

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Studi pustaka adalah suatu pembahasan yang berdasarkan pada bahan-bahan buku referensi yang bertujuan untuk memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk menggunakan rumus-rumus tertentu dalam mendesain sesuatu.

Mayoritas tipe tanah pada *subgrade* Jalan 4 PT. Caltex Pasifik Indonesia di kawasan Duri Steam Flood adalah tanah lempung berpasir. Beberapa material tanah dibawah *pavement* jalan tersebut juga berupa tanah berlempung. Alinyemen vertikal pada lokasi terjadinya kerusakan lebih besar dibandingkan tanah sekitarnya bersebelahan dengan kedua sisi *pavement* adalah suatu saluran yang mana permukaan airnya berfluktuatif antar musim hujan dan yang kering.

#### **2.2. Perkerasan Jalan Raya**

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai dapat berupa batu pecah, batu kali, batu belah maupun stabilisasi tanah sedangkan bahan ikat bisa berupa aspal, semen atau tanah liat.

Secara umum, baik *Rigid Pavement* maupun *Flexible Pavement* terdiri dari lapisan-lapisan perkerasan. Lapisan-lapisan ini bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang tertekan dan dipadatkan.

Lapisan-lapisan tersebut adalah :

- a. Lapisan permukaan (*surface course*)
  - b. Lapisan Pondasi (*base and sub base course*)
  - c. lapisan tanah dasar (*sub grade*)
- a. Lapisan Permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan perkerasan yang paling atas. Lapisan ini berfungsi antara lain sebagai berikut :

- Lapis perkerasan menahan beban roda, mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa layanan.
- Lapisan kedap air, air hujan yang jatuh tidak merembes ke dalam lapisan perkerasan sehingga melemahkan lapisan-lapisan dibawahnya.
- Lapisan aus, karena menderita gaya gesekan dengan roda.
- Lapisan penyebar beban ke lapisan dibawahnya sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang lebih jelek daya dukungnya.

- b. Lapisan Pondasi (*base / sub base course*)

Lapisan pondasi perkerasan adalah lapisan antara lapisan permukaan dengan subgrade. Adapun fungsi lapisan pondasi adalah :

- bagian perkerasan yang menahan gaya lintang roda dan menyebarkan ke lapisan yang dibawahnya (*subgrade*).
- Lapisan peresapan agar air tanah tidak berkumpul
- Bantalan dari lapisan permukaan.

Bahan-bahan untuk lapisan pondasi harus kuat sehingga dapat menahan beban-beban yang berada di atasnya. Sebelum menentukan suatu bahan yang digunakan sebagai bahan pondasi hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sesuai dengan persyaratan teknis.

Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur maupun semen Portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan agar didapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan struktur perkerasan.

c. Tanah Dasar (subgrade)

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan tanah galian atau tanah permukaan timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan yang lainnya. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan tergantung dari sifat-sifat daya dukung tanah. Secara geoteknis, daya dukung tanah ditentukan oleh banyak hal. Pentingnya kekuatan dari tanah dasar menjadi point utama dalam ukuran kekuatan dan keawetan struktur perkerasan selama umur layanan. Umumnya permasalahan yang terjadi menyangkut tanah dasar berupa perubahan bentuk tetap, sifat mengembang dan daya dukung tidak merata. Bahan *subgrade* akan berpengaruh terhadap daya dukung tanah dasar tersebut. Semakin bagus spek tanah untuk *subgrade* maka akan semakin besar daya dukung tanah tersebut. Terutama untuk tanah dasar berupa tanah timbunan, maka perlu diperhatikan beberapa hal sehubungan dengan daya dukung tanah tersebut. Antara lain :

- Klasifikasi tanah, berupa sifat butiran, plastisitas tanah, sifat teknis tanah serta nilai CBR tanah. Kesemua hal itu berhubungan dengan kepadatan tanah, semakin padat tanah dasar maka akan semakin tinggi daya dukungnya.
- Kadar air, semakin tinggi kadar air maka daya dukung tanah itu akan semakin jelek.
- Kontrol pemadatan baik dilaboratorium maupun lapangan.

### **2.3. Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah didasarkan pada distribusi ukuran butir, sifat plastisitas tanah, sifat teknis tanah, dan batas cair. Sampai saat ini sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan dalam bidang teknik sipil dibagi atas :

1. Sistem Butiran
2. Sistem AASHTO (*American Assiation of State Highway and Transportation*)
3. Sistem Tekstur

#### **2.3.1. Sistem Butiran**

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Cassagrande pada tahun 1942 untuk keperluan pembuatan lapangan terbang selama berlangsungnya Perang Dunia II. Dalam rangka kerjasama dengan Biro Reklamasi Amerika pada tahun 1952 sistem ini diperbaiki. Pada klasifikasi sistem butiran ini, tanah dibagi dalam 2 kelompok besar yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar (*Coarse-Grained Soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos

ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf S atau G. S adalah untuk tanah pasir ataupun tanah berpasir dan G adalah untuk kerikil ataupun tanah kerikil.

- b. Tanah berbutir halus (*Fine-Grained Soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok tanah ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau/*silt* anorganik, Simbol C untuk lempung/*Clay* anorganik, symbol O untuk lanau dan lempung organik, dan symbol Pt untuk Gambut/*Peat*. Simbol-simbol yang digunakan dalam sistem butiran (*Sistem Unified*) adalah :

W = *Well Graded* (tanah bergradasi baik)

P = *Poorly Graded* (tanah bergradasi jelek)

L = *Low Plastisity* (plastisitas rendah) ( $LL < 50$ )

H = *High Plastisity* (plastisitas tinggi) ( $LL > 50$ )

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

1. Prosentase butiran yang lolos ayakan no. 200 (fraksi halus)
2. Prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.4
3. Koefisien keseragaman (*Uniform Coeficient* / CU) dan koefisien gradasi (*Gradation Coeficient* / GC) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200.

Batas Cair (LL) dan Indeks Plastis (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no.40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no.200). Tabel 2.1 berikut akan memberikan perincian secara jelas tentang Klasifikasi Sistem Unified.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50 % butiran tertahan ayakan no 200	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil Halus (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 butir halus	GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir 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, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir lempung
	Tanah Berbutir Halus Lebih dari 50 % butiran tertahan ayakan no 200	Lanau dan Lempung batas cair 50% atau kurang	ML Lanau organik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL Lempung anorganik, dengan plastisitas rendah sampai 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 dengan kandungan organik sangat tinggi		PT*	Peat (gambut), muck, dan tanah tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH diberikan Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

	KRITERIA KLASIFIKASI	
Klasifikasi berdasarkan prosentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan no.200 GW,GP,SW,SP Kurang dari 5% lolos ayakan no.200 GM,GC,SM,SC Kurang dari 5% lolos ayakan no.200 Klasifikasi dengan Penggunaan 2 simbol	$Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} * D_{60}$	Lebih dari 4 Antara 1-3
	Tidak memenuhi kedua criteria untuk GW	
	Batas-batas atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas atterberg diatas garis A atau $PI > 7$	
	$Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} * D_{60}$	Lebih dari 6 Antara 1-3
	Tidak memenuhi kedua criteria untuk SW	
	Batas-batas atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas atterberg diatas garis A atau $PI > 7$	

