

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Klasifikasi Tanah**

Umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Dalam banyak masalah teknis, pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat ataupun kelakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini yang kemudian disebut klasifikasi.

Klasifikasi tanah sangat membantu perencana dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang lalu. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan ( dan percobaan sedimentasi ) dan plastisitasnya.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang dapat digunakan. Keduanya adalah *Unified Soil Classification System* dan AASHTO. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitasnya.

### 3.1.1 Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada sistem *Unified*, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar ( kerikil dan pasir ) jika lebih dari 50% tinggal dalam saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus ( lanau dan lempung ) jika lebih dari 50% lewat saringan nomer 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang bisa dilihat dalam Lampiran 11.a.

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah :

G	= kerikil ( <i>gravel</i> )
S	= pasir ( <i>sand</i> )
C	= lempung ( <i>clay</i> )
M	= lanau ( <i>silt</i> )
O	= lanau atau lempung organik ( <i>organic silt or clay</i> )
Pt	= tanah gambut dan tanah organik tinggi ( <i>peat dan highly organic soil</i> )
W	= gradasi baik ( <i>well-graded</i> )
P	= gradasi buruk ( <i>poorly-graded</i> )
H	= plastisitas tinggi ( <i>high-plasticity</i> )
L	= plastisitas rendah ( <i>low-plasticity</i> )

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem *Unified* adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan tanah berupa butiran halus atau butiran kasar dengan cara menyaringnya dengan saringan nomer 200.

b. Jika tanah berupa butiran kasar :

1. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butirannya.
2. Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase yang lolos kurang dari 50 %, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai pasir.
3. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi dengan menghitung  $C_u$  dan  $C_c$ . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW ( bila kerikil ) atau SW ( bila pasir ). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP ( bila kerikil ) atau SP ( bila pasir ).
4. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol *dobel* dan mempunyai sifat keplastisan ( GW – GM, SW – SM, dsb )
5. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, harus diadakan pengujian batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya ( GM, GC, SM, SC, GM - GC atau SM – SC ).

c. Jika tanah berbutir halus :

1. Menguji batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50

klasifikasikan sebagai H ( plastisitas tinggi ) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L ( plastisitas rendah ).

2. Untuk H ( plastisitas tinggi ), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik ( OH ) atau anorganik ( MH ). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
3. Untuk L ( plastisitas rendah ), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik ( OL ) atau anorganik ( ML ) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
4. Jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol *dobel*.

### 3.1.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO ( *American Association of State Highway and Transportation Officials Classification* ) berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Karena sistem ini ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut, penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-subkelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus

empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Sistem klasifikasi AASHTO, dapat dilihat dalam Lampiran 11.b.

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F - 35) [ 0,2 + 0,005 (LL - 40) ] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.1)$$

dengan :

- GI = indeks kelompok (*group indeks*)
- F = persen material lolos saringan no. 200
- LL = batas cair
- PI = indeks plastisitas

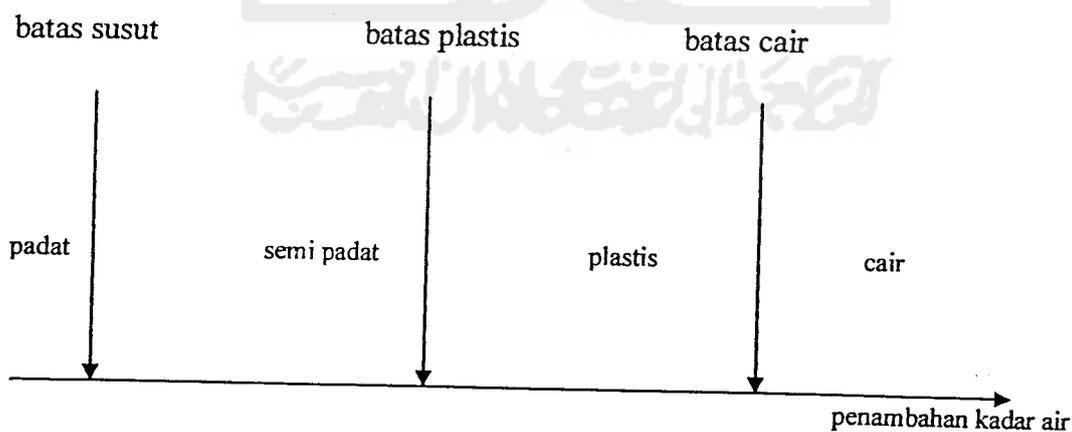
Khusus kelompok A-1, A-3, A-2-4, dan A-2-5 nilai GI tidak diperhitungkan. GI yang diperoleh nilainya dibulatkan tanpa desimal. Jika nilainya negatif, maka GI dianggap sama dengan nol. Khusus kelompok A-2-6 dan A-2-7 nilai GI dihitung dari persamaan 3.1 bagian PI saja. Makin rendah nilai GI, maka makin baik bahan tersebut untuk *subgrade*.

