

## **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 sifat tanah pada *subgrade* Jalan Trengguli-Jati Kudus adalah tanah ekspansif. Dengan kondisi tanah ekspansif tersebut maka dapat menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan jalan.

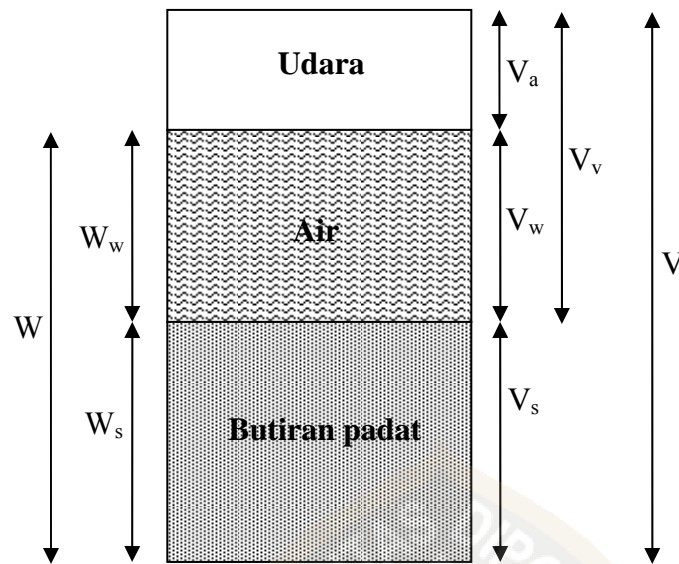
#### **2.2 TANAH**

Tanah merupakan suatu material yang mencakup semua bahan dari tanah lempung sampai berakal, dimana tanah mempunyai sifat elastis, homogen, isotropis.

##### **2.2.1 Komposisi Tanah**

Tanah menurut *Braja M. Das* (1998) didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Maka diperlukan tanah dengan kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata.

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu: butiran padat (*solid*), air dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Tiga fase elemen tanah

Hubungan volume-berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

- Dimana :
- $V_s$  = volume butiran padat
  - $V_v$  = volume pori
  - $V_w$  = volume air di dalam pori
  - $V_a$  = volume udara di dalam pori

Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan dengan :

$$W = W_s + W_w$$

- Dimana :
- $W_s$  = berat butiran padat
  - $W_w$  = berat air

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

### 1. Angka Pori

Angka pori atau *void ratio* ( $e$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

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

### 2. Porositas

Porositas atau *porosity* ( $n$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total, atau :

$$n = \frac{V_v}{V}$$

### 3. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* ( $S$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, atau :

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Hubungan antara angka pori dan porositas dapat diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n}$$

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

### 4. Kadar Air

Kadar air atau *water content* ( $w$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, yaitu :

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

## 5. Berat Volume

Berat volume ( $\gamma$ ) didefinisikan sebagai berat tanah per satuan volume.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

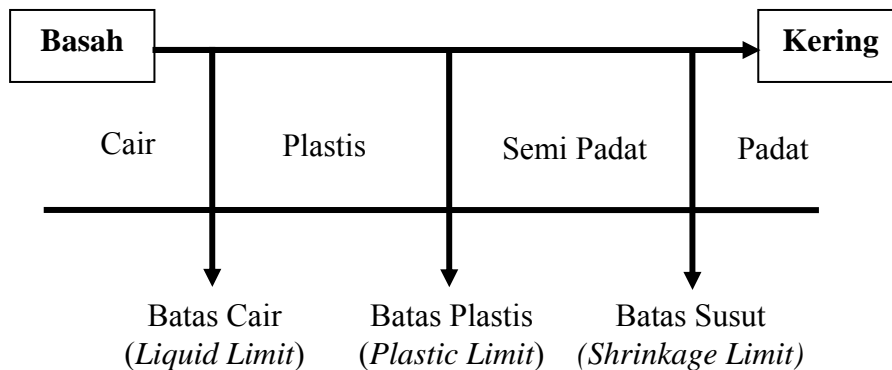
## 6. Berat spesifik

Berat spesifik atau *Specific gravity* ( $G_s$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

### 2.2.2 Batas-Batas Konsistensi Tanah

*Atterberg* adalah seorang ilmuwan dari Swedia yang berhasil mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, sehingga batas konsistensi tanah disebut Batas-batas *Atterberg*. Kegunaan batas *Atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2 di bawah ini:



**Gambar 2.2** Batas-batas *Atterberg*

1. Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
2. Batas plastis ( PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
3. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$PI = LL - PL$$

Indeks Plastisitas (IP) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut *Atterberg* berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

**Tabel 2.1** Hubungan Nilai Indeks Plastisitas dengan Jenis Tanah Menurut *Atterberg*

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7- 17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

Sumber : Bowles (1991)

### 2.2.3 Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus *Young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus elastisitas ( $E_s$ ) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

**Tabel 2.2** Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

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

Jenis Tanah	Es (kg/cm <sup>2</sup> )
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

Sumber : Bowles (1991)

#### 2.2.4 Poisson's Ratio

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

**Tabel 2.3** Hubungan antara jenis tanah dan *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson's Ratio</i> ( $\mu$ )
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
Loses	0,1 – 0,3