Bagan Plastisitas untuk lasifikasi tanah butir halus dan fraksi halus dari tanah berbuti kasar  
 Persamaan Garis A  
 $PI = 0.73 \cdot (LL - 20)$

### 2.3.2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan pada tahun 1929. Pada sistem ini tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% butirannya atau kurang lolos ayakan No.200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem AASHTO didasarkan pada kriteria dibawah ini :

#### 1. Ukuran Butir

Kerikil adalah bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 inci) dan tertahan ayakan No.20 (2 mm). Pasir adalah bagian tanah yang lolos ayakan No.20 (2 mm) dan tertahan ayakan No.200 (0.075 mm). Lanau dan lempung adalah tanah yang lolos ayakan No.200

#### 2. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

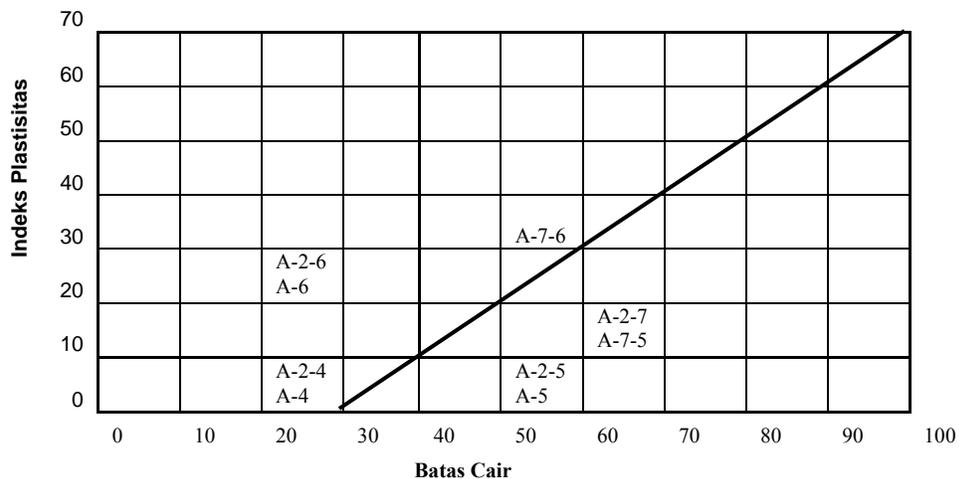
#### 3. Apabila batuan (ukuran >75 mm atau lebih) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi prosentasenya harus tetap dicatat.

Apabila Sistem Klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasi, maka data yang ada dicocokkan dengan angka yang diberikan oleh Tabel 2.3 Berikut :

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau - Lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh 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 no. 40 no. 200	min 36	min 36	min 36	min 36
sifat Fraksi yang Lolos Ayakan no.40				
Batas Cair (LL)	Maks 40	Maks 40	Min 40	Min 40
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	Biasa sampai Jelek			

Gambar 2.1 menunjukkan suatu gambaran dari senjang batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas untuk tanah yang termasuk kelompok A-2,A4,A-5,A-6,A-7.



Gambar 2.1 Rentang dari Batas Cair dan Indeks Plastis untuk Tanah Kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, A-7

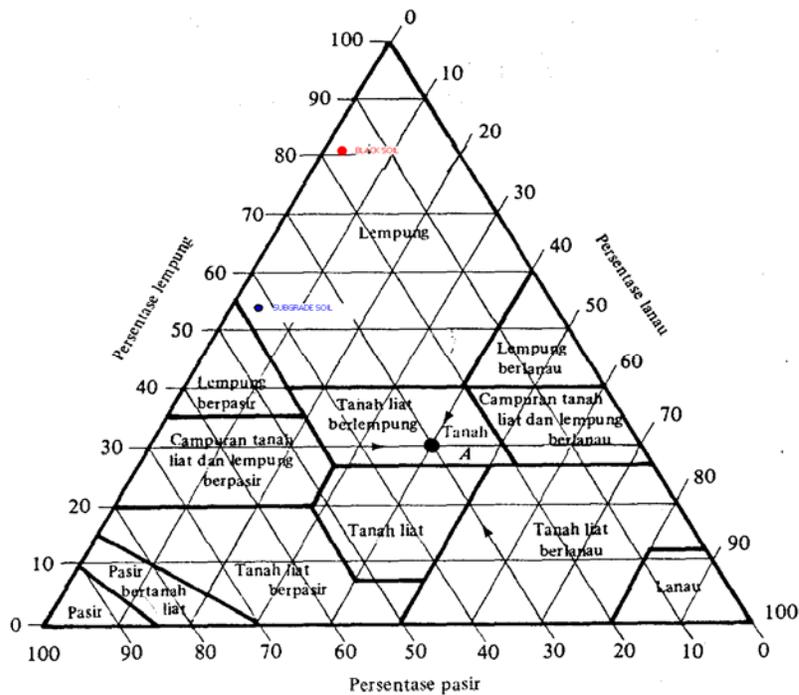
### 2.3.3. Sistem Tekstur

Dalam pengertian umum, arti dari tekstur adalah keadaan permukaan tanah dari suatu struktur tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dari suatu struktur tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir tanah. Atas dasar ukuran butir-butirnya tanah dibagi dalam beberapa kelompok, yaitu kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), Lanau (*silt*), dan Lempung (*clay*). Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur ini, tanah diberi nama atas komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy-clay*), lempung berlanau (*silty-clay*), dan seterusnya.

Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan sendiri. Diantaranya sistem tekstur yang berhasil dikembangkan adalah sistem yang digunakan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah yaitu :

- ❖ Pasir : merupakan butiran dengan diameter 2,0 s.d 0,05 mm
- ❖ Lanau : merupakan butiran dengan diameter 0,05 s.d 0,002 mm
- ❖ Lempung : merupakan butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm

Gambar 2.2 berikut menjelaskan secara jelas tentang sistem USDA ini yang didasarkan pada ukuran batas dari butir tanah.



Gambar 2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

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

1. Kadar Air Tanah
2. Jenis Tanah
3. Energi Pemadatan

Ukuran daya dukung tanah antara lain :

1. *California Bearing Ratio* , yaitu perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan dengan bahan penetrasi bahan standar, pada tingkat penetrasi dan kecepatan penetrasi yang sama. Cara ini biasa distandarkan oleh AASTHO dan Bina Marga di Indonesia.
2. Daya dukung yang lain kemudian dikorelasikan dengan nilai CBR.

Untuk CBR dilakukan percobaan pada batu pecah yang diasumsikan CBR 100% dengan Piston diameter 2” dan kecepatan penetrasi 0.05 inci/menit.

