pada titik yang sama, sebagai berikut :

$$\tau_f = C + \sigma_f \tan \phi$$

dimana : C dan ϕ adalah parameter-parameter kekuatan geser tanah. C adalah kohesi, dan ϕ adalah sudut geser dalam.

Parameter kekuatan geser tanah (C dan ϕ) diperoleh dari suatu pengujian di laboratorium dengan Uji uni axial test (Unconfined compression test), Uji geser langsung (direct shear test) dan Uji triaxial tekan (Triaxial Compression Test).

Kekuatan geser tanah cenderung akan meningkat dengan semakin tinggi nilai konsistensinya dari sangat lunak sampai keras, seperti digambarkan pada tabel 3.15 dibawah ini :

Tabel 3.15 : Perkiraan nilai kekuatan geser tanah dari lempung.

Shear strength (kN/m ²)	Descriptive term	Characteristics
< 20	Very soft	Exudes between fingers when squeezed
20-40	Soft	Moulded by light finger pressure
40-75	Firm	Moulded by strong finger pressure
75-150	Stiff	Can be indented by thumb
150-300	Very stiff	Can be indented by thumb nail
> 300	Hard	

Sedangkan pada lempung yang dipadatkan, kekuatan gesernya cenderung meningkat dengan meningkatnya kandungan lempung

dalam gradasi tanah tersebut. Hal ini dapat dilihat pada tabel 3.16, dimana perubahan klasifikasi tanah berdasarkan the Unified Classification System akan berdampak perubahan terhadap kekuatan gesernya baik pada tanah yang dipadatkan maupun pada kondisi jenuh.

Tabel 3.16 : Kekuatan geser tidak terdrainasi pada beberapa klasifikasi tanah.

Soil description	Class*	Undrained shear strength (kN/m)	
		As compacted	Saturated
Silty sands, sand-silt mix	SM	50	20
Clayey sands, sand-clay mix	SC	75	11
Silts and clayey silts	ML	67	9
Clays of low plasticity	CL	86	13
Clayey silts, elastic silts	MH	72	20
Clay of high plasticity	CH	103	11

Pada gambar 3.13 dapat dilihat terjadinya perubahan kekuatan geser tanah tidak terdrainasi dengan perubahan Liquidity index (LI). Dimana Liquidity index diperoleh dari persamaan :

$$\text{Liquidity index} = LI = \frac{W_n - PL}{PI}$$

dimana : W_n = kadar air asli (alam)

PL = Batas plastis

PI = indeks plastisitas tanah ($LL - PL$)

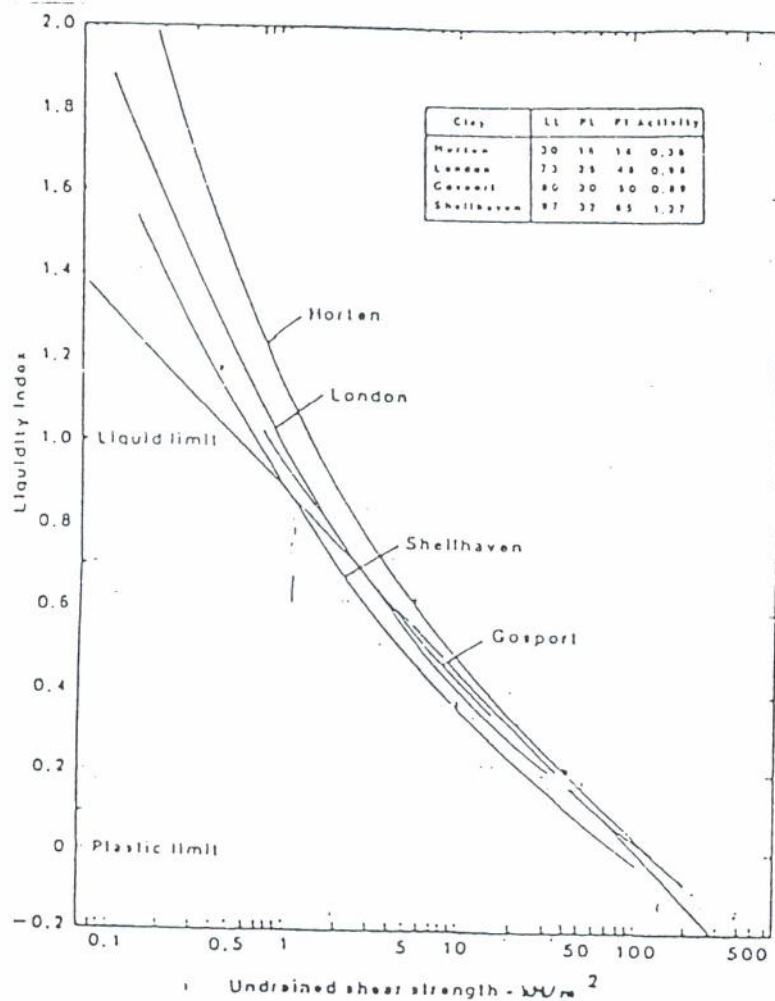
Ternyata semakin rendahnya nilai Liquidity Index , maka semakin tinggi kekuatan geser tanah tak terdrainasinya. Semakin rendahnya nilai LI ini juga membawa perubahan terhadap sensitifitas tanah tidak terganggu, seperti yang diteliti oleh Skempton dan Northey (1952). Semakin tinggi Liquidity index suatu tanah maka cenderung semakin tinggi sensitifitas tanah.

$$\text{Sensitifitas} = St = \frac{q_u}{q_r}$$

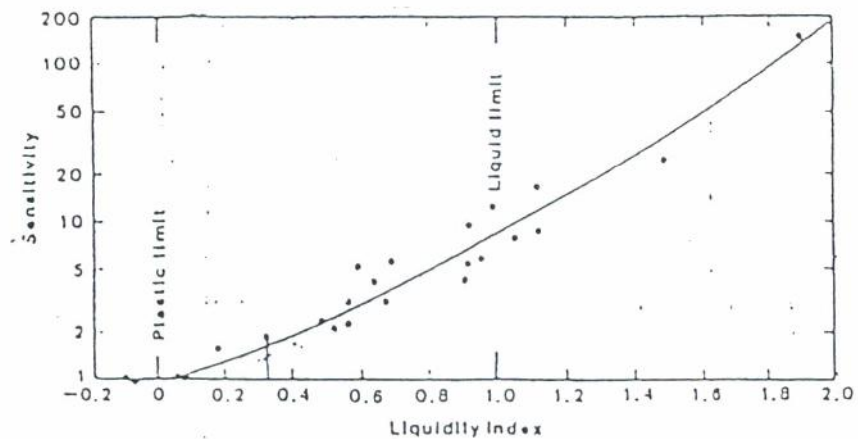
dimana , q_u = kuat tekan bebas tanah tidak terganggu

q_r = kuat tekan bebas tanah terganggu.

Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.14.