Sumber : Bowles (1991)

### **2.2.5 Sistem Klasifikasi Tanah**

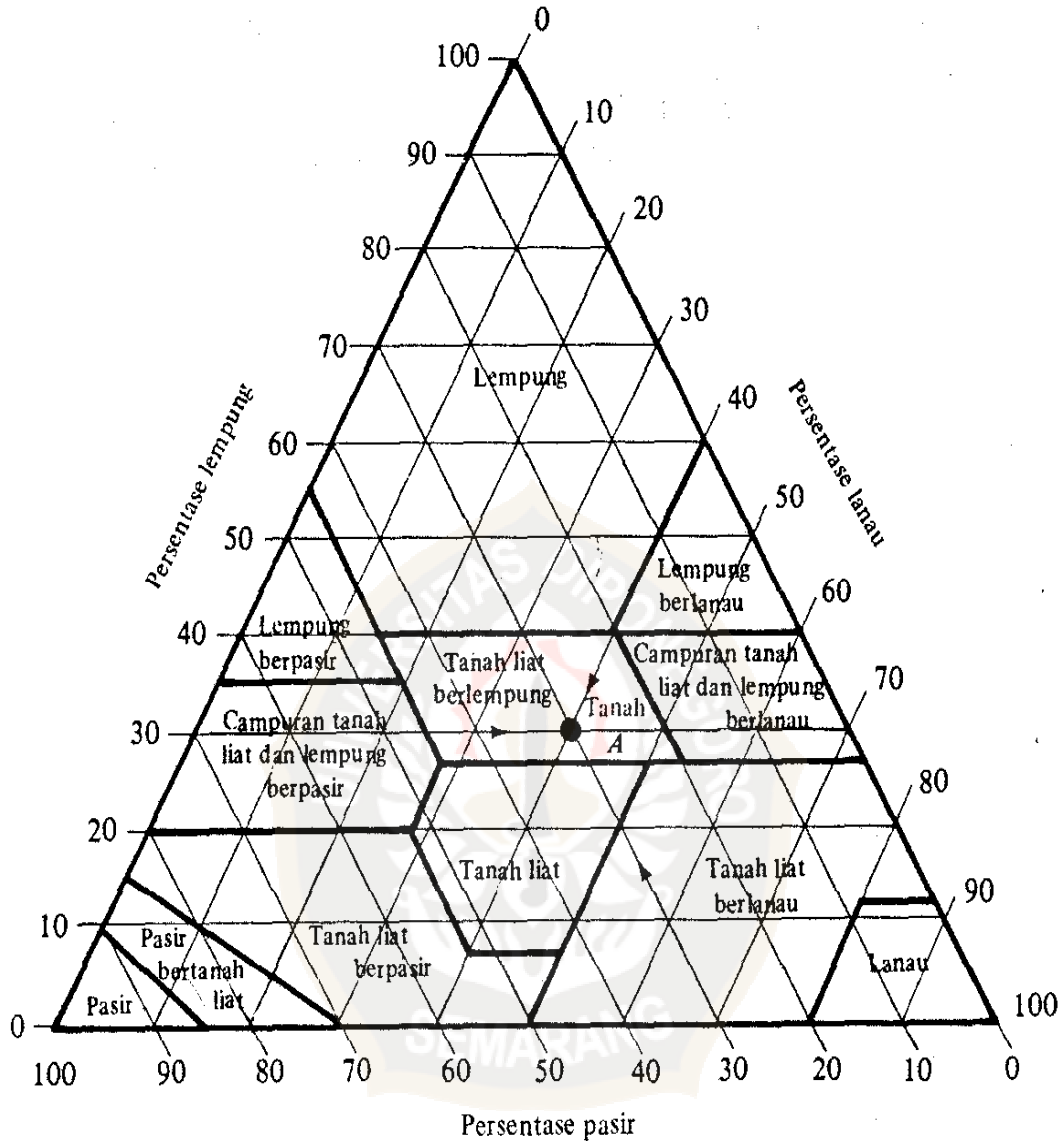
Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- A. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- B. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
- C. Klasifikasi Tanah Sistem USC

#### **A. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur**

Pengaruh daripada ukuran tiap-tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk tekstur tanah. Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir: pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). Departemen Pertanian AS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau dan lempung yang digambar pada grafik segitiga Gambar 2.3.

Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.



Sumber : Braja M. Das (1998)

**Gambar 2.3** Klasifikasi berdasar tekstur tanah

## B. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.5. di bawah ini.



Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan dengan Tabel 2.4 tentang klasifikasi tanah sistem AASHTO dibawah ini.

**Tabel 2.4** Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
Klasifikasi ayakan	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks35	Maks35	Maks35
<b>Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40</b> Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah kerikil pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Sumber : Braja M. Das (1998)

**Tabel 2.5.** Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	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
<b>Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40</b> Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Braja M. Das (1998)

### C. Klasifikasi Tanah Sistem USC

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Cassagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Engineers*. Sistem ini telah dipakai dengan sedikit modifikasi oleh *U.S. Bureau of Reclamation* dan *U.S Corps of Engineers* dalam tahun 1952. Dan pada tahun 1969 *American Society for Testing and Material* telah menjadikan sistem ini sebagai prosedur standar guna mengklasifikasikan tanah untuk tujuan rekayasa.