#### **2.4. Batas Batas Konsistensi**

Sifat-sifat dari tanah yang dapat menunjukkan tanah berbutir halus dalam keadaan alami adalah konsistensi. Secara umum konsistensi dinyatakan dalam keadaan seperti : lembek (*soft*), sedang (*medium*), kaku (*stiff*), dan keras (*hard*). Tetapi arti keadaan ini akan selalu berubah-ubah dan tergantung pada pendapat seseorang. Oleh karena itu seorang ahli harus mengembangkan metode yang dapat diterima semua orang. Salah satu cara yang dapat dianggap untuk menyatakan batas konsistensi adalah menurut Cassagrande.

Jika kadar air dari suatu suspensi yang pekat dari suatu lempung berangsur-angsur dikurangi campuran airnya maka akan menjadi padat setelah melalui keadaan plastis. Diatas batas cair (WI), sistem air tanah adalah suatu suspensi sedangkan diatasnya batas plastis (Wp) sistem air tanah dikatakan dalam keadaan kaku sampai dengan keras. Daerah dari harga kadar air didalam sistem air tanah sehingga sistem tersebut berperilaku sebagai sistem material plastis disebut sebagai daerah plastis. Dan secara numerik perbedaan antara batas cair dan batas plastis disebut dengan Indeks Plastisitas (Ip). Sehingga secara matematis dapat dirumuskan :

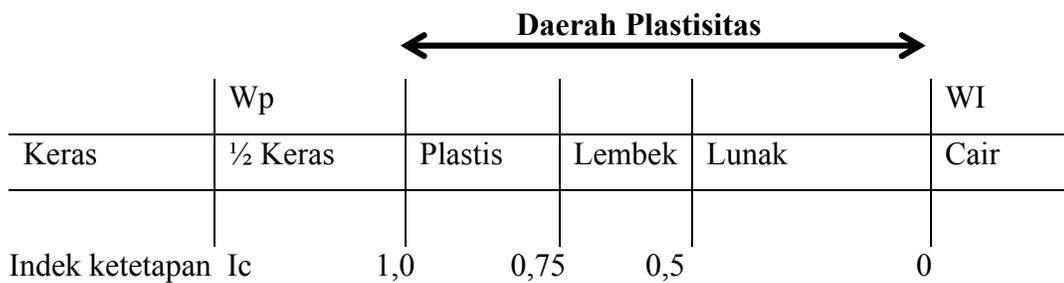
$$I_p = W_I - W_p$$

Keterangan :  $I_p$  = Indeks plastis

$W_I$  = Kadar air dalam keadaan cair (batas cair)

$W_p$  = Kadar air dalam keadaan plastis (batas plastis)

Sedikit dibawah batas plastis tersebut sistem tanah mencapai batas susut ( $W_s$ ). Pengurangan dari kadar air dengan pemanasan dibawah batas susut tidak disertai pengurangan volume dan sebagai gantinya udara masuk kedalam ruang-ruang kosong dari sistem tersebut dan material menjadi tidak jenuh. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada diagram berikut (Gambar 2.3):



Gambar 2.3 Diagram Plastisitas Tanah

Berikut ini akan dipaparkan indeks-indeks plastisitas dari contoh-contoh tanah yang penting (Tabel 2.4):

Tabel 2.4 Indeks Plastisitas

Jenis Tanah	Sifat	$W_I$	$W_p$	$I_p$
Pasir	Tidak plastis	0,20	0,20	0
Lanau	Sedikit plastis	0,25	0,20	0,05
Lempung Gemuk	Plastis tinggi	0,80	0,30	0,50
Tanah Organik	Plastis sebagian	2,50	1,50	1,00

Pada Tabel 2.4 disajikan berbagai jenis tanah dan sifat plastisitasnya. Terlihat bahwa untuk sampel tanah dengan nilai WI (batas cair) dan Wp (batas plastis) yang tinggi akan menghasilkan nilai Indeks Plastis yang besar juga.

Batas cair dan Indeks plastisitas bersama-sama membentuk suatu ukuran dari plastisitas tanah. Tanah yang memiliki harga-harga yang besar dari WI dan IP dikatakan mempunyai plastisitas tinggi atau gemuk. Sedangkan tanah mempunyai harga tersebut rendah dikatakan mempunyai plastisitas rendah atau kurus.

Interpretasi (tafsiran) dari test-test batas cair dan batas plastis dipermudah dengan diagram plastisitas yang dikembangkan oleh A. Cassagrande. Dalam diagram ini ordinat-ordinat menunjukkan harga-harga indeks plastisitas dan absis-absis menunjukkan batas cair. Garis miring mempunyai persamaan  $I_p = 0,73 (WI - 20)$  dan 2 garis vertikal yaitu  $WI = 30$  dan  $WI = 50$ .

Semua tanah yang berada diatas garis merupakan lempung organik, plastisitasnya berkisar dari  $WI < 30$  sampai tinggi  $WI > 50$  dengan peningkatan dari harga-harga batas cair. Tanah yang ditunjukkan di bawah garis mungkin dapat berupa dapat berupa lanau organik atau lempung organik. Jika tanah tersebut dikatakan organik maka tanah tersebut dikatakan mempunyai kemampuan mampat rendah, sedang, atau tinggi, yang bergantung pada apakah batas cair  $< 30$ , diantara 30-50 atau diatas 50.

Batas-batas Atterberg tergantung pada air yang terkandung dalam massa tanah. Perubahan dari keadaan yang satu ke keadaan yang lainnya sangat penting di perhatikan sifat-sifat fisiknya. Batas kadar air tanah dari satu keadaan berikutnya

dikenal sebagai batas-batas kekentalan / konsistensi. Batas-batas konsistensi yang penting adalah :

1. Batas Cair (liquid limit) = L.L

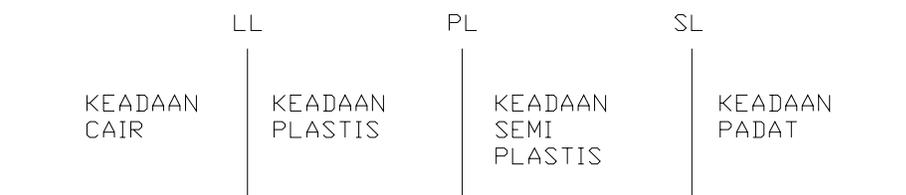
Menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dapat mengalir di bawah beratnya atau kadar air tanah pada batas antara keadaan cair ke keadaan plastis

2. Batas Plastis (plastis limit) = P.L

Menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi)

3. Batas Susut (shrinkage limit) = S.L

Menyatakan batas dimana sesudah kehilangan kadar air, selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah lagi

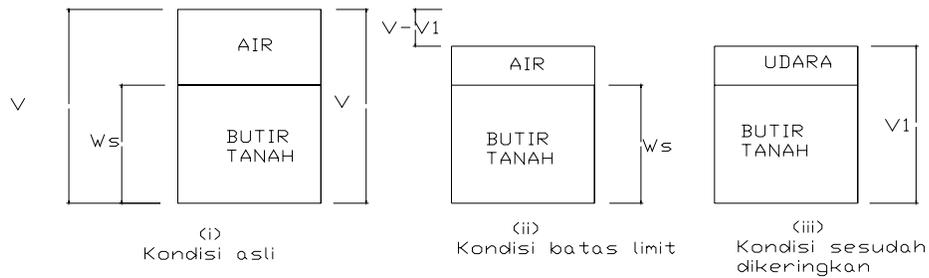


Gambar 2.4 Hubungan Antar Batas-batas Kekentalan

Pada Gambar 2.4, dijelaskan batasan dari setiap keadaan yang mungkin pada tanah. Setiap keadaan tanah akan dibatasi nilai-nilai limit tingkat plastisitas tanah. Keadaan paling cair memiliki Liquid Limit yang membatasi dengan keadaan plastis. Sedangkan pada tanah padat ada Shrinkage Limit.