### 3.2 Batas-batas *Atterberg*

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

Tanah mungkin berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat tergantung pada kadar airnya. Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi tergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempungnya.

Hary Christady ( 1992 ), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi dari tanah kohesif dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Batas-batas *Atterberg*  
( Hary Christady H, 1992 )

a. Batas Cair ( *Liquid Limit* )

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

b. Batas Plastis ( *Plastic Limit* )

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

c. Batas Susut ( *Shrinkage Limit* )

Batas susut ( SL ) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air di mana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

d. Indeks Plastisitas ( *Plasticity Index* )

Indeks plastisitas ( PI ) adalah selisih batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL \quad ( 3.2 )$$

Indeks plastisitas akan merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk.

Batas-batas *Atterberg* dari mineral lempung terdapat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Batas-batas Atterberg dari Mineral Lempung  
(Lambe & Whitman 1978)

Mineral	Ion Penukar	LL (%)	PL (%)	PI (%)	SL (%)
Montmorillonite	Na	710	54	656	9,9
	K	660	98	562	9,3
	Ca	510	81	429	10,5
	Mg	410	60	350	14,7
	Fe	290	75	215	10,3
	Fe a	140	73	67	-
Illite	Na	120	53	67	15,4
	K	120	60	60	17,5
	Ca	100	45	55	16,8
	Mg	95	46	49	14,7
	Fe	110	49	61	15,3
	Fe a	79	46	33	-
Kaolinite	Na	53	32	21	26,8
	K	49	29	20	-
	Ca	38	27	11	24,5
	Mg	54	31	23	28,7
	Fe	59	37	22	29,2
	Fe a	56	35	21	-
Attapulgite	H	270	150	120	7,6

e. Indeks Cair ( *Liquidity Index* )

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

$$LI = \frac{W_n - PL}{LL - PL} = \frac{W_n - PL}{PI} \quad (3.3)$$

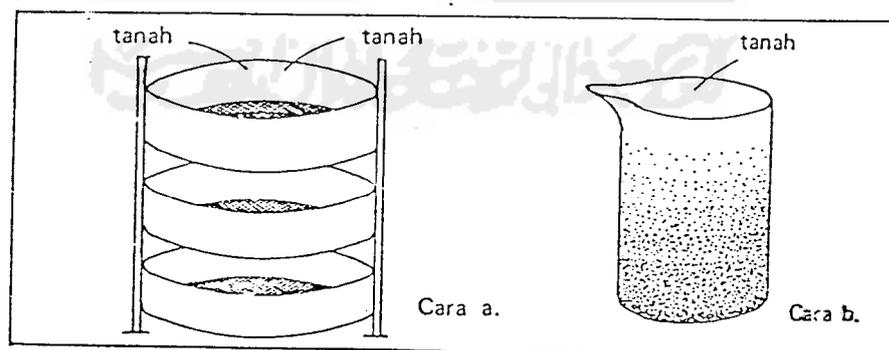
Dengan  $W_n$  adalah kadar air aslinya. Dapat dilihat dari persamaan 3.3 bahwa jika  $W_n = LL$  , maka indeks cair akan sama dengan 1. Sedang, jika  $W_n = PL$ , indeks cair akan sama dengan nol. Jadi, untuk lapisan tanah asli yang dalam kedudukan plastis, nilai  $LL > W_n > PL$ . Nilai indeks cair akan bervariasi antara 0 dan 1. Lapisan tanah asli dengan  $W_n > LL$  akan mempunyai  $LI > 1$ .