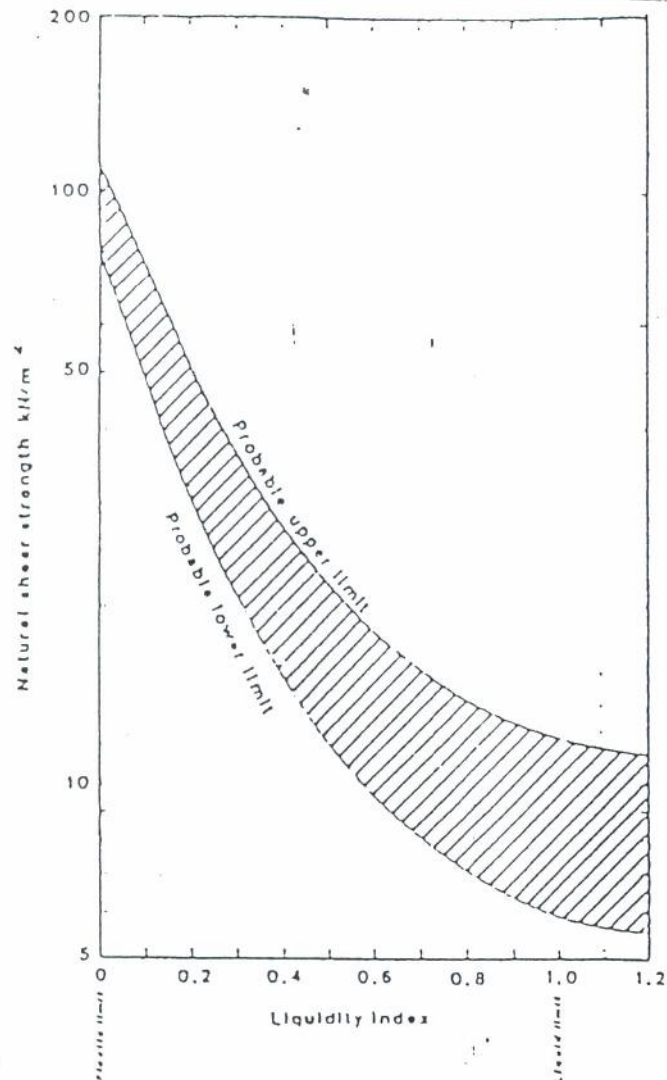


Gambar 3.13 : Korelasi antar Kekuatan geser tak terdrainasi dengan Liquidity index (LI)



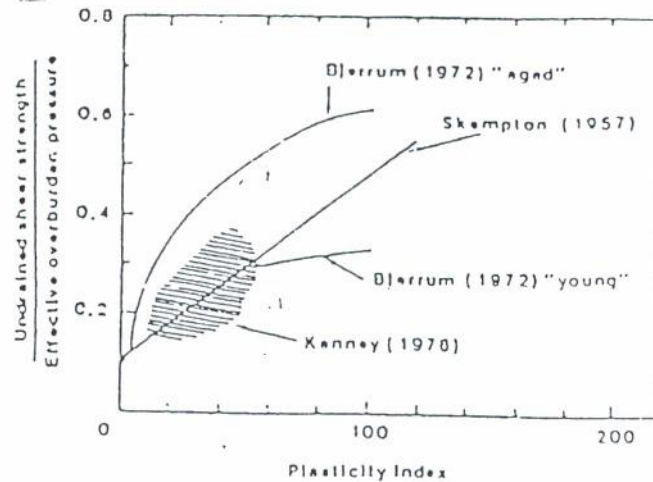
Gambar 3.14 Korelasi antara LI dan St

Kekuatan geser tanah asli juga semain baik bila Liquidity index (LI) semain mendekati 0 (mendekati batas plastisnya), sebaliknya akan semain kecil dengan meningkatnya LI mendekati nilai 1 (pada kondisi batas cair). Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.15.

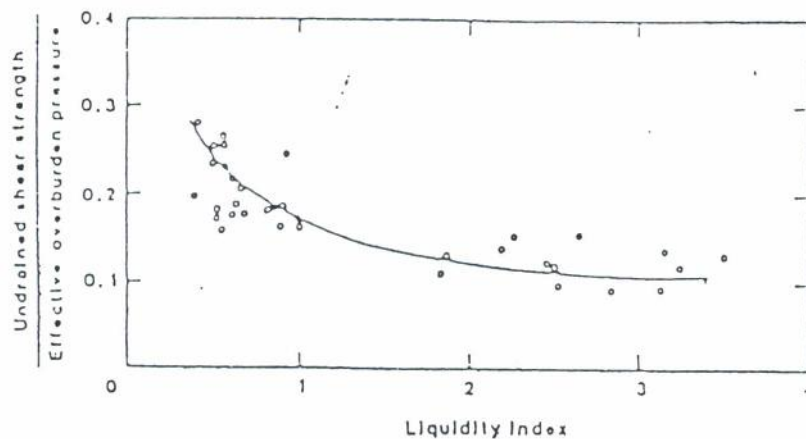


Gambar 3.15 : Korelasi antara Liquidity index (LI) terhadap Kekuatan geser tanah alami/asli

Holtz dan Kovacs , 1981, menyajikan korelasi antara hubungan ratio antara kekuatan geser tanah tak terdrainasi dengan tekanan over burden efektif dengan indeks plastisitas lempung yang terkonsolidasi normal, seperti dapat dilihat pada gambar 3.16.

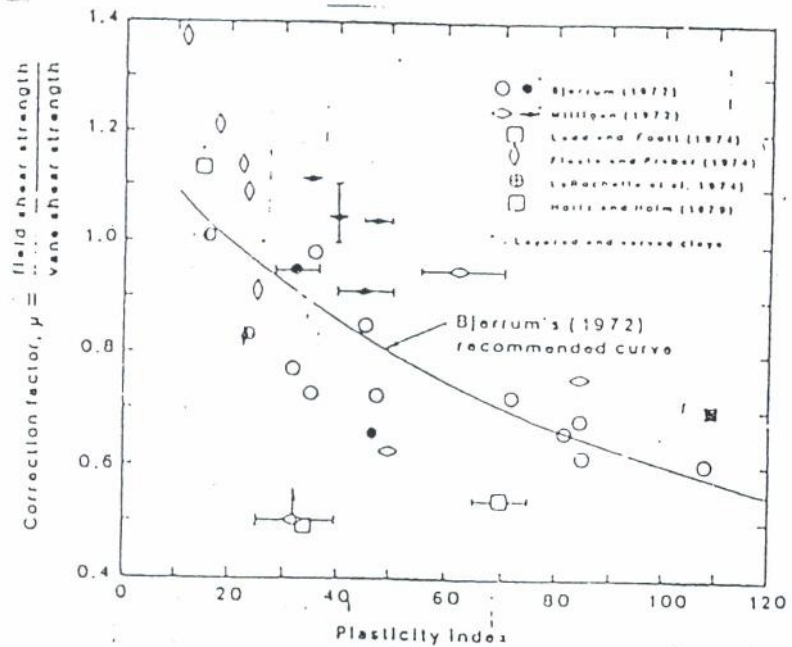


Gambar 3.16 : Hubungan antara ratio S_u/σ'_v terhadap nilai indeks plastisitas.