Suatu contoh tanah kering dicampur dengan air sampai menjadi keadaan plastis. Contoh tanah ini dibentuk dalam sebuah tabung dengan berat W, kemudian

dicelupkan kedalam air raksa dan dengan demikian volumenya (V) dapat ditentukan. Contoh kemudian dikeringkan dengan oven selama 48 jam pada suhu 105°C. Kemudian berat dan volume kering (Ws dan V1) dapat ditentukan.(Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Ilustrasi Contoh Percobaan Tanah Kering

Dari Gambar 2.5 terlihat bahwa contoh yang telah melewati batas susut diantara (i) dan (iii). Setelah air yang diuapkan/dihilangkan dengan tidak mengurangi volume/isi, maka kadar air dapat ditentukan dengan :

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

Pada saat awal, berat air adalah (  $W - W_s$  ). Setelah ada penguapan isi sebesar (  $V - V_1$  ) dengan berat (  $V - V_1$  )  $\gamma_w$  , karena itu berat air sisa pada batas susut adalah:

$$W_w = (W - W_s) - (V - V_1) \gamma_w$$

Disubstitusikan ke persamaan  $W = \frac{W_w}{W_s}$  maka didapat :

$$S.L = \frac{(W - W_s) - (V - V_1)\gamma_w}{W_s}$$

Beberapa hal penting :

Indek Plastis (*Plasticity Index*) = P.I , Menunjukkan sejumlah kadar air pada saat tanah dalam kondisi plastis, dimana harga ini adalah selisih antara batas cair dan batas plastis.

$$\mathbf{P.I = L.L - P.L}$$

Indeks cair (*Liquidity index*) = L.I , menyatakan perbandingan dalam persentase antara kadar air tanah dikurangi batas plastis dengan indek plastis.

$$\mathbf{L.I = \frac{w - P.L}{P.I}}$$

Konsistensi Relatif (*Relativity Consistency*) = R.C , menyatakan perbandingan batas cair dikurangi kadar air tanah dengan indeks plastis.

$$\mathbf{R.C = \frac{L.L - w}{P.I}}$$

## **2.5. Permeabilitas**

Tanah adalah butiran padat dan berpori-pori yang saling berhubungan satu sama lain sehingga air dapat mengalir dari suatu titik yang mempunyai energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi yang lebih rendah. Studi tentang rembesan ini akan sangat berguna untuk menghitung kestabilan sebuah konstruksi akibat dari tanah yang mempunyai kondisi berubah-ubah.

Koefisien rembesan mempunyai satuan yang sama dengan kecepatan. Istilah koefisien rembesan sebagian besar digunakan oleh para ahli teknik tanah (geoteknik) dan para ahli geologi menyebutnya sebagai konduktivitas hidrolik.

Koefisien rembesan tanah tergantung dari beberapa faktor yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran butir, distribusi ukuran pori, angka pori, kekasaran butiran

tanah dan derajat kejenuhan. Pada tanah lempung, struktur tanah memegang peranan penting dalam menentukan koefisien rembesan.

Harga koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan dalam Tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Koefisien Permeabilitas

Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas (cm/detik)
Kerikil Bersih	1,0 – 100
Pasir Kasar	1,0 – 0,01
Pasir Halus	0,01 – 0,001
Lanau	0,001 – 0,000001
Lempung	< 0,000001

Keadaan permeabilitas seperti yang telah dijelaskan diatas berhubungan dengan kemampuan tanah untuk dapat ditembus aliran air. Dari Tabel 2.5 dapat disimpulkan bahwa kerikil bersih yang memiliki nilai koefisien permeabilitas yang paling besar, artinya dalam satu detik bisa mencapai kedalaman 1,0-100 cm lapisan kerikil halus.

## 2.6. Berat Isi Tanah

Berat isi tanah didefenisikan sebagai perbandingan antara berat tanah dengan volume dari bahan. Dalam keadaan normal semakin besar perbandingan antara berat dan volume akan memberikan daya dukung yang semakin besar pula. Hubungan antara berat tanah dan volume adalah sebagai berikut :

$$y = \text{berat dari bahan} / \text{volume dari bahan}$$

## 2.7. Perbandingan Ruang Kosong

Didefinisikan sebagai perbandingan antara volume ruang kosong dengan volume tanah padat, atau apabila dirumuskan adalah :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Keterangan : e = Void ratio

$V_v$  = Volume void dan  $V_s$  = Volume solid

## 2.8. Porositas

Porositas merupakan prosentase perbandingan antara volume ruang kosong dan volume total dari tanah. Dalam Teknik Sipil porositas akan mempengaruhi penurunan pada sebuah konstruksi. Ada dua rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai porositas ini, yaitu :

$$n = \left( \frac{V_v}{V_t} \right) \times 100\%$$

$$n = \frac{e}{(1 + e)}$$

Keterangan :  $V_v$  = volume void

$V_t$  = volume total

e = void ratio

Tabel 2.6 Perbandingan Void Ratio dengan Porositas

Jenis Tanah	e (void ratio)	n(porositas)
Lempung busuk dan gambut	2,33 – 9,00	70 – 90 %
Lempung kotor, secara geologis sangat muda	1,55 – 9,00	60 – 90 %
Lempung halus	1,00 – 2,33	50 – 70 %
Lempung Kaku	0,54 – 1,00	35 – 50 %
Lempung Keras	0,25 – 0,54	20 – 35 %
Loam dan lempung batu	0,33 – 0,43	25 – 30 %
Pasir seragam	0,43 – 1,00	30 – 50 %
Pasir kerikil	0,33 – 0,54	25 – 35 %

Dari Tabel 2.6 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai angka pori maka porositas dari tanah juga akan besar. Semakin besar penambahan nilai e maka akan semakin besar juga kenaikan nilai n.