### 3.3 Penentuan Ukuran Butir Tanah

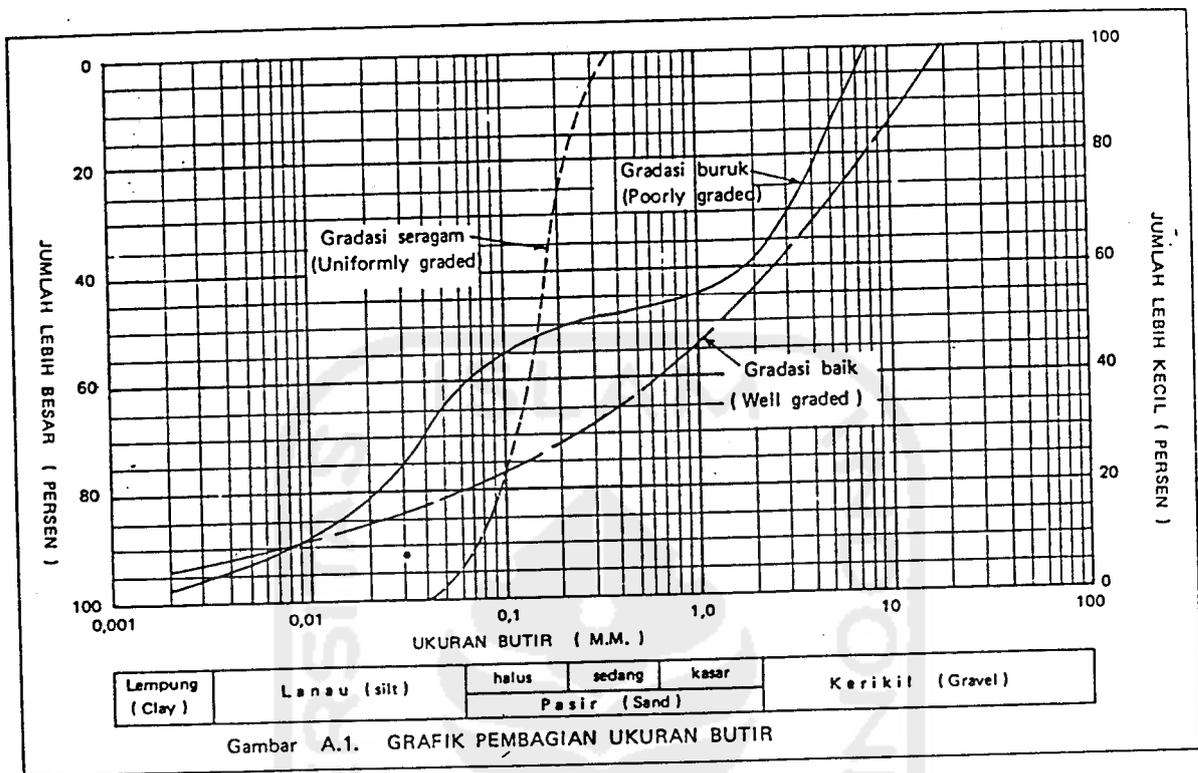
Sifat-sifat suatu macam tanah tertentu banyak tergantung kepada ukuran butirnya. Besarnya butir juga merupakan dasar untuk klasifikasi atau pemberian nama kepada macam-macam tanah tertentu.

Penentuan ukuran butiran tanah dilakukan dengan memakai dua cara sebagai berikut :

- a. Untuk butir yang kasar dipakai cara saringan, yaitu tanah dikeringkan dan disaring pada serangkaian saringan dengan ukuran lubang tertentu, mulai dari yang kasar sampai yang halus. Dengan demikian butiran tanah terpisah menjadi beberapa bagian dengan batas-batas ukuran yang diketahui.
- b. Untuk butir yang lebih kecil daripada pasir halus dipakai cara pengendapan ( *sedimentation* ). Tanah dicampur dengan air ( biasanya sebanyak 1000 cc ) dan diaduk kemudian dibiarkan berdiri supaya butir-butir mengendap. Cara ini disebut analisis basah ( *wet analysis* ) atau percobaan hidrometer ( *hydrometer analysis* ).