Sistem USC membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).

- b. Tanah butiran halus → adalah tanah yang lebih dari 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butiran halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol-simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah :

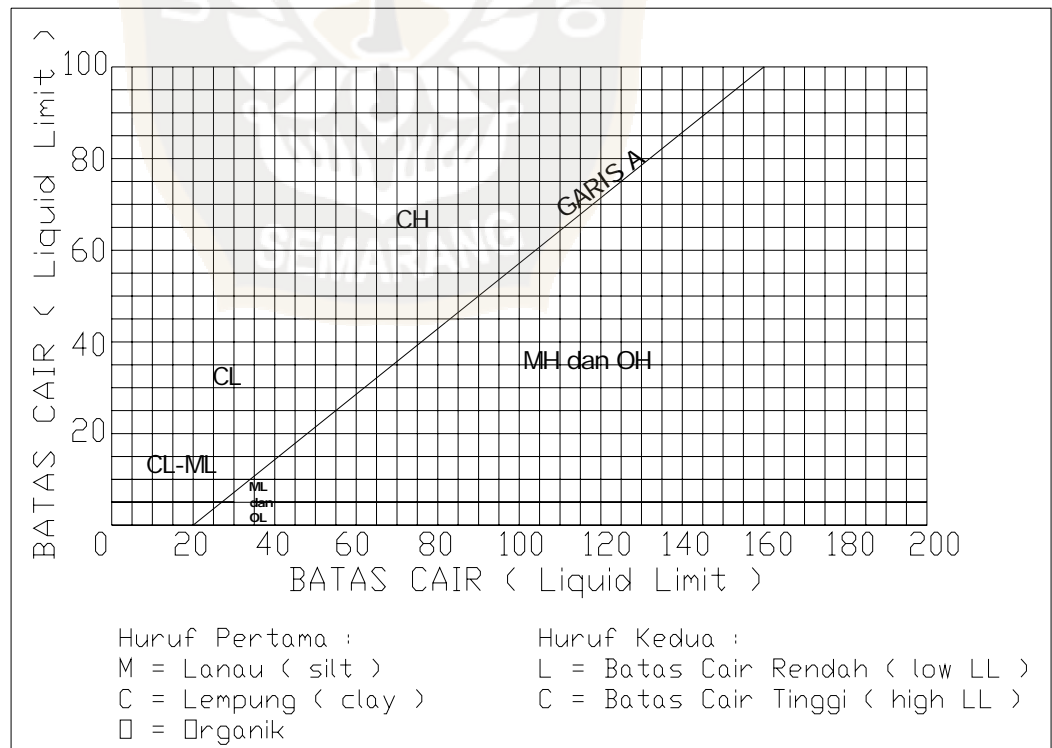
W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

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

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

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

Untuk lebih jelasnya klasifikasi system USC dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Tabel 2.6 di bawah ini:



**Gambar 2.4** Diagram Plastisitas

**Tabel 2.6.** Klasifikasi tanah sistem USC

Major Division			Simbol	Nama			
TANAH BERBUTIR KASAR lebih dari setengah bahan adalah lebih besar dari ukuran saringan no. 200	KERIKIL lebih dari setengah fraksi kasar adalah lebih besar dari ukuran saringan no. 4	(untuk klasifikasi visual, ukuran 6 mm dapat dipergunakan sebagai ekuivalen dari ukuran no. 4)	KERIKIL BERSIH (butir halus yang tidak ada atau sedikit)	GW	kerikil bergradasi baik, campuran kerikil-pasir sedikit atau tidak ada butir halus		
			KERIKIL BERBUTIR HALUS (jumlah butir halus yang cukup banyak) (butir halus)	GP	kerikil bergradasi buruk, campuran kerikil-pasir sedikit atau tidak ada butir halus		
			PASIR BERSIH (butir halus yang tidak ada atau sedikit)	GM	kerikil lanau, campuran kerikil-pasir-lanau bergradasi buruk		
			PASIR BERBUTIR HALUS (jumlah butir halus yang cukup banyak) (butir halus)	GC	kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung bergradasi buruk		
	PASIR lebih dari setengah fraksi kasar adalah lebih kecil dari ukuran saringan no. 4		PASIR BERSIH (butir halus yang tidak ada atau sedikit)	SW	pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tanpa butir halus		
				SP	pasir bergradasi buruk pasir berkerikil, sedikit atau tanpa butir halus		
				SM	pasir berlanau, campuran pasir-lanau bergradasi buruk		
	TANAH BERBUTIR HALUS lebih dari setengah bahan adalah lebih kecil dari ukuran saringan no. 200		LANAU DAN LEMPUNG batas cair lebih kecil dari 50	TANAH SANGAT ORGANIS	SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung bergradasi buruk	
					LANAU DAN LEMPUNG batas cair lebih besar dari 50	ML	lanau inorganik dan pasir sangat halus, tepung batuan, pasir halus berlanau atau berlempung dengan sedikit plastisitas
						CL	lempung inorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus
OL		lanau organik dan lanau-lempung organik dengan plastisitas rendah					
LANAU DAN LEMPUNG batas cair lebih besar dari 50		MH	lanau inorganik, tanah berpasir atau berlanau halus mengandung mika atau diatoma, lanau elastis				
		CH	lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk				
	OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi					
TANAH SANGAT ORGANIS			PT	gambut (peat), rawang (muck), gambut rawa (peat-bog), dan sebagainya			

Sumber : Braja M. Das (1998)

## 2.2.6 Sifat Mekanik Tanah

### 1. Regangan

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 dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate 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 elastic. Dalam prakteknya sulit untuk 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 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 penueunan 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 tekanan.

Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanahnya seperti permeabilitas, 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, yaitu 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 total adalah jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan, penurunan total adalah :

$S = S_i + S_c + S_s$  dimana :

$S$  = 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 elastic dari suatu pondasi terjadi segera setelah pemberian beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air. Besarnya penurunan ini tergantung 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 elastic 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 Bowles pada tahun 1968 dan menghasilkan persamaan guna menghitung penurunan segera. Persamaan tersebut adalah :

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

Berdasarkan analisis data lapangan dari Schultze dan Sherif (1973), Meyerhof (1974) yang dikutip oleh Soedarmo, D.G. dan Purnomo, S.J.E. (1993) memberikan hubungan empiris untuk penurunan pada pondasi 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

Dimana penurunan segera pada sudut dari bentuk luasan empat persegi panjang flexibel dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$S_i = \frac{qB}{E} (1 - u^2) I_p$$

Keterangan :  $B$  = Lebar area pembebanan

$I_p$  = Koefisien pengaruh

$u$  = Angka poisson

$q$  = Tambahan regangan

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 dalam pori. Faktor-faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Untuk menghitung penurunan akibat konsolidasi tanah primer dapat digunakan rumus :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left( \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right)$$

Keterangan :

$S_c$  = besar penurunan lapisan tanah akibat konsolidasi

$C_c$  = indeks pemampatan ( compression index )

$H$  = tebal lapisan tanah

$e_0$  = angka pori awal

$P_0$  = tekanan efektif rata-rata

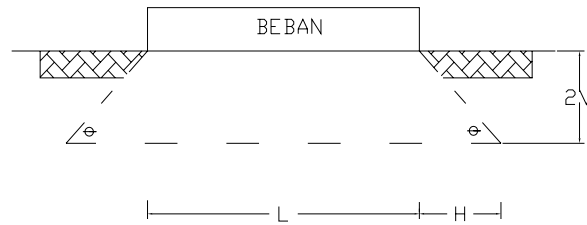
$\Delta p$  = besar penambahan tekanan

Untuk menghitung indeks pemampatan lempung yang struktur tanahnya belum terganggu / belum rusak, menurut Terzaghi dan Peck (1967) seperti yang dikutip oleh Braja M. (1998) 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 Boussinesq. Caranya adalah dengan membuat garis penyebaran beban 2V : 1H ( 2 vertikal berbanding 1 horizontal ). Gambar 2.5. menunjukkan garis penyebaran beban. Dalam cara ini dianggap beban pondasi Q didukung oleh pyramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V : 1H





**Gambar 2.5** Penyebaran Beban 2V : 1H

Tambahan tegangan vertikal dinyatakan dalam persamaan :

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

Keterangan :

$\Delta p$  = tambahan tegangan vertikal

$q$  = beban terbagi rata pada dasar pondasi

$L$  = panjang pondasi

$B$  = lebar pondasi

$Z$  = kedalaman yang ditinjau

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 (  $S_c$  ), dimana  $S_{ct}$  adalah besar penurunan aktual saat ini (  $S_t$  ) dikurangi besar penurunan segera (  $S_i$  ).

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

M.Das, (1998) memberikan hubungan  $u$  dan  $T_v$  sebagai berikut :

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

$$- \text{ Untuk } U > 60\% ; T_v = 1,781 - 0,9 \log(1-U)$$

Untuk menghitung waktu konsolidasi digunakan persamaan berikut :

$$T = \frac{T_v \cdot H_1^2}{C_v1}$$

Panjang aliran rata-rata ditentukan sebagai berikut :

- Untuk tanah dimana air porinya dapat mengalir kearah atas dan bawah maka  $H_1$  sama dengan setengah tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi.
- Untuk tanah dimana air porinya hanya dapat mengalir keluar kedalam satu arah saja, maka  $H_1$  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 diatasnya. Dalam perencanaan biasanya diperhitungkan agar pondasi tidak menimbulkan tekanan yang berlebihan pada tanah bawahnya, 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 elastic 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* ) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan. Maka :