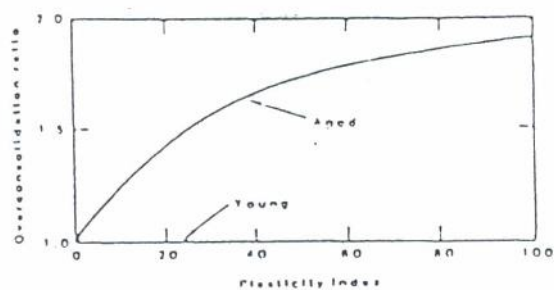
Gambar 3.17 : Hubungan antara ratio S_u/σ'_v terhadap Liquidity index (LI) (Bjerrum, Simons, '60)

Disamping pengaruh dari pada sejarah geologi tanah terhadap kekuatan geser tanah tidak terdrainasi, sejarah tegangan tanah juga sangat berpengaruh. Kekuatan geser tanah yang diperoleh dari uji kuat tekan bebas maupun triaxial tekan dapat dibandingkan dengan kekuatan geser dari uji vane shear test. (wroth, 1984). Ratio antara kekuatan geser tanah tidak terdrainasi dengan kekuatan geser vane shear test mempunyai hubungan terhadap perubahan indeks plastisitas tanah, seperti dapat dilihat pada gambar 3.18



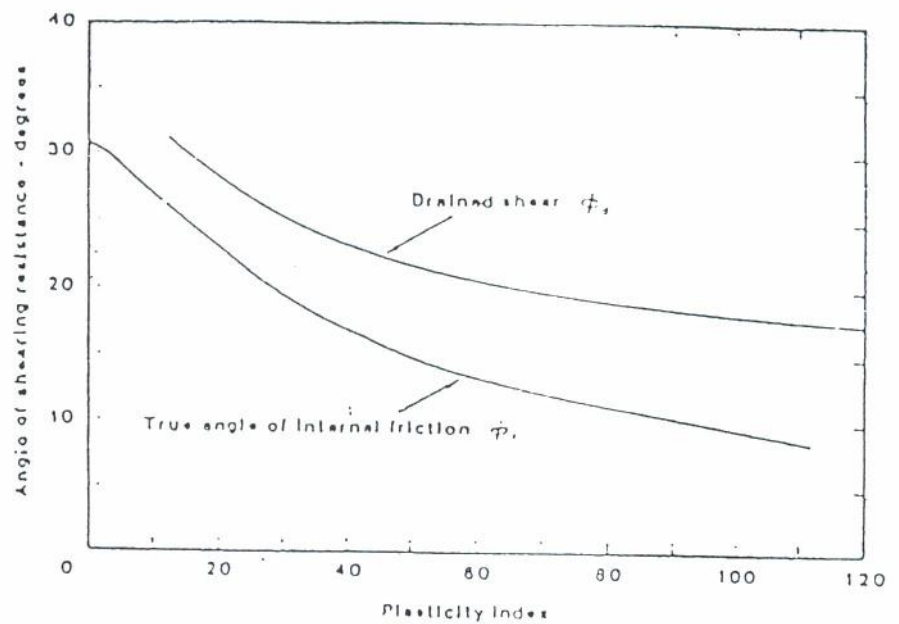
Gambar 3.18 : Faktor korelasi untuk vane shear test terhadap indeks plastisitas tanah. (Ladd, 1975 and Ladd et all 1977).

Bjerrum ,1972, menyajikan hubungan antara drajat konsolidasi berlebih (OCR) dengan perubahan ideks plastisitas tanah, seperti pada gambar 3.19



Gambar 3.19 : Hubungan antara indeks plastisitas dengan Over Consolidasi Ratio (OCR).

Hubungan antara ineks plastisitas tanah terhadap parameter kuat geser tanah yaitu sudut geser dalam (ϕ) dapat dilihat pada gambar 3.20 , Gibson, 1953.



Gambar 3.20 : Hubungan antara sudut geser dalam (ϕ) terhadap indeks plastisitas tanah.

Parameter kuat geser tanah pada tanah berbutir kasar yaitu sudut geser dalam (ϕ) cenderung semakin membesar dengan semakin kasarnya susunan gradasi partikel serta semakin besar kepadatan relatifnya (D_r).

Hal tersebut berturut-turut dapat dilihat pada tabel 3.17, tabel 3.18 , tabel 3.19 serta gambar 3.21 sebagai berikut :

Tabel 3.17 : Sudut geser dalam efektif terhadap perubahan klasifikasi tanah.

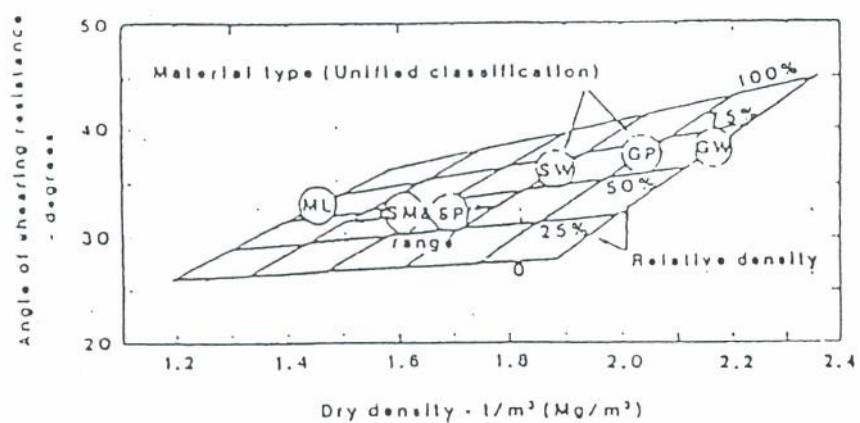
Soil description	Class*	ϕ' (deg)
Silty clays, sand-silt mix	SM	34
Clayey sands, sand-clay mix	SC	31
Silis and clayey silts	ML	32
Clays of low plasticity	CL	28
Clayey silts, elastic silts	MH	25
Clays of high plasticity	CH	19

Tabel 3.18 : Rentang nilai sudut geser dalam pada tanah berbutir kasar pada kondisi lepas dan padat.

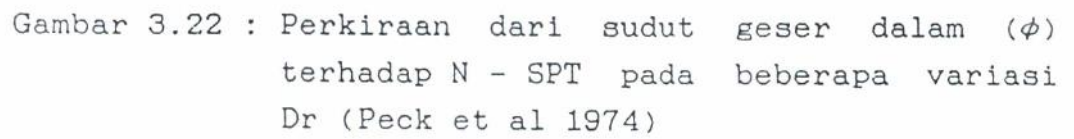
Material	ϕ (deg)	
	Loose	Dense
Uniform sand, round grains	27	34
Well-graded sand, angular grains	33	45
Sandy gravels	35	50
Silty sand	27-33	30-34
Inorganic silt	27-30	30-35

Tabel 3.19 : Rentang nilai sudut geser dalam pada pasir / krikil yang dipadatkan.

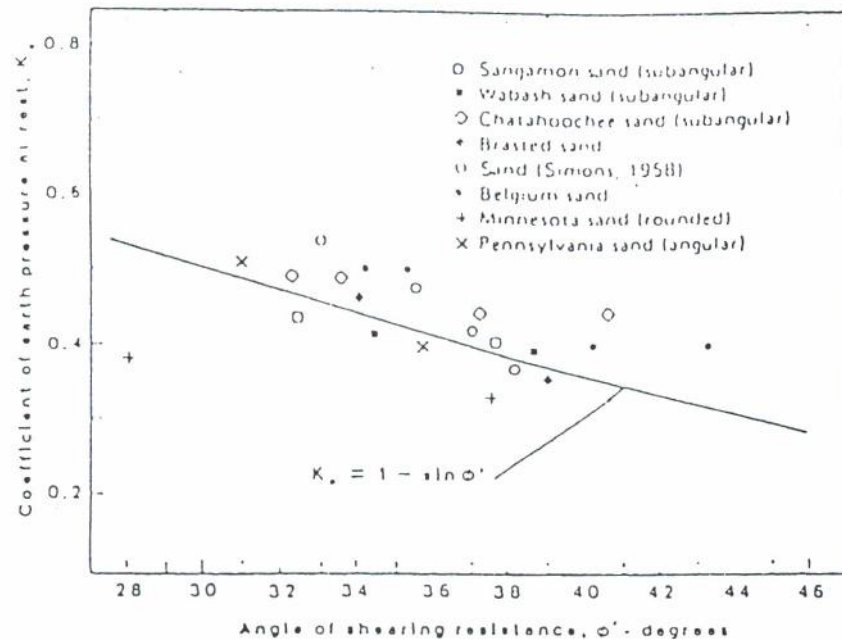
Soil description	Class*	Angle of shearing resistance, ϕ (deg)
Well-graded sand-gravel mixtures	GW	> 38
Poorly-graded sand gravel mixtures	GP	> 37
Silty gravels, poorly graded sand-gravel-silt	GM	> 34
Clayey gravels, poorly graded sand-gravel-clay	GC	> 31
Well-graded clean sand, gravelly sands	SW	38
Poorly-graded clean sands, gravelly sands	SP	37