Gambar 3.2 Cara Penentuan Ukuran Butir Tanah  
( L.D. Wesley, 1977 )



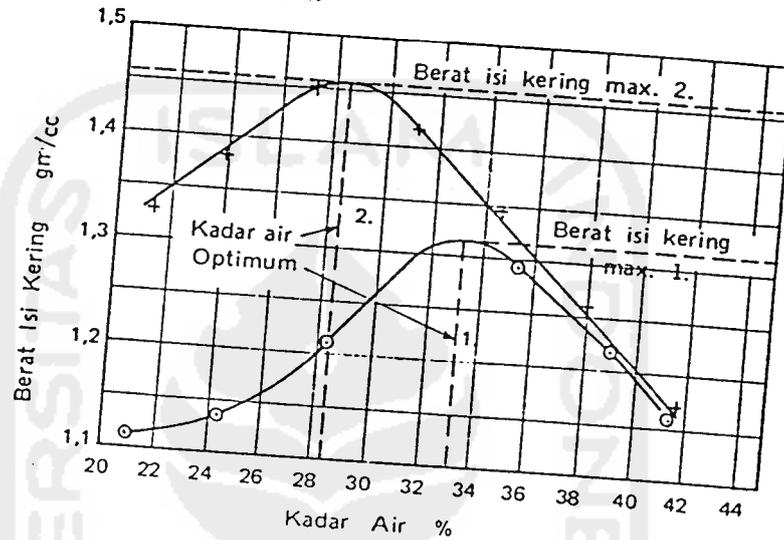
Gambar 3.3 Grafik Pembagian Ukuran Butiran  
(L.D.Wesley, 1977)

### 3.4 Pengujian Pematatan

Pematatan sering didefinisikan sebagai usaha meningkatkan berat volume kering dengan cara dinamis. Pematatan tanah dapat berpengaruh terhadap kualitas tanah yaitu :

- a. mempertinggi kuat geser tanah,
- b. mengurangi sifat mudah mampat,
- c. mengurangi permeabilitas, dan
- d. mengurangi perubahan volume sebagai akibat pengurangan kandungan air maksimum yang dapat mengisi pori-pori.

Uji pemadatan bertujuan untuk mencari hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah ( berat volume kering ) untuk tanah tertentu yang dipadatkan dengan tenaga pemadatan tertentu. Kemudian dari grafik hubungan antara kadar air dan berat volume kering ditentukan kepadatan maksimum dan kadar air optimum pada tenaga pemadat tertentu.



Gambar 3.4 Pengaruh Kadar Air Dan Daya Pemadatan Terhadap Kepadatan Tanah (L.D.Wesley, 1977)

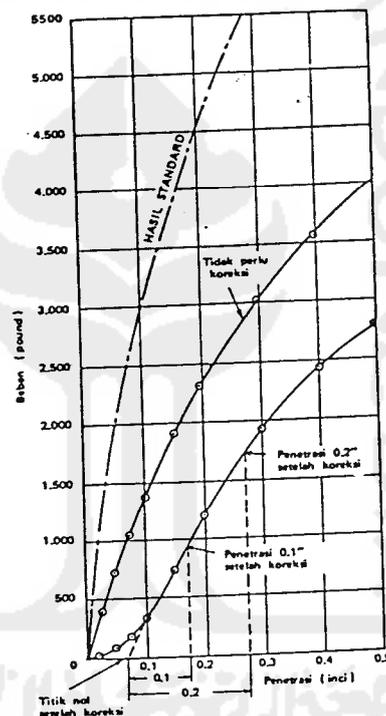
Hubungan antara berat volume kering ( $\gamma_k$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1 + w} \quad (3.4)$$

### 3.5 Pengujian CBR

Uji CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai pada pembuatan perkerasan jalan raya. Nilai CBR selanjutnya dipakai untuk penentuan tebal perkerasannya. Uji ini dikembangkan oleh California State Highway Department, Amerika Serikat pada tahun 1930.