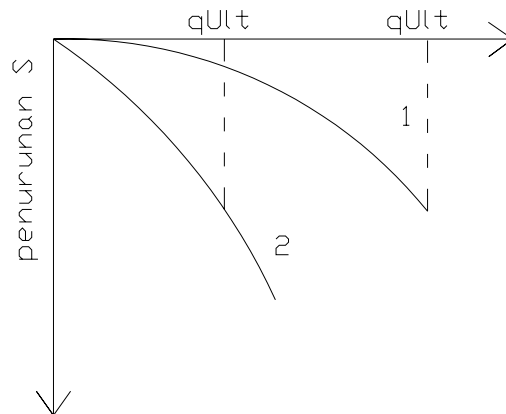
$$q_u = \frac{p_u}{A}$$

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 baban akan seperti yang ditunjukkan kurva 1 dalam Gambar 2.6. kurva 1 menunjukkan kondisi keruntuhan geser umum ( *general shear failure* ). Saat beban ultimate tercapai, tanah melewati fase 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 local ( *local shear failure* )



**Gambar 2.6** Kurva Penurunan Terhadap Beban yang Diterapkan

Untuk menghitung daya dukung ultimate dari tanah dapat digunakan rumus :

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

Setelah dipengaruhi oleh faktor bentuk dan faktor kedalaman maka rumus diatas dapat dimodifikasi sebagai berikut :

$$q_{ult} = ( c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} )$$

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

Keterangan :  $q = \gamma D_f =$  tekanan efektif overbullen

$S_f =$  faktor keamanan

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

$$N_q = \frac{\gamma^2}{2 \cos^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)}$$

$$\alpha = e^{\left( 0,75 \pi - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi}$$

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

$$F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c)$$

$$F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan \phi$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \cdot (B/L)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \cdot (D_f/B)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot (D_f/B)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Dimana pada tanah dasar mendapat tekanan desak, nilai tekanan desak pada tanah ini dapat dihitung dengan menggunakan analisa yang direkomendasikan oleh Giroud dan Noiray ( 1981 ), seperti pada rumus dibawah ini :

$$P = \frac{P_a}{2 (b + 2 \cdot H \cdot \tan \alpha) (L + 2 \cdot H \cdot \tan \alpha)}$$

Beban gandar  $P_a$ , diasumsikan didisipasikan melalui tebal perkerasan dimana  $\tan \alpha$  dapat diambil sebesar 0,6 ( John, 1987 ). Bidang kontak ekuivalen roda diatas

permukaan jalan diambil sebagai B x L, dimana B dan L adalah lebar dan panjang kontak dari roda.

Untuk kendaraan jalan raya termasuk lori :

$$B = \sqrt{(Pa/Pt)}$$

Untuk kendaraan konstruksi berat dengan roda lebar dan ganda :

$$B = \sqrt{(1,414 Pa/Pt)}$$

Dimana : pa = beban gandar

Pt = tekanan roda ( nilai tipikal untuk kendaraan konstruksi = 620 kpa ( Giroud et al, 1984 )

**Tabel 2.7** Faktor Daya Dukung Terzaghi

Ø (sudut geser)	Nc	Nq	N <sub>γ</sub>	K <sub>py</sub>
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 2.7 menggambarkan nilai Nc, Nq, N<sub>γ</sub>, K<sub>py</sub> dari setiap sudut geser tanah. Semakin besar sudut geser tanah maka nilai-nilai koefisien daya dukung Terzaghi juga akan semakin besar. Untuk angka dengan sudut geser yang tidak ada pada tabel di atas, nilai koefisien daya dukung Terzaghi dapat diperoleh dengan metode interpolasi.

## 2.2.7 Tanah Ekspansif

Tanah dengan karakter ekspansif ditemukan pada jenis tanah lempung (*clay*). Tanah lempung dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran partikel, indeks plastisitas, batas cair, dan kandungan mineral. *American Society of Testing Materials* (ASTM) mensyaratkan lebih dari 50% lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) dengan indeks plastisitas minimum 35%.

### 2.2.7.1 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Tanah ekspansif adalah suatu jenis tanah yang memiliki derajat pengembangan volume yang tinggi sampai sangat tinggi, biasanya ditemukan pada jenis tanah lempung yang sifat fisiknya sangat terpengaruh oleh air. Dari permukaan tanah hingga kedalaman tertentu, kadar air ini akan memberikan pengaruh kembang susut tanah yang cukup tinggi. Daerah ini dinamakan zona aktif tanah (Za). Zona aktif tanah ini dapat dipergunakan untuk perencanaan penanganan permasalahan tanah dasar dalam berbagai konstruksi bangunan.

Menurut Chen (1975), cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dilakukan dengan 3 cara:

- Identifikasi Mineralogi
- Cara Tidak Langsung (*single index method*)
- Cara Langsung

#### 2.2.7.1.1 Identifikasi Mineralogi

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

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

#### 2.2.7.1.2 Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji

batas-batas Atterberg, linier shrinkage test (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid.

#### ❖ Atterberg Limit

Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana yang dikutip Chen (1975), secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji atterberg. Besaran indeks plastisitas dapat digunakan sebagai indeks awal bahwa *swelling* pada tanah lempung (Seed, Woodward dan Lundgreen, 1962). Potensi mengembang didefinisikan sebagai presentase mengembang, contoh tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASTHO setelah contoh direndam dengan 1 psi.

Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang tercantum dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 2.8** Hubungan potensial mengembang dengan indeks plastisitas

Potensial Mengembang	Indeks Plastisitas
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat Tinggi	35 <

Sumber : Chen (1975)

Beberapa ahli telah mengidentifikasi pengaruh *soil properties* terhadap potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif. Seed et al. (1962) membuktikan bahwa hanya dengan *plasticity index* saja sudah cukup untuk indikasi tentang karakteristik pemuai tanah lempung. Oleh Seed et al. (1962) dirumuskan suatu persamaan yang menunjukkan hubungan antara potensi pengembangan (*swell potential*) dengan *plasticity index* sebagai berikut:

$$S = 60k(PI)^{2,44}$$

Keterangan:  $S = \text{swell potential}$   
 $K = 3,6 \times 10^{-5}$   
 $PI = \text{plasticity index}$

❖ **Linier Shrinkage**

Chen (1975) sebagaimana mengutip dari Altmeyer (1955) membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai presentase susut linier dan presentase batas susut Atterberg, seperti yang tercantum dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 2.9** Klasifikasi potensi mengembang didasarkan pada batas Atterberg limit

Batas Susut Atterberg (%)	Susut Linier (%)	Derajat Mengembang
< 10	>8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
>12	0 – 8	Tidak Kritis

Sumber : Altmeyer (1955)

❖ **Metode Klasifikasi (Metode USBR)**

Holtz dan Gibbs menyusun identifikasi tentang kriteria tingkat ekspansif suatu tanah yang kemudian disempurnakan oleh Chen (1975). Tabel identifikasi dari Holtz tersebut terdapat dalam Tabel 2.10. Altmeyer (1955) menyusun identifikasi berdasarkan batas susut. Identifikasi tersebut terdapat dalam Tabel 2.11

**Tabel 2.10** Data Estimasi Kemungkinan Perubahan Volume Tanah Ekspansif

Data from Index Test			Probable Expansion Percent Total Vol Change	Degree of Expansion
Colloid Content Percent Minus 0,001 mm	Plasticity Index	Shrinkage Index		
> 28	> 35	< 11	> 30	very high
20 - 13	25 – 41	7 - 12	20 - 30	high
13 - 23	15 – 28	10 - 16	10 - 30	medium
> 15	< 18	> 15	< 10	low

Sumber : Holtz and Gibbs (1959)



**Tabel 2.11** Tingkat Ekspansif Tanah Berdasarkan Batas Susut

Linear Shrinkage	Shrinkage Index	Degree of Expansion
< 5	> 12	non critical
5 - 8	10 – 12	marginal
> 8	< 10	critical

Sumber : Altmeyer (1955)

### 2.2.7.1.3 Metode Pengukuran Langsung

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

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

### 2.2.7.2 Sifat-Sifat Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

a. Kadar Air (*Moisture Content*)

Jika kadar air (*moisture content*) dari suatu tanah ekspansif tidak berubah berarti tidak ada perubahan volume dan struktur yang ada di atas lempung tidak akan terjadi pergerakan yang diakibatkan oleh pengangkatan (*heaving*). Tetapi jika terjadi penambahan kadar air maka terjadi pengembangan volume (*expansion*) dengan arah vertikal dan horisontal. Holtz dan Fu Hua Chen (1975) mengemukakan bahwa tanah lempung dengan kadar air alami di bawah 15% biasanya menunjukkan

indikasi berbahaya. Lempung akan mudah menyerap air sampai mencapai kadar air 35% dan mengakibatkan kerusakan struktur akibat pemuaian tanah. Sebaliknya apabila tanah lempung tersebut mempunyai kadar air di atas 30%, maka pemuaian tanah telah terjadi dan pemuaian lebih lanjut akan kecil sekali.

b. Kelelahan Pengembangan (*Fatigue of Swelling*)

Gejala kelelahan pengembangan (*fatigue of swelling*) telah diselidiki dengan cara penelitian siklus atau pengulangan pembasahan dan pengeringan yang berulang. Hasil penelitian menunjukkan pengembangan tanah pada siklus pertama lebih besar daripada siklus berikutnya. Kelelahan pengembangan diindikasikan sebagai jawaban yang melengkapi hasil penelitian tersebut sehingga dapat disimpulkan bahwa suatu *pavement* yang ditempatkan pada tanah ekspansif yang mengalami siklus iklim yang menyebabkan terjadinya pengeringan dan pembasahan secara berulang mempunyai tendensi untuk mencapai suatu stabilitas setelah beberapa tahun atau beberapa kali siklus basah – kering

Secara ideal penanganan kerusakan jalan pada lapis tanah lempung ekspansif adalah berusaha menjaga atau mempertahankan kadar air pada tanah tersebut agar tetap konstan, minimal tidak mengalami perubahan kadar air yang signifikan, baik kondisi musim penghujan maupun musim kering, sehingga tidak terjadi kembang susut yang besar. Alternatif penanganan tersebut dapat berupa:

a. Penggantian material

Dengan cara pengelupasan tanah, yaitu tanah lempung diambil dan diganti dengan tanah yang mempunyai sifat lebih baik.

b. Pemadatan (*compaction*)