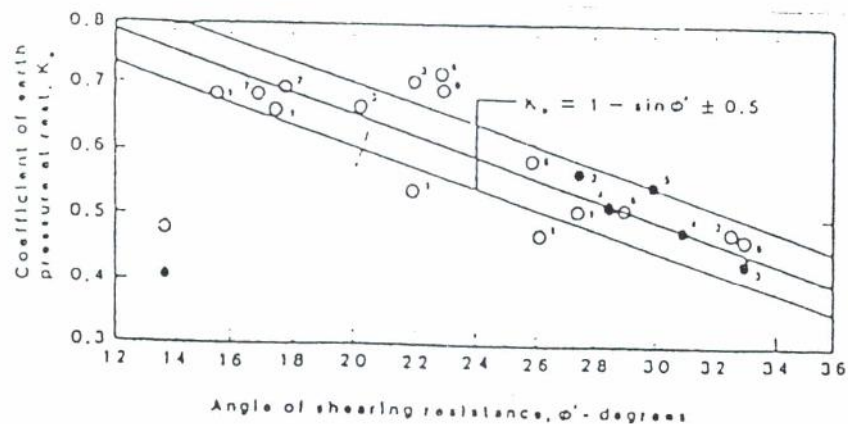
Gambar 3.21 : Pengaruh kepadatan kering (γ_d) serta kepadatan relatif (D_r) terhadap perubahan sudut geser dalam (ϕ) (US Navy, 1982)



Untuk menentukan tegangan tanah lateral, maka diperlukan suatu koefisien tekanan tanah lateral pada kondisi diam (at rest) yaitu K_0 . Pada tanah berbutir kasar besarnya $K_0 = 1 - \sin \phi$, seperti dapat dilihat pada gambar 3.24.

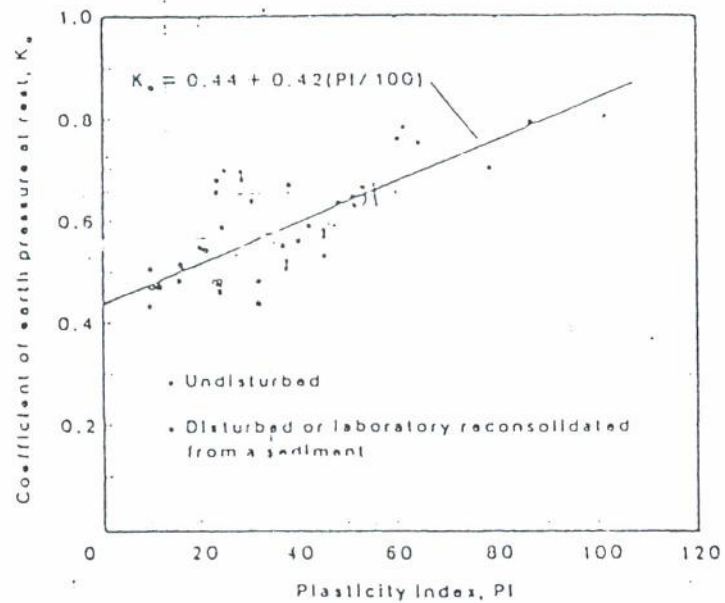


Gambar 3.24 : Korelasi antara koefisien tekanan tanah lateral pada kondisi diam (K_0) dengan sudut geser dalam (ϕ). (Al Hussaini and Townsend 1975).

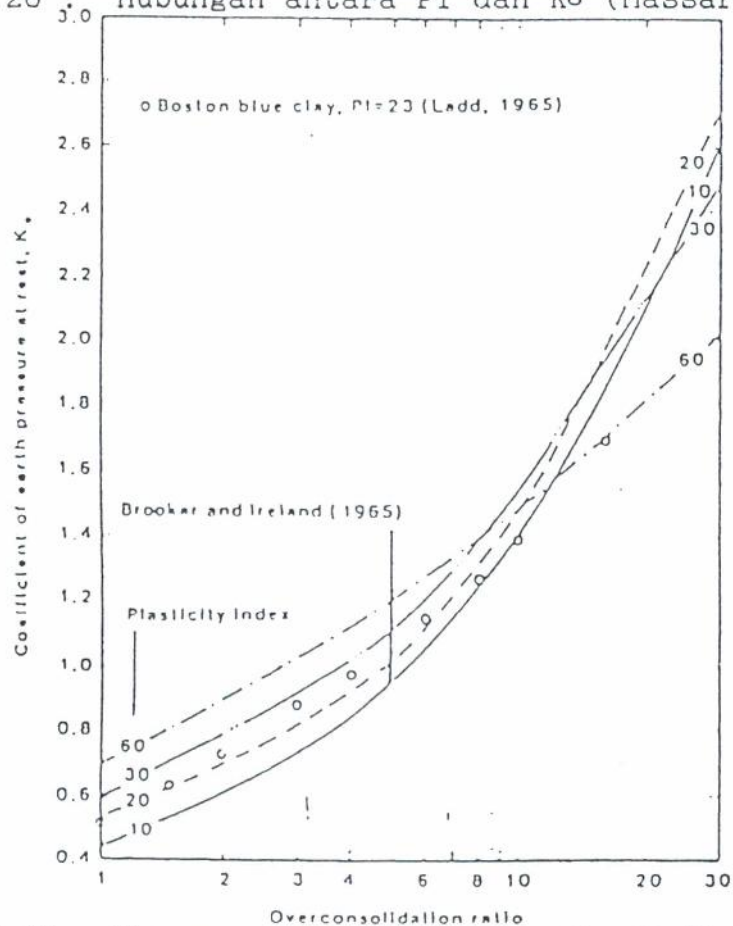


Gambar 3.25 : Korelasi antara koefisien tekanan tanah lateral pada kondisi diam (K_0) dengan sudut geser dalam (ϕ). (Ladd, Bishop, Simons et al)

Parameter indeks plastisitas tanah, menurut Massarsch, 1979, mempunyai hubungan dengan koefisien tekanan tanah lateral pada kondisi diam (K_0) seperti digambarkan pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 : Hubungan antara PI dan K_0 (Massarsch, 1979)



Gambar 3.27 : Hubungan antara OCR dan K_0 (Ladd, 1965)

3.6. California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) pertama-tama dipopulerkan pada tahun 1930 pada suatu divisi jalan raya di Californis , Amerika Serikat. CBR sendiri pada saat ini pemakaiannya sudah begitu luas terutama pada perencanaan design perkerasan jalan, perkerasan lapangan terbang, serta keperluan lainnya.