Prinsip pengujian CBR adalah dengan menembus sampel tanah dengan kepadatan tertentu dalam suatu tabung menggunakan alat penekan standar. Alat penembus/penetrasi yang digunakan adalah sebuah piston berpenampang bulat dengan luas 3 in<sup>2</sup>. Kecepatan penetrasi dilakukan secara konstan sebesar 0,05 in per menit. Data hasil uji berupa hubungan antara beban penetrasi dan besarnya penetrasi dibuat grafik seperti terlihat pada contoh grafik hasil percobaan CBR pada Gambar 3.5.



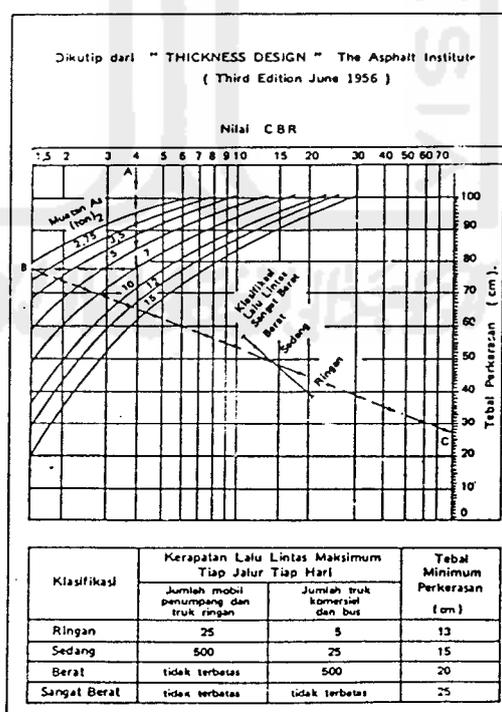
Gambar 3.5 Contoh Grafik Hasil Pengujian CBR  
(L.D.Wesley, 1997)

Nilai CBR ( dinyatakan dalam persentase ) dihitung berdasarkan perbandingan antara beban penetrasi suatu piston CBR pada suatu bahan uji dengan beban penetrasi bahan standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada kedalaman penetrasi 0,1 in dan 0,2 in.

Kekuatan *subgrade* dipengaruhi oleh kadarairnya. Biasanya semakin meningkat kadar air didalam *subgrade* akan menjadi semakin kecil nilai CBR-nya.

Untuk memperhitungkan pengaruh air terhadap kekuatan *subgrade* kelak setelah dioperasikan, maka tanah sampel pada pengujian CBR biasanya direndam dalam air selama 4 hari untuk mengamati pengembangan volume sampel dan pengurangan nilai CBR akibat perendaman.

Nilai CBR yang diperoleh kemudian dipakai untuk memperhitungkan tebal perkerasan yang akan dibuat di atas lapisan tersebut. Semakin besar nilai CBR-nya, maka tebal perkerasannya akan semakin tipis. Di atas suatu bahan dengan nilai CBR tertentu, tebal perkerasan tidak boleh kurang dari suatu angka tertentu. Gambar 3.6 menyajikan perhitungan sederhana dengan grafik untuk menentukan tebal perkerasan menurut *The Asphalt Institute*.



Gambar 3.6 Grafik Penentuan Tebal Perkerasan Jalan Berdasar Nilai CBRSubgrade ( L.D. Wesley, 1997 )

### 3.6 Pengujian Tekan Bebas

Pengujian ini digunakan untuk menentukan kuat geser tanah kohesif secara sederhana. Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi sekitar dua kali diameter, ditempatkan pada alat tekan bebas kemudian diberi beban tekanan dengan kecepatan deformasi 1,5 mm tiap menit. Dari data pengujian dibuat grafik hubungan antara tekanan dan deformasi yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan bebas tanah. Pengujian ini identik dengan pengujian *triaksial* dengan cara tanpa terkonsolidasi-tanpa terdrainasi.

Nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) untuk beberapa jenis tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai Kuat Tekan Bebas

No	Kondisi tanah lempung	$q_u$ ( kg/cm <sup>2</sup> )
1.	Lempung keras	> 4,00
2.	Lempung sangat kaku	2,00 – 4,00
3.	Lempung kaku	1,00 – 2,00
4.	Lempung sedang	0,50 – 1,00
5.	Lempung lunak	0,25 – 0,50
6.	Lempung sangat lunak	< 0,25

Sumber : Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 1992