## 2.9. Kadar Air (w)

$$w = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \times 100\%$$

Suatu hal yang penting untuk mengetahui beberapa banyak air yang terkandung oleh tanah adalah tujuan teknis. Kadar air untuk tanah biasanya berada dalam kisaran dibawah 60%. Berikut ini ditampilkan kadar air untuk kebanyakan tanah sebagai berikut (Tabel 2.7):

Tabel 2.7 Kadar Air dalam Tanah

Jenis Tanah	Kadar Air (w)
Pasir Lembab	2 – 10 %
Lempung sedikit membatu	2 – 10 %
Lempung	20 – 60 %

Pada Tabel 2.7 dapat dilihat bahwa lempung memiliki nilai kadar air (w) yang paling besar karena daya simpan lempung terhadap air lebih besar dibanding jenis-jenis tanah yang lainnya.

#### **2.10. Derajat Kejenuhan (s)**

$$s = \left( \frac{V_w}{V_v} \right) \times 100\%$$

Persamaan ini menyatakan perbandingan dari air yang ada dalam pori-pori terhadap jumlah total air yang dapat terkandung secara penuh dalam semua pori-pori. Pemeriksaan dari persamaan menunjukkan bahwa jika tanah kering (tidak ada air) maka tanah akan mempunyai derajat kejenuhan 0 % dan jika semua pori terisi oleh air maka tanah tersebut dinyatakan mempunyai derajat kejenuhan 100%.

#### **2.11. Berat jenis**

Defenisi dasar dari berat jenis adalah perbandingan antara berat jenis butir tanah dengan volume butir pada temperature tertentu, atau dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut :

$$G_s = \frac{\text{Berat dari volume satuan dari setiap material}}{\text{Berat volume satuan dari air pada suhu } 4^{\circ}\text{C}}$$

#### **2.12. Sifat Mekanik Tanah**

Terjadinya penurunan disebabkan kondisi mekanik tanah yang dipengaruhi beberapa hal, yaitu berupa terjadinya regangan dan keruntuhan geser akibat adanya pembebanan di atas lapisan tanah.

## 1. Regangan / Deformasi Elastis Tanah

Jika Lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan yang hasilnya berupa penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga pori / air di dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediately settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan halus yang kering atau tak jenuh terjadi dengan segera sesudah penerapan bebannya. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera. Penurunan segera merupakan penurunan bentuk elastis. Dalam prakteknya sangat sulit memperkirakan besarnya penurunan. Hal ini tidak hanya karena tanah dalam kondisi alamnya tidak homogen dan anistropis dengan modulus elastisitas yang bertambah dengan kedalamannya, tetapi juga terdapat kesulitan dalam mengevaluasi kondisi tegangan dan regangan di lapisannya.

Penurunan tanah yang mengalami pembebanan, secara garis besar diakibatkan oleh konsolidasi. Konsolidasi merupakan gejala yang menggambarkan deformasi yang tergantung pada waktu dalam suatu medium berpori jenuh seperti tanah yang mengalami pembebanan (eksternal). Bahan akan berdeformasi seiring dengan waktu ketika cairan atau air dalam pori secara sedikit demi sedikit berdifusi.

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya. Penurunan konsolidasi dapat dibagi dalam tiga fase dimana :

Fase awal, yaitu fase dimana terjadi penurunan segera setelah beban bekerja. Disini terjadi proses penekanan udara keluar dari pori tanahnya. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari pengujian konsolidasi.

Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat adanya tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanahnya seperti permeabilitas, kompresibilitas angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan lolos air.

Fase konsolidasi sekunder, merupakan lanjutan dari proses konsolidasi primer, dimana proses berjalan sangat lambat. Penurunan jarang diperhitungkan karena biasanya sangat kecil. Kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung tak organik yang sangat mudah mampat.

Penurunan konsolidasi primer biasanya lebih lama dari penurunan konsolidasi sekunder.

Penurunan total adalah jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan, penurunan total adalah:

$$S = S_i + S_c + S_s \text{ dengan :}$$

$S$  = penurunan total

$S_i$  = penurunan segera

$S_c$  = penurunan akibat konsolidasi primer

$S_s$  = penurunan akibat konsolidasi sekunder

a. Penurunan Segera (*immediately settlement*)

Penurunan segera atau penurunan elastis dari suatu pondasi terjadi segera setelah pemberian beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air. Besarnya penurunan ini bergantung pada ketentuan dari pondasi dan tipe material dimana pondasi itu berada.

Suatu pondasi lentur yang memikul beban merata dan terletak di atas material yang elastis (seperti lempung jenuh) akan mengalami penurunan elastis berbentuk cekung. Tetapi bila pondasi tersebut kaku dan berada di atas material yang elastis seperti lempung, maka tanah di bawah pondasi itu akan mengalami penurunan yang merata dan tekanan pada bidang sentuh akan mengalami pendistribusian ulang.

Bentuk penurunan dan distribusi tekanan pada bidang sentuh antara pondasi dan permukaan tanah seperti yang dijelaskan diatas adalah benar apabila modulus elastisitas dan tanah tersebut adalah konstan untuk seluruh kedalaman lapisan tanah.

Hasil pengujian SPT (*Standart Penetration Test*) yang dilakukan oleh Meyerhoff untuk tanah pasir pada tahun 1965, telah diperbaiki oleh Bowles pada tahun 1977 dan menghasilkan persamaan guna menghitung penurunan segera. Persamaan tersebut adalah :

$$S_i = \frac{4q}{N} \left( \frac{B}{B+1} \right)^2 \quad \text{untuk } B > 1,2 \text{ m}$$

Berdasarkan analisis data lapangan dari Schultze dan Sherif (1973), Meyerhof (1974) yang dikutip oleh Soedarmo, D.G. dan Purnomo, S.J.E (1997) memberikan hubungan empiris untuk penurunan pada dangkal sebagai berikut :

$$S_i = \frac{q\sqrt{B}}{N}$$

Keterangan :  $S_i$  = penurunan dalam inci

$Q$  = intensitas beban yang diterapkan dalam Ton/ft<sup>2</sup>

$B$  = lebar pondasi dalam inci

b. Penurunan Konsolidasi (*consolidation settlement*)

Bila suatu lapisan tanah jenuh yang permeabilitasnya rendah dibebani, maka tekanan air pori dalam tanah tersebut akan bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah yang tekanan air porinya lebih rendah, yang diikuti proses penurunan tanahnya. Karena permeabilitasnya rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terlepasnya air pori keluar dari rongga tanah.

Penambahan beban di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan karena adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori. Faktor-faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah yang menyebabkan penurunan lapisan tanah tersebut. Bila suatu lapisan tanah diberi penambahan tegangan, maka penambahan tegangan akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah. Hal ini berarti bahwa penambahan tegangan akan terbagi sebagian ke tegangan efektif dan sebagian lagi ke tegangan air pori. Secara prinsip dapat dirumuskan :

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$$

Keterangan :  $\Delta\sigma$  = penambahan tekanan total

$\Delta\sigma'$  = penambahan tekanan efektif

$\Delta u$  = penambahan tekanan pori

Tanah lempung mempunyai daya rembesan yang sangat rendah, dan air adalah zat yang tidak begitu termampatkan dibandingkan dengan butiran tanah. Oleh karena itu pada saat  $t = 0$ , seluruh penambahan tegangan ( $\Delta\sigma$ ) akan dipikul oleh air sehingga  $\Delta\sigma = \Delta u$  pada seluruh kedalaman lapisan

tanah. Tidak sedikitpun dari penambahan tegangan tersebut akan dipikul oleh butiran tanah (jadi penambahan tegangan efektif  $\Delta\sigma' = 0$ ).