Nilai CBR diperoleh dari suatu uji penetrasi suatu piston dengan diameter tertentu, dimana nilai CBR diperoleh pada beban saat penetrasi 0,1 " dibagi suatu beban standard (pada CBR 100%).

$$\text{Nilai CBR} = \frac{\text{Beban pada penetrasi 0,1 " (lbs)}}{2 \times 1500 \text{ lbs.}}$$

Nilai CBR juga dilihat pada penetrasi 0,2 " dengan beban standard sebesar 3 x 1500 lbs. Jika nilai CBR pada penetrasi 0,1" > dari CBR pada penetarsi 0,2", maka nilai CBR yang dipakai adalah pada penetrasi 0.1 ". Jika nilai CBR pada penetrasi 0.2 " ternyata lebih besar dari 0.1 ", maka pengujian harus diulangi sekali lagi. Jika hasil pengujian ulang tersebut menunjukkan nilai CBR pada penetrasi 0.2" ternyata memang lebih besar dari 0.1 ", maka nilai CBR pada 0.2" yang dipakai, jika nilai CBR pada penetrasi 0,2" lebih kecil dari 0.1:, maka nilai CBR pada penetrasi 0,1" yang dipakai.

Uji CBR pada suatu contoh tanah yang dipadatkan dapat dilakukan di Laboratorium untuk keperluan design, dengan mempersiapkan contoh tanah yang dipadatkan berdasarkan pemadatan standard atau modified.

Sedangkan pengujian CBR dilapangan dilakukan untuk mengetahui nilai CBR yang terjadi di lapangan setelah proses pemadatan dilapangan di lakukan yang sebelumnya harus dilakukan pengujian kepadatan terlebih dahulu.

Nilai CBR pada umumnya cenderung semakin baik bila konsentrasi butiran yang kasar semakin tinggi kandungannya dalam suatu komposisi tanah. Sedangkan semakin tinggi kandungan partikel

kasar pada suatu tanah , maka indeks platisitasnya cenderung semakin mengecil.

Pada tabel 3.20 disajikan beberap tipe tanah dengan indeks plastisitas yang berbeda terhadap nilai CBR yang juga dipengaruhi oleh permukaan air tanah

Tabel 3.20 : Perkiraan nilai CBR dengan variasi gradasi butiran tanah dan indeks plastisitas

Type of soil	Plasticity index (%)	CBR (%)	
		Depth of water-table below formation level	
		More than 600mm	600mm or less
Heavy clay	70	2	1
	60	2	1.5
	50	2.5	2
	40	3	2
Silty clay	30	5	3
Sandy clay	20	6	4
	10	7	5
Silt	—	2	1
Sand (poorly graded)	non-plastic	20	10
Sand (well graded)	non-plastic	40	15
Well-graded sandy gravel	non-plastic	60	20

Black (1962) melakukan suatu penelitian hubungan antara indeks plastisitas dan variasi liquiditaty index terhadap nilai CBR, seperti terlihat pada gambar 3.28.

Agarwal dan Ghanekar (1970) meneliti sebanyak 48 jenis tanah halus di India , mendapatkan korelasi antara nilai CBR dengan batas cair (LL) dan kadar air optimum. Hubungan tersebut seperti tersaji dalam rumusan berikut :

$$CBR = 21 - 16.\log (W \text{ opt}) + 0,07.LL$$

dimana : W opt = kadar air optimu pada suatu contoh tanah yang dipadatkan.

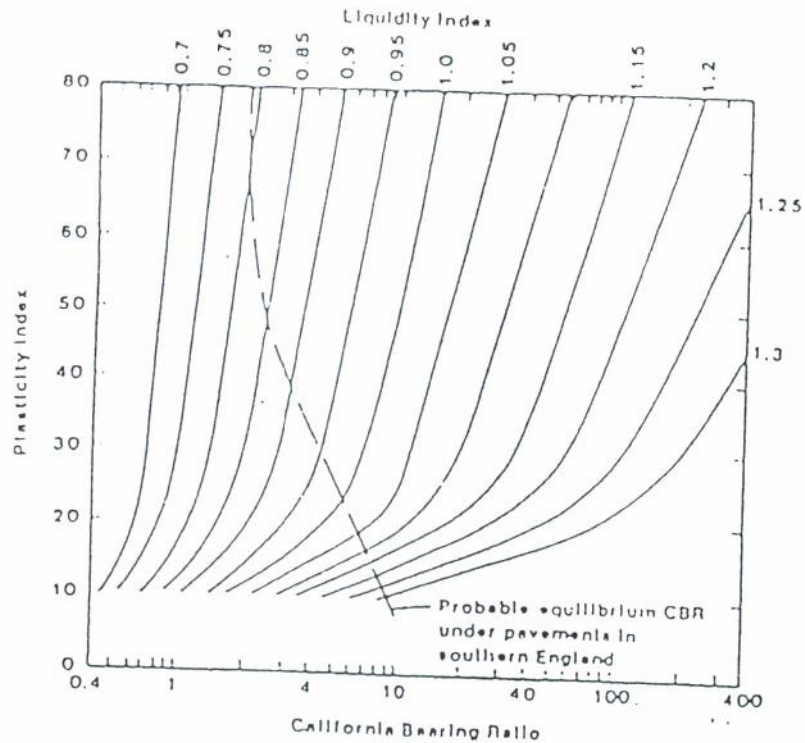
LL = batas cair.

Pada gambar 3.29 , suatu faktor koreksi untuk mendapatkan nilai CBR yang terendam, terhadap derajat kejenuhan tanah (Sr).

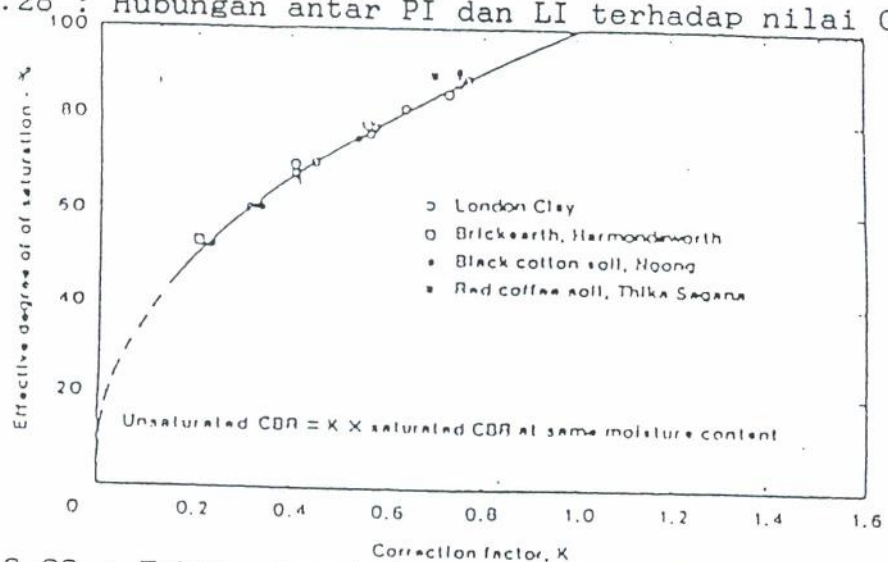
Pada tanah berbutir halus dapat ditentukan nilai Suitability index (S) , yaitu :

$$S = \frac{A}{LL - \log (PI)}$$

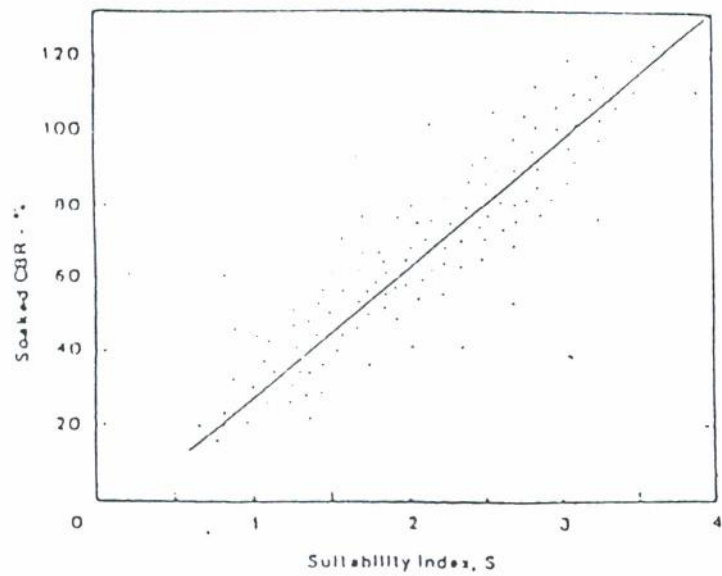
dimana : A = prosentase lolos (%) ayakan ukuran 2,4 mm
 Dengan menentukan nilai S, maka nilai CBR terndam dapat dicari dengan menggunakan garik gambar 3.30.