Dengan cara ini biaya yang dibutuhkan lebih sedikit (ekonomis).

c. Prapembebanan

Dengan cara memberi beban terlebih dahulu pada tanah tersebut yang berfungsi untuk mereduksi *settlement* dan menambah kekuatan geser.

d. Drainase

Dengan cara membuat saluran air di bawah prapembebanan yang berfungsi untuk mempercepat *settlement* dan juga mampu menambah kekuatan geser (*sand blanket and drains*).

e. Stabilisasi

- Stabilisasi mekanis, yaitu dengan cara mencampur berbagai jenis tanah yang bertujuan untuk mendapatkan tanah dengan gradasi baik (*well graded*) sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan.
- Stabilisasi kimiawi, yaitu stabilisasi tanah dengan cara substitusi ion-ion logam dari tingkat yang lebih tinggi seperti terlihat pada skala substitusi di bawah ini:



Sebagai contoh yaitu dengan menambahkan *stabilizing agent* pada tanah tersebut, antara lain *portland cement* (PC), *hydrated lime*, *bitumen*, dan lain-lain.

f. Penggunaan *geosynthetics*

Geosintetis secara umum didefinisikan sebagai bahan polimer yang diaplikasikan di tanah. Produk atau bahan yang merupakan geosintetis antara lain:

1. Geotekstil

Geotekstil merupakan cikal bakal dari geosintetis, berupa lembaran polimer yang fleksibel, terbuat dari serat sintetis. Ada dua macam geotekstil, yang pertama berbentuk serat-serat polimer yang berbentuk benang-benang atau elemen-elemen pipih yang dianyam berbentuk lembaran dan disebut geotekstil ayam (*woven geotextile*), dimana jenis ini tidak mempunyai kemampuan drainase dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk lapis kedap air dari butiran tanah halus di bawah beban lalu-lintas dinamis. Yang kedua adalah geotekstil nir-anyam (*non-woven geotextile*) di mana serat-serat dijadikan lembaran secara acak, dimana jenis ini mempunyai dimensi ketebalan dan permeabilitas yang tinggi sehingga merupakan material drainase yang baik, yang akan mengakibatkan tekanan air pori pada tanah dasar akan terdisipasi sehingga meningkatkan kekuatan tanah dasar.

Adapun keuntungan untuk pemakaian geotekstil pada lapisan perkerasan adalah sebagai berikut :

- Mencegah kontaminasi agregat *subbase* dan *base* oleh tanah dasar lunak sehingga memungkinkan distribusi beban lalu lintas yang efektif melalui lapisan-lapisan timbunan ini.
- Meniadakan kehilangan agregat timbunan ke dalam tanah dasar yang lunak dan dengan demikian memperkecil biaya dan kebutuhan akan tambahan lapisan agregat terbang.
- Mengurangi tebal galian.
- Mengurangi penurunan dan deformasi yang tidak merata.

## 2. Geogrid

Geogrid adalah polimer plastik yang berbentuk seperti jala, geogrid dikembangkan untuk mengatasi daya dukung tanah lunak dan mempunyai tegangan yang tinggi untuk pembebanan yang lama. Geogrid biasanya digunakan untuk pembangunan jalan di atas tanah lunak, bendungan, serta lereng yang tinggi. Adapun keuntungan untuk pemakaian geogrid pada lapisan perkerasan adalah sebagai berikut :

- Untuk mengatasi daya dukung tanah lunak.
- Mempunyai struktur geometri yang dapat menyerap gaya geser.
- Untuk menghindari ketidakstabilan tanah lunak.
- Meningkatkan ketahanan agregat timbunan terhadap keruntuhan setempat pada lokasi beban dengan memperkuat tanah timbunan.
- Mempunyai tegangan desain yang tinggi untuk pembebanan yang lama.

## 3. Geomembran

Salah satu jenis geotekstil yang sering digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan adalah *geomembrane* yang oleh orang awam terlihat seperti plastik kedap air. Kemudian di atas lapisan itulah konstruksi jalan dibuat.

Geomembran adalah suatu lembaran sintesis yang memiliki sifat permeabilitas sangat rendah yang berfungsi untuk mengontrol perpindahan cairan (kadar air) yang pada suatu struktur. Penggunaan geomembran ini

menyebabkan kandungan air di dalam tanah berangsur-angsur menjadi stabil. Pada kasus tanah ekspansif, perubahan kadar air dapat menyebabkan perubahan volume tanah sehingga dapat terjadi kerusakan cukup serius pada struktur. Geomembran dapat menghambat dan menghalangi perubahan kadar air pada tanah dasar sehingga dapat mencegah timbulnya kerusakan pada konstruksi jalan di atasnya.

Pada pelaksanaannya, geomembran dapat digunakan dalam berbagai cara, yaitu:

- *Vertical Geomembrane*  
Membran vertikal dipasang pada kedua sisi perkerasan jalan dengan kedalaman minimal 2/3 zona aktif (Nelson dan Miller, 1992), dan tidak boleh kurang dari 1 meter.
- *Horizontal Geomembrane*  
Membran horisontal dipasang sedemikian rupa sehingga menutupi lebar jalan pada kedalaman tertentu, kemudian di atasnya diberi urugan tanah yang berasal dari daerah lain dan bukan merupakan jenis tanah ekspansif.