Sesaat setelah penambahan tegangan, air dalam ruang pori mulai tertekan dan akan mengalir keluar dalam dua arah menuju lapisan pasir. Dalam proses ini, tekanan air pori pada tiap kedalaman akan berkurang secara perlahan dan tegangan yang dipikul oleh butiran tanah akan bertambah. Jadi pada saat  $0 < t < \sim$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \quad (\Delta\sigma' > 0 \text{ dan } \Delta u < \Delta\sigma)$$

Secara teori, pada saat  $t = \sim$ , seluruh kelebihan tekanan air pori sudah hilang dari lapisan tanah lempung, jadi  $\Delta u = 0$ . sekarang penambahan tegangan total akan dipikul oleh butir tanah, jadi :  $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$ . Proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah, sebagai akibat dari penambahan beban, yang disertai dengan pemindahan kelebihan tekanan air ke tegangan efektif akan menyebabkan terjadinya penurunan.

Untuk menghitung penurunan akibat konsolidasi primer dapat digunakan rumus :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log\left(\frac{P_o + \Delta p}{P_o}\right)$$

Keterangan :

$S_c$  = besar penurunan lapisan tanah akibat konsolidasi

$C_c$  = indeks pemampatan (compression index)

$H$  = tebal lapisan tanah

$e_0$  = angka pori awal

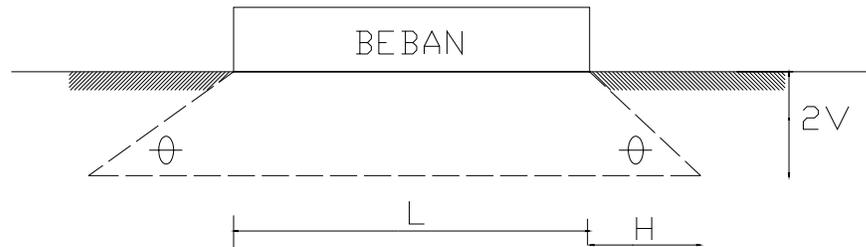
Po = tekanan efektif rata-rata

$\Delta p$  = besar penambahan tekanan

Untuk menghitung indeks pemampatan lempung yang struktur tanahnya belum terganggu/belum rusak, menurut Terzaghi dan Peck (1967) seperti yang dikutip oleh Braja M. Das menyatakan penggunaan rumus empiris sebagai berikut :

$C_c = 0.009 (LL-10)$ , dengan LL adalah Liquid Limit dalam persen.

Salah satu pendekatan yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan beban di permukaan diberikan Boussinesq. Caranya adalah dengan membuat garis penyebaran beban 2V : 1H ( 2 vertikal berbanding 1 Horizontal). Gambar 2.6. menunjukkan garis penyebaran beban. Dalam cara ini dianggap beban pondasi Q didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V :1H.



Gambar 2.6 Penyebaran Beban 2V : 1H

Tambahan tegangan vertikal dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta p = \frac{q.L.B}{((L+Z)(B+Z))}$$

Keterangan :  $\Delta p$  = tambahan tegangan vertikal

Q = beban total pada dasar pondasi

$q$  = beban terbagi rata pada dasar pondasi

$L$  = panjang pondasi

$B$  = lebar pondasi

$Z$  = kedalaman yang ditinjau

Tabel 2.8 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Macam Tanah	E (kg/cm <sup>2</sup> )
Lempung	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425

*Sumber : Bowles, J.e, 1992*

Tabel 2.9. Nilai Perkiraan Angka poisson tanah ( $\mu$ )

Macam Tanah	$\mu$
Lempung Jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir Padat	0,2 – 0,4
Pasir Kasar (e = 0,4-0,7)	0,15
Pasir Halus (e = 0,4-0,7)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
loess	0,1 – 0,3

*Sumber : Bowles, J.e, 1992*

Pada Tabel 2.8 dan 2.9 digambarkan mengenai nilai E (Modulus Young) dan  $\mu$  (angka Poisson) tanah, angka ini dibutuhkan dalam perhitungan besarnya

penurunan segera. Nilai E menunjukkan kemampuan tanah terhadap menahan regangan dan tegangan. Sedangkan angka Poisson didapat dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama pengujian triaksial.

c. Kecepatan Waktu Penurunan

Lamanya waktu penurunan yang diperhitungkan adalah waktu yang dibutuhkan oleh tanah untuk melakukan proses konsolidasi. Hal ini dikarenakan proses penurunan segera (*immediate settlement*) berlangsung sesaat setelah beban bekerja pada tanah ( $t = 0$ ). Waktu penurunan akibat proses konsolidasi primer tergantung pada besarnya kecepatan konsolidasinya tanah lempung yang dihitung dengan memakai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ), panjang aliran rata-rata yang harus ditempuh air pori selama proses konsolidasi ( $H_{dr}$ ) serta faktor waktu ( $T_v$ ).

Faktor waktu ( $T_v$ ) ditentukan berdasarkan derajat konsolidasi ( $u$ ) yang merupakan perbandingan penurunan yang telah terjadi akibat konsolidasi ( $S_{ct}$ ) dengan penurunan konsolidasi total ( $S_c$ ), dimana  $S_{ct}$  adalah besar penurunan aktual saat ini ( $S_t$ ) dikurangi besar penurunan segera ( $S_i$ ).

$$U = \frac{S_{ct}}{S_t} = \frac{S_t - S_i}{S_c} \text{ Cassagrande (1938) dan Taylor (1948) yang dikutip}$$

Braja M. Das, (1993) memberikan hubungan  $u$  dan  $T_v$  sebagai berikut -

$$\text{Untuk } u < 60\% ; T_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{u\%}{100} \right)^2$$

- untuk  $u > 60\% ; T_v = 1,781 - 0,900 \log (1-u)$

Untuk menghitung waktu konsolidasi digunakan persamaan berikut :

$$T = \frac{T_v \cdot H_1^2}{C_v_1}$$

Panjang aliran rata-rata ditentukan sebagai berikut :

- untuk tanah dimana air porinya dapat mengalir kearah atas dan bawah, maka Hdr sama dengan setengah tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi
- untuk tanah dimana air porinya hanya dapat mengalir keluar dalam satu arah saja, maka Hdr sama dengan tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi.

## 2. Keruntuhan Geser Akibat Terlampauinya Daya Dukung Tanah

Analisa daya dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Dalam perencanaan biasanya diperhitungkan agar pondasi tidak menyebabkan timbulnya tekanan yang berlebihan pada tanah dibawahnya, karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar bahkan dapat menyebabkan keruntuhan.