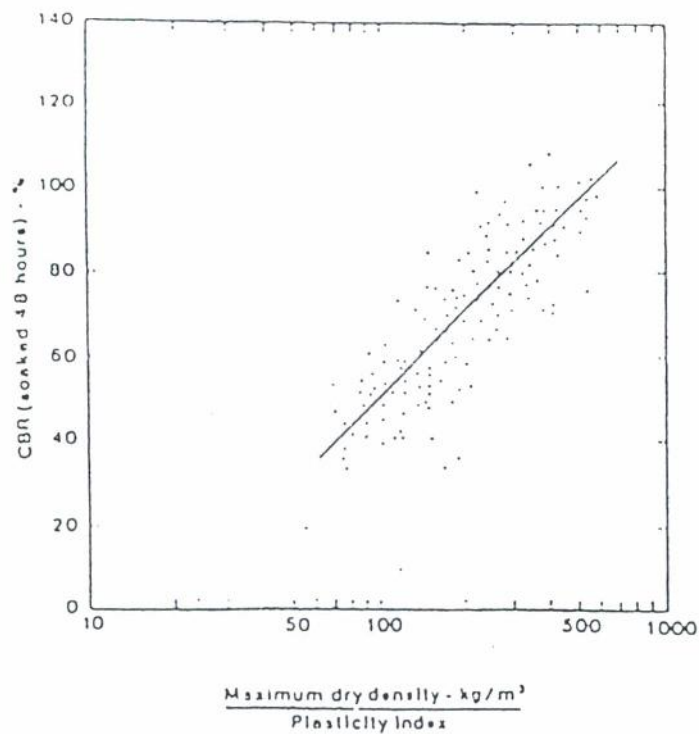
Gambar 3.28 : Hubungan antar PI dan LI terhadap nilai CBR



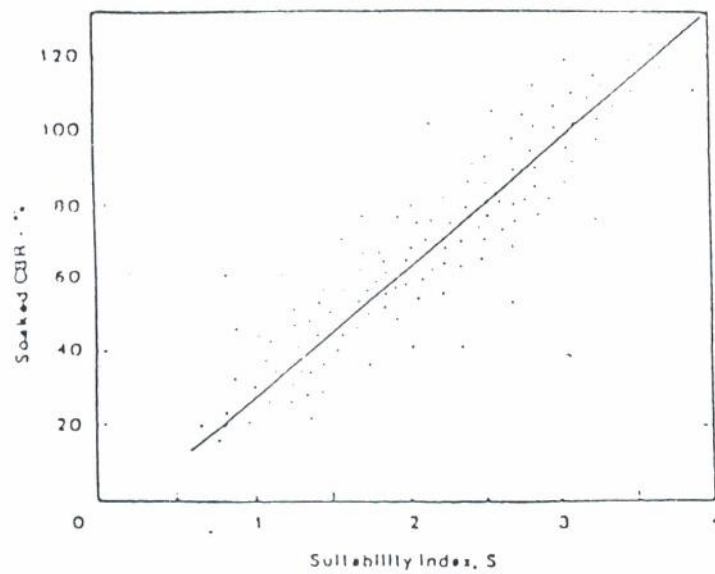
Gambar 3.29 : Faktor koreksi untuk nilai CBR rerendam.



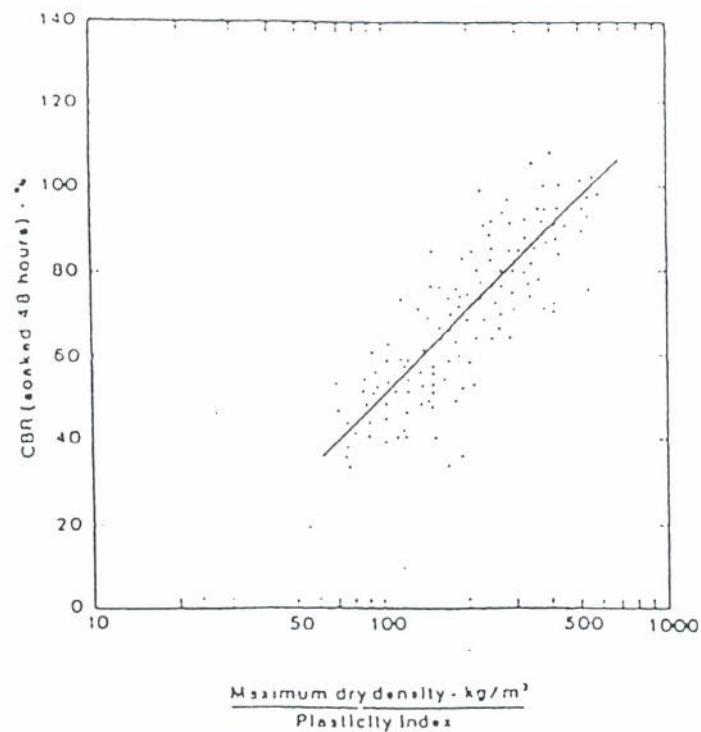
Gambar 3.30 : Hubungan antara Suitability index dengan nilai CBR terendam.



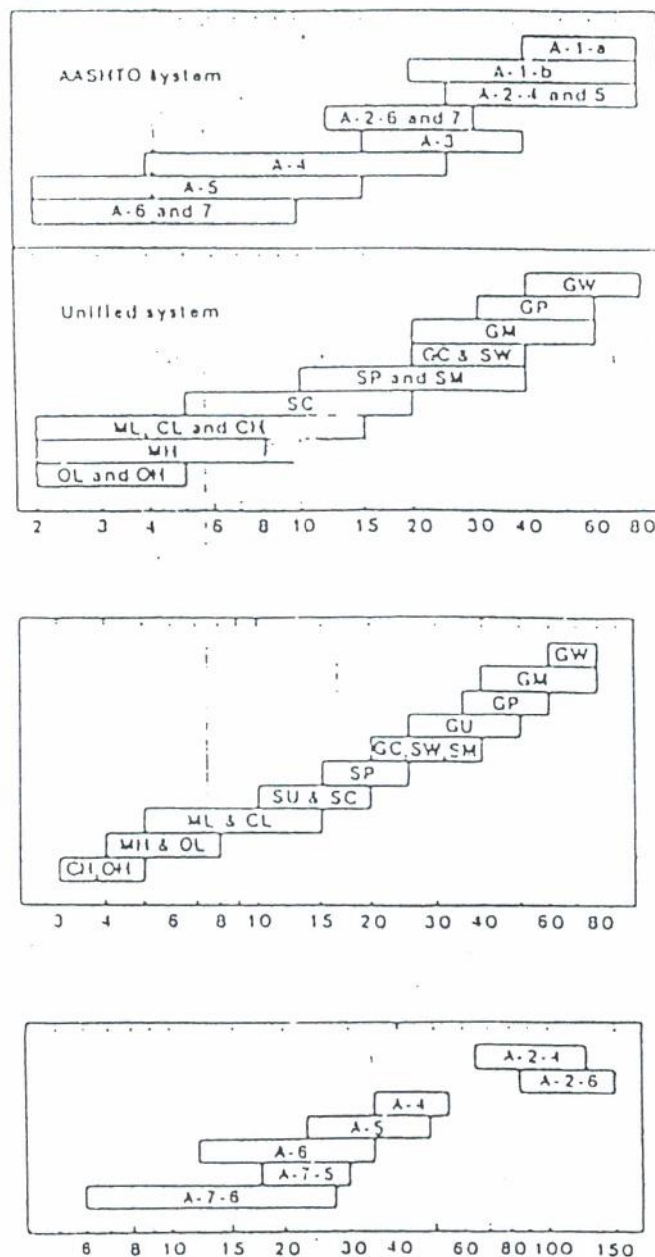
Gambar 3.31 : Hubungan antara ratio γ_d max/PI terhadap nilai CBR terendam (selama 48 jam) (Graft Jhonson , 1972)