### 2.3. Pengaruh Lalu Lintas

#### 2.3.1. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Jalan terbagi 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 2.12 berikut:

**Tabel 2.12** 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 : Departemen Pekerjaan Umum (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 yang 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 yang 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.

### 2.3.2. 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 :

$$Y = a + bx$$

Dengan 
$$a = \frac{\Sigma Y - b \Sigma X}{n} \qquad b = \frac{n \Sigma (XY) - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma (X)^2 - (\Sigma X)^2}$$

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

X = Tahun ke-

n = jumlah tahun

a dan b = Konstanta

Prediksi tingkat pertumbuhan lalu lintas ( I ) didapat dari data lalu lintas (LHR) sebelumnya :

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

atau

$$i = \left( \sqrt[n]{B/A} \right) - 1$$

Dimana :

LHR<sub>n</sub> = Lalu Lintas Harian Rata-rata pada tahun ke n

I = Pertumbuhan lalu lintas

B = LHR tahun ke – n

A = LHR tahun awal

### 2.3.3. 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/bm/1997.

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

Keterangan :

Q<sub>DH</sub> = arus lalu lintas yang digunakan dalam perancangan

k = faktor peubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak

LHRT = lalu lintas harian rata-rata tahunan



### 2.3.4. 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 2.13 di bawah ini :

**Tabel 2.13** Beban Gandar Kendaraan

Jenis Kendaraan	Beban (Ton)	Distribusi Beban (Ton)
1 = sepeda motor, skuter, sepeda kumbang, dan roda tiga	2	1 + 1
2 = sedan, jeep, dan station wagon	2	1 + 1
3 = oplet, pick up, suburban, combi, dan minibus	2	1 + 1
4 = mikro truk dan mobil hantaran	6	2 + 4
5a = bus kecil	8	3 + 5
5b = bus besar	9	3 + 6
6a = truk ringan dua sumbu	8	3 + 5
6b = truk sedang dua sumbu	16	6 + 10
7a = truk tiga sumbu	26	6 + 18
7b = truk gandengan	36	6 + 10 + 10 + 10
7c = truk semi trailer	36	6 + 10 + 18

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.

### 2.4. ASPEK PERKERASAN JALAN

Struktur perkerasan jalan adalah bagian konstruksi jalan raya yang diperkeras dengan lapisan konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan, kekakuan dan kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya dengan aman.

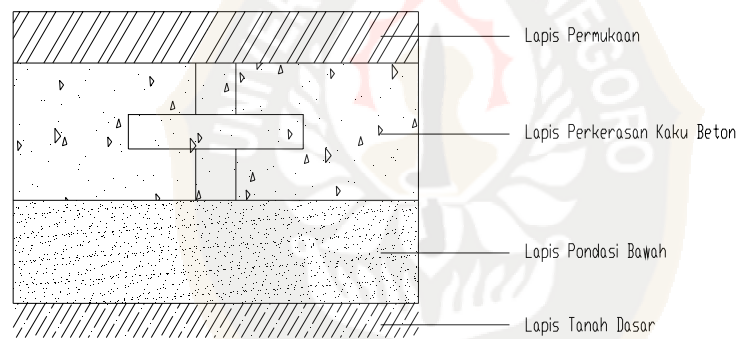
Dalam perencanaan jalan perkerasan merupakan bagian penting dimana perkerasan mempunyai fungsi sebagai berikut :



- Menyebarkan beban lalu lintas sehingga besarnya beban yang dipikul oleh tanah dasar (*subgrade*) lebih kecil dari kekuatan tanah dasar itu sendiri.
- Melindungi tanah dasar dari air hujan.
- Mendapatkan permukaan yang rata dan memiliki koefisien gesek yang mencukupi sehingga pengguna jalan lebih aman dan nyaman dalam berkendara.

#### 2.4.1 Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan ini menggunakan bahan ikat semen Portland, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton. Struktur lapisan perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 2.7 di bawah ini:

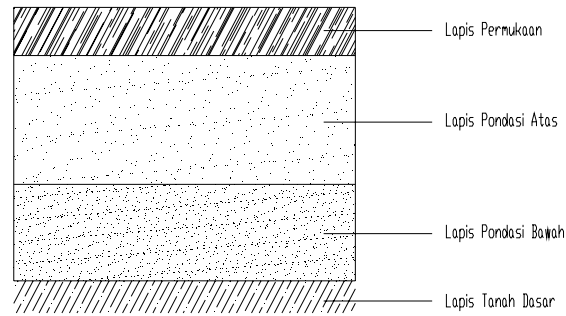


**Gambar 2.7** Lapisan Perkerasan Kaku

#### 2.4.2 Lapisan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan ini menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan – lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Struktur dari lapisan perkerasan lentur dijelaskan pada Gambar 2.8. Lapisan – lapisan tersebut adalah :

- Lapisan Permukaan (*surface coarse*)
- Lapisan Pondasi Atas (*base coarse*)
- Lapisan Pondasi Bawah (*sub-base coarse*