Jika beban yang diterapkan pada tanah secara berangsur ditambah, maka penurunan pada tanah akan semakin bertambah. Akhirnya pada waktu tertentu, terjadi kondisi dimana beban tetap, pondasi mengalami penurunan besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan daya dukung tanah telah terjadi.

Gambar Kurva penurunan yang terjadi terhadap besarnya beban yang diterapkan diperlihatkan oleh Gambar 2.7. mula-mula pada beban yang diterapkan, penurunan yang terjadi kira-kira sebanding dengan bebannya. Hal ini digambarkan sebagai kurva yang mendekati kondisi garis lurus yang menggambarkan hasil distorsi elastis dan pemampatan tanah. Bila beban bertambah terus, pada kurva terjadi suatu lengkungan tajam yang dilanjutkan dengan garis lurus kedua dengan kemiringan yang lebih curam. Bagian ini menggambarkan keruntuhan geser telah terjadi pada tanahnya. Daya dukung ultimate (*ultimate bearing capacity*) didefenisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka :

$$q_u = \frac{p_u}{A}$$

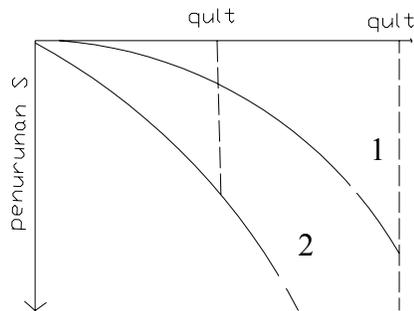
keterangan :  $q_u$  = daya dukung ultimate atau daya dukung batas

$p_u$  = beban ultimate atau beban batas

$A$  = luas area beban

Jika tanah padat, sebelum terjadi keruntuhan didalam tanahnya, penurunan kecil dan bentuk kurva penurunan beban akan seperti yang ditunjukkan kurva 1 dalam Gambar 2.7. kurva 1 menunjukan kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Saat beban ultimate tercapai, tanah melewati fasa kedudukan keseimbangan plastis. Jika tanah sangat tidak padat atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan sangat besar. Keruntuhannya terjadi sebelum keseimbangan plastis sepenuhnya dapat dikerahkan seperti

yang ditunjukkan kurva 2. kurva 2 menunjukkan keruntuhan geser lokal (*local shear failure*)



Gambar 2.7 Kurva Penurunan Terhadap Beban yang Diterapkan

Untuk menghitung daya dukung *ultimate* dari tanah dapat digunakan rumus :

$q_{ult} = c N_c + \gamma \cdot d \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B N_\gamma$  ; untuk pondasi jalur

$$S_f = \frac{q_{ult}}{q_{beban}}$$

Keterangan :

$q = \gamma D_f$  = tekanan efektif overburden

$S_f$  = faktor keamanan

$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 (45^\circ + \phi/2)}$$

$A = e^{(0,75 \pi - \phi/2) \tan \phi}$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left\{ \frac{Kp\gamma}{\cos^2 \phi} - 1 \right\}$$

Tabel 2.10 Faktor Daya Dukung Terzaghi

$\phi$ (sudut geser)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$K_{\gamma}$
0	5.71	1.0	0.0	10.8
5	7.30	1.6	0.5	12.2
10	9.60	2.7	1.2	14.7
15	12.90	4.4	2.5	18.6
20	17.70	7.4	5.0	25.0
25	25.10	12.7	9.7	35.0
30	37.20	22.5	19.7	52.0
34	52.60	36.5	36.0	-
35	57.80	41.4	42.4	82.0
40	95.70	81.3	100.4	141.0
45	172.30	173.2	297.5	298.0
48	258.30	287.9	780.1	-
50	347.50	415.1	1153.2	800.0

Pada Tabel 2.10 menggambarkan nilai  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ,  $K_{\gamma}$  dari setiap sudut geser tanah. Semakin besar sudut geser tanah maka nilai-nilai koefisien daya dukung Terzaghi juga akan semakin besar. Untuk angka sudut geser yang tidak ada di tabel diatas dapat dilakukan dengan cara interpolasi.

## 2.13. Pengaruh Lalu Lintas

### 2.13.1. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Jalan dibagi dalam kelas-kelas yang penetapannya didasarkan pada kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas yang dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan Ton. Dalam “ Tata Cara Perencanaan Geometrik untuk Jalan Antar Kota tahun 1997 “, klasifikasi dan fungsi jalan dibedakan seperti pada Tabel 2.11 berikut:

Tabel 2.11 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

FUNGSI	KELAS	MUATAN SUMBU TERBERAT (TON)
ARTERI	I	> 10
	II	10
	III A	8
KOLEKTOR	III A	8
	III B	8

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 1997

Klasifikasi jalan dibedakan menurut beberapa hal, diantaranya :

- a. Berdasarkan Fungsi Jalan, terbagi atas :

**Jalan Arteri** yaitu jalan yang melayani angkutan umum dengan ciri-ciri perjalanan jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan yang masuk dibatasi secara efisien.

**Jalan Kolektor** yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

**Jalan Lokal** yaitu jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

- b. Berdasarkan Kelas Jalan, terbagi atas :

**Jalan Utama (Kelas I)** adalah jalan raya yang melayani lalu lintas yang tinggi antara kota-kota yang penting/antara pusat-pusat produksi ekspor.

**Jalan Sekunder (Kelas II)** adalah jalan raya yang melayani lalu lintas yang cukup tinggi antara kota-kota penting dan kota-kota yang lebih kecil serta melayani daerah sekitar.

**Jalan Penghubung (Kelas III)** adalah jalan untuk keperluan aktivitas daerah yang juga dipakai sebagai jalan penghubung antara jalan-jalan yang sama atau berlainan.

Klasifikasi kelas jalan juga dapat ditentukan berdasarkan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) dalam smp.

### 2.13.2. Lalu Lintas Harian Rata-rata

Lalu Lintas Harian Rata-rata adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik dalam satu ruas dengan pengamatan selama satu tahun dibagi 365 hari. Besarnya LHR akan digunakan sebagai dasar perencanaan jalan dan evaluasi lalu lintas pada masa yang akan datang. Untuk memprediksi jumlah LHR pada tahun rencana, digunakan persamaan regresi :

$$Y = a + bX$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - \sum X * b}{n}$$

$$I = [ LHR_n - LHR_{(n-1)} / LHR_{(n-1)} ] \times 100\%$$

Keterangan :

Y = Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

X = Tahun ke-

A dan b = konstanta

$LHR_n$  = lalu lintas harian rata-rata pada tahun n

n = jumlah tahun

I = pertumbuhan lalu lintas

### 2.13.3. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melintas di suatu titik pada suatu ruas jalan dengan interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Dalam sebuah perencanaan, digunakan perhitungan volume puncak yang dinyatakan dalam volume per jam perencanaan. Perhitungan volume lalu lintas digunakan rumus berdasarkan MKJI No. 036/T/BM/1997.

$$Q_{DH} = LHRT \times k$$

Keterangan :

$Q_{DH}$  = arus lalu lintas yang digunakan untuk perancangan.

k = factor peubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak

LHRT = lalu lintas harian rata-rata tahunan.