Gambar 3.30 : Hubungan antara Suitability index dengan nilai CBR terendam.



Gambar 3.31 : Hubungan antara ratio $\gamma_d \text{ max}/PI$ terhadap nilai CBR terendam (selama 48 jam) (Graft Jhonson , 1972)



Gambar 3.32 : Hubungan antara klasifikasi tanah AASHTO dan Unified terhadap nilai CBR (Liu, 1967 , US Army Corps of Eng 1970, and Morin and Todor, 1975)

3.7. Penyusutan dan Karakteristik Pengembangan.

Pada tanah yang ekspansif akan memiliki suatu perubahan isi (volume) tanah yang besar dengan berkurangnya serta bertambahnya kandungan air (kadar air) nya. Tanah atau lempung yang ekspansif ini memiliki kandungan mineral tertentu seperti kandungan mineral montmorillonit yang suka akan air.

Batas kadar air pada tanah dimana tanah mulai menyusut disebut batas susut (shrinkage limits) yang didapat dari percobaan di laboratorium.

Pengujian pengembangan bebas (free swell) dilakukan pada suatu contoh tanah dalam suatu cetakan yang kemudian direndam. Besarnya pengembangan ini didefinisikan sebagai pengembangan bebas (free swell).

$$\text{Free swell} = \frac{(\text{volume akhir}) - (\text{volume mula-mula})}{\text{volume mula-mula}} \times 100\%$$

Pada tabel 3.21 dapat dilihat pengaruh beberapa mineral lempung terhadap pengembangan bebas.

Tabel 3.21 : Data Free swell dari beberapa mineral lempung (Mielenz and King , 1955).

<i>Ca-Mont</i>	
Forest, Mississippi	145
Wilson Creek Dam, Colo.	95
Davis Dam, Arizona	45-85
Osage, Wyoming (prepared from Na-Mont)	125
<i>Na-Mont</i> , Osage, Wyoming	
Na-Hectorite, Hector, California	1,400-1,600
	1,600-2,000
<i>Illite</i>	
Fulton, Illinois	115-120
Morris, Illinois	60
Tazewell, Virginia	15
<i>Kaolinite</i>	
Mesa Alta, New Mexico	5
Macon, Georgia	60
Langley, N. Carolina	20
Halloysite, Santa Rita, New Mexico	70

Tabel 3.22 : Rentang nilai Atterberg limit pada beberapa mineral lempung.

Clay mineral	Dominant pore water cation			
	Ca ⁺⁺		Na ⁺	
	PL	LL	PL	LL
Montmorillonite	65-79	123-177	86-97	280-700
Illite	36-42	69-100	34-41	61-75
Kaolinite	26-36	34-73	26-28	29-52

Potensial Pengembangan (Swelling potential) diperoleh dari suatu tanah yang dipadatkan dengan cara standard atau modified yang direndam dan dicatat besar pengembangannya. Penjelasan teknis dari potensial pengembangan tanah ini dapat dilihat pada tabel 3.23 berikut :

Tabel 3.23 : Deskripsi terhadap nilai potensial pengembangan

Swelling potential (%)	Description
0-1.5	Low
1.5-5	Medium
5-25	High
25+	Very high

Hubunagn lain antara potensial swelling terhadap parameter lainnya disajikan oleh Seed et al (1962) sebagai berikut :

$$S = 60 K (PI)^{2.44}$$

dimana : S = potensial pengembangan

K = konstanta K = 3.6×10^{-5}

PI = indeks plastisitas.

Persamaan diatas dapat dipakai bila kandungan mineral lempungnya antara 8% sampai dengan 65%. Hasil tersebut memiliki tingkat akurasi sebesar 33% dari suatu percobaan di laboratorium.

Korelasi antara potensial pengembangan dengan indeks plastisitas juga ditemukan oleh Chen ,1982 yang didasari pada 321 contoh tanah tidak terganggu sebagai berikut :

$$S = B \cdot e^{A \cdot (PI)}$$

dimana : A = 0.0838

B = 0.2558

e = bilangan eksponensial e = 2,718

PI = indeks plastisitas.

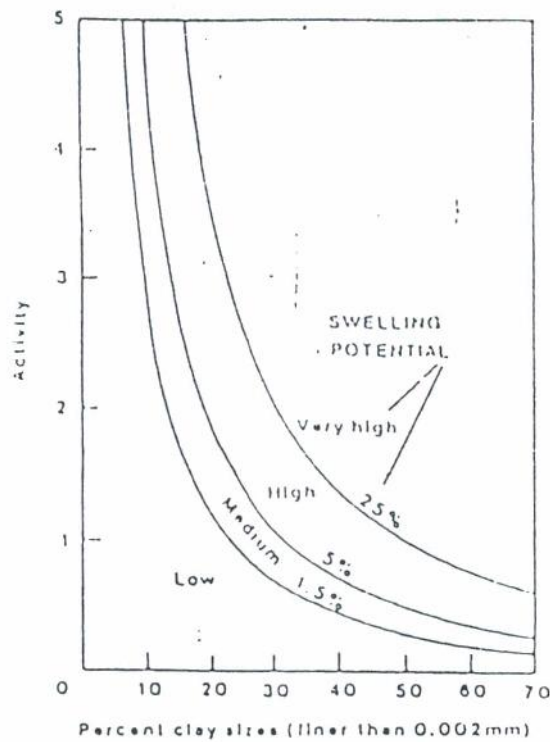
Untuk mengidentifikasi potensial pengembangan dilihat dari indeks plastisitas tanah , dapat dilihat pada tabel 3.24.

Tabel 3.24 : Identifikasi potensial pengembangan terhadap parameter PI.