### 2.13.4. Beban Gandar

Beban gandar akan mempengaruhi perhitungan baik pada perhitungan *flexible pavement* maupun *rigid pavement*. Selain itu beban gandar juga akan mempengaruhi perencanaan geotekstil dan daya dukung tanah dasar. Berikut ini akan ditampilkan beban gandar untuk masing-masing kendaraan pada Tabel 2.12 dibawah :

Tabel 2.12 Beban Gandar Kendaraan

Jenis kendaraan	Beban (ton)	Distribusi beban (ton)
Kendaraan ringan	2	1 + 1
Bus	8	3 + 5
Truk 2 as	13	5 + 8
Truk 3 as	20	6 + 7.7
Truk 4 as	30	6 + 7.7 + 5.5

Beban gandar 8 ton dengan distribusi 3+5 artinya gandar depan memikul beban dengan muatan sumbu sebesar 3 ton dan gandar belakang sebesar 5 ton, jadi beban gandar lebih dipengaruhi oleh jenis kendaraan serta jumlah gandar kendaraan. Muatan sumbu terberat selalu berada di gandar belakang.

### **Kebutuhan tebal perkerasan Jalan**

Dasar perhitungannya adalah dari buku pedoman Penentuan tebal perkerasan Lentur jalan raya 1983 Dirjen Bina Marga. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

☉ Menentukan faktor regional (FR)

Faktor regional adalah faktor setempat yang menyangkut keadaan lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan. Dengan memakai parameter curah hujan, kelandaian jalan dan prosentase kendaraan berat didapat FR.

Menghitung dan menampilkan jumlah komposisi lalu lintas harian rata-rata LHR awal rencana.

☉ Menhitung angka ekivalen (E)

Yaitu angka yang menyatakan jumlah lintasan sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan lentur Jalan raya 1983, dirjen Bina Marga harga ekivalen masing-masing kendaraan dihitung dengan memakai rumus :

▣ Angka Ekivalen sumbu Tunggal.

$$E = (\text{beban 1 sumbu tunggal} / 8,16)^4$$

▣ Angka Ekivalen sumbu ganda

$$E = 0,086 (\text{beban 1 sumbu ganda} / 8,16)^4$$

☉ Mengitung lintas ekivalen permulaan (LEP)

Jumlah ekivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

Menurut Buku Pedoman Penentuan tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen permulaan dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$LEP = LHR_j \times C_j \times E_j$$

keterangan :

$C_j$  = koefisien distribusi kendaraan

$\Sigma LHR_j$  = lalu lintas harian rata-rata pada awal umur rencana

$E_j$  = Angka ekivalen untuk tiap jenis kendaraan

☉ Menghitung lintas ekivalen akhir (LEA)

Jumlah lintas ekivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir umur rencana.

Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$LEP = \sum LHR_j \times C_j \times E_j$$

keterangan :

$C_j$  = koefisien distribusi kendaraan

$\Sigma LHR_j$  = lalu lintas harian rata-rata pada awal umur rencana

$E_j$  = Angka ekivalen untuk tiap jenis kendaraan

☉ menghitung lintas ekivalen tengah

jumlah ekivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,15 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada tengah umur rencana. Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$LET = \frac{1}{2} (LEA + LEP)$$

Dimana

LEA = Lintas Ekivalen Akhir

LEP = Lintas Ekivalen Permulaan

☉ Menghitung lintas ekivalen rencana (LER)

Suatu beban yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekivalen rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana.

Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} LER &= LET \times (UR / 10) \\ &= LET \times FP \end{aligned}$$

Keterangan :

FP = Faktor Penyesuaian

LET = Lintas Ekivalen Tengah

UR = Umur Rencana

☉ Menghitung indeks tebal perkerasan (ITP)

Adalah angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan, caranya sebagai berikut :

- Berdasarkan CBR tanah dasar, dari grafik didapat (DDT) daya dukung tanah dasar (grafik IV).
- Dengan parameter klasifikasi jalan dan besarnya LER, dari grafik didapat indeks permukaan akhir umur rencana (grafik VII).
- Berdasarkan jenis lapis perkerasan, dari daftar VIII didapat indeks permukaan pada awal umur rencana (Ipo)
- Selanjutnya dengan parameter DDT, IP, FR, dan LER dengan memakai nomorgan penetapan tebal perkerasan didapat indeks tebal perkerasan ijin (ITP).

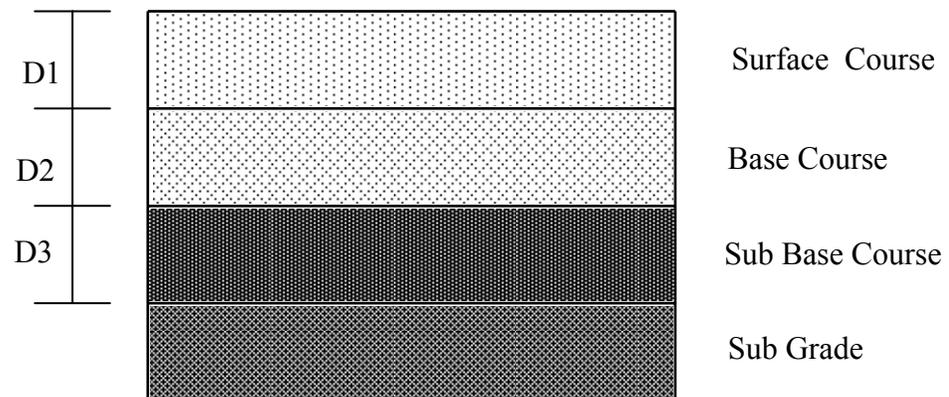
Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$ITP = (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2) + (a_3 \times D_3)$$

Dimana

$a_1, a_2, a_3$  = Koefisien kekuatan relative bahan perkerasan

$D_1, D_2, D_3$  = Tebal minimum masing-masing perkerasan



Gambar 2.8 Lapisan Struktur Perkerasan Jalan

☉ Perencanaan tebal lapis tambahan metode analisa komponen

Sebelum perencanaan perlu dilakukan survey penilaian terhadap kondisi perkerasan jalan lama (existing pavement), yang meliputi lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Seperti pada perencanaan perkerasan lentur, pada lapis tambahan metode analisa komponen dihitung LHR pada akhir umur rencana, LEP, LEA, LET dan LER. Dari perhitungan tersebut dengan menggunakan nomogram dapat diketahui ITP yang dibutuhkan. Dari selisih antara ITP yang dibutuhkan dengan ITP yang ada (existing pavement), dapat diketahui tebal lapis tambahan yang diperlukan.