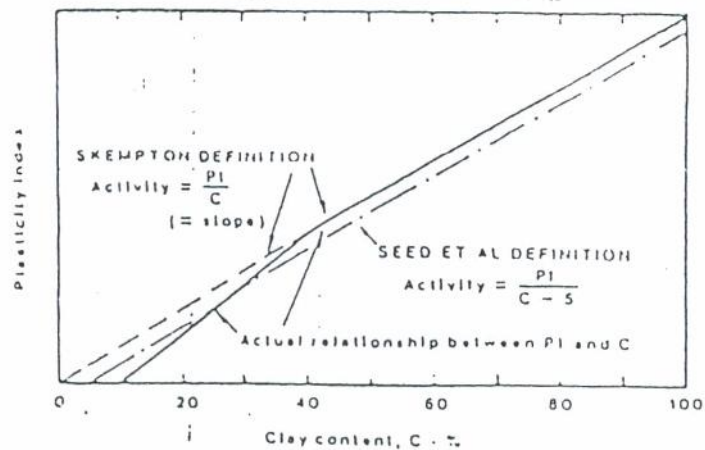
<i>Swelling potential</i>	<i>Plasticity Index¹</i>	<i>Plasticity Index¹</i>
Low (0-1.5%)	0-15	0-15
Medium (1.5-5%)	10-30	15-24
High (5-25%)	20-55	25-46
Very high (25+ %)	> 40	> 46

Tabel 3.25 : Potensial pengembangan dilihat dari nilai batas susut

<i>Potential for expansion</i>	<i>Shrinkage limit (%)</i>	<i>Linear shrinkage (%)</i>
Critical	< 10	> 8
Marginal	10-12	5-8
Non-critical	> 12	0-5



Gambar 3.33 : Hubungan antara prosentase lolos 0.002mm dengan aktifitas terhadap potensial pengembangan



Gambar 3.34 : Hubungan antara prosentase lempung indeks plastisitas (seed, 1962)

Tabel 3.26 : Perkiraan potensial pengembangan dan perubahan volume dari lempung (Holtz and Gibb 1956)

Data from index tests				
Colloid content % finer than 0.0075 mm	PI	SL	Probable expansion % total volume change	Potential for expansion
> 28	> 35	< 11	> 30	Very high
20-31	25-41	7-12	20-30	High
13-23	15-28	10-16	10-20	Medium
< 15	< 18	> 15	< 10	Low

Hubungan antara potensial pengembangan terhadap tekakan vertikal P , batas cair (LL) , kadar air mula-mula menurut Williams (1957) Van de Merwe (1964) :

$$\text{Swell (\%)} = 0.000411 (\text{WLL})^{4.17} (\text{P})^{-0.986} (\text{Wi})^{-2.33}$$

$$\text{dimana : WLL} = (\text{LL}) \left\{ \frac{\% < 0.424 \text{ mm}}{100} \right\}$$

P = Tekanan Vertikal (KN/m²) dibawah permukaan bidang pengembangan.

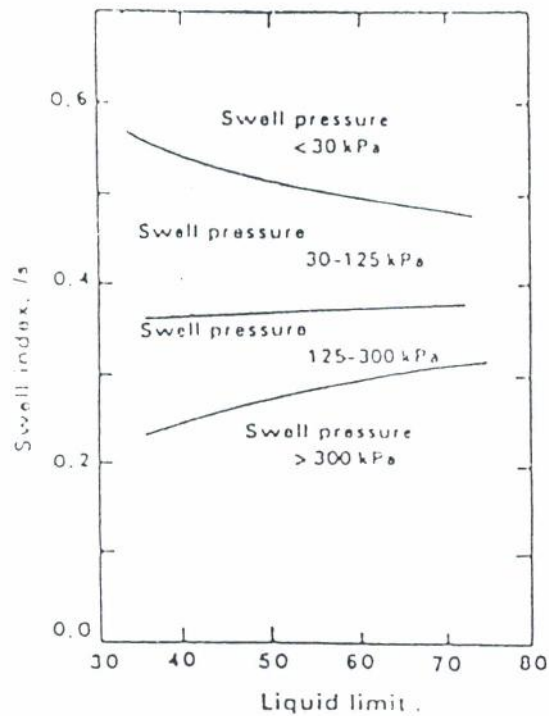
Wi = Kadar air mula-mula.

LL = Batas cair.

Tekanan Pengembangan (Swelling pressure) dapat diperoleh dari pengujian satu dimensi dari alat odometer test, dapat dilakukan dengan cara free swell , maupun dengan cara constant volume.

Hubungan antara batas cair dan swelling index Is , dimana

$Is = W_n/LL$ dapat memperkirakan tekanan pengembangan yang terjadi. Swelling index semakin kecil, maka semakin besar tekanan pengembangan yang akan terjadi, seperti digambarkan dalam gambar 3.35 berikut ini :



Gambar 3.35 : Hubungan antara batas cair dengan Swelling index terhadap tekanan pengembangan.

Tabel 3.27 : Perkiraan besarnya tekanan pengembangan (Chen, 1988)

Laboratory and field data			Probable expansion percent total volume change	Swelling pressure, (kN/m ³)	Degree of expansion
Percentage passing 75µm sieve	Liquid limit, (%)	Standard penetration resistance, blows/100mm			
> 35	> 60	> 30	> 10	> 1000	Very high
60-95	40-60	20-30	3-10	250-1000	High
30-60	30-40	10-20	1-3	150-250	Medium
< 30	< 30	< 10	< 1	< 50	Low

IV. PENUTUP

Dari uraian yang telah dibahas pada bab 1, bab 2 dan bab 3, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang menyangkut index properties tanah (sidat indeks tanah) antara lain :

1. Index properties tanah, adalah beberapa parameter tanah dasar yang sangat dibutuhkan nilainya yang selanjutnya menentukan dari golongan tanah (klasifikasi tanah) serta sifat-sifat tanah lainnya. Kesalahan dalam menentukan parameter index properties tanah harus dapat diketahui lebih dini agar supaya dapat tidak berdampak luas terhadap kesalahan dalam menentukan parameter-parameter tanah lainnya.
2. Agar supaya didapat hasil parameter dari index properties tersebut yang akurat, maka perlu diperhatikan prosedur pengujian di laboratorium haruslah mengikuti standar-standar pengujian yang telah ditentukan (standar ASTM dll).
3. Pemakaian hasil parameter dari index properties tanah telah sangat luas untuk menentukan parameter-parameter tanah lainnya dengan memakai suatu hubungan atau korelasi yang telah banyak dihasilkan oleh peneliti-peneliti. Walaupun demikian harus tetap diperhatikan bahwa hubungan suatu parameter index properties tanah dengan parameter tanah lainnya yang dihasilkan disuatu tempat maka hasilnya tidak akan sama persis dengan penelitian yang sama ditempat lain. Sehingga suatu hasil penelitian tentang korelasi antar parameter tanah tidak dapat digeneralisir hasilnya dan berlaku untuk jenis tanah yang sama dari asal tanah yang lain. Akan tetapi perilaku dari korelasi antara kedua parameter tersebut mungkin sama antara hasil penelitian disuatu tempat dengan ditempat lain yang jauh berbeda.

REFERENSI :

1. Michael Carter and Stephen P Bentley, CORRELATION OF SOIL PROPERTIES , Pentech Press, 1991.
2. R.F Craig , SOIL MECHANICS , Departement of Civel Engineering University of Dundee, Van Nostroad (UK) Co. Ltd, 1987.
3. Braja M Das, PRINCIPLES OF GEOTECHNICAL ENGINEERING, The University of Texas El Paso, PWS Publishers, 1985.
4. Braja M Das, PRINCIPLES OF FOUNDATION ENGINEERING, The University of Texas El Paso, Kai Fa Book Company, 1984.
5. Robert D Holtz, William D Kovacks, AN INTRUDUCTION TO GEOTECHNICAL ENGINEERING, Prentice Hall, Inc, 1981.
6. Raymond N Young, Benno P Warkentin, SOIL PROPERTIES AND BEHAVIOUR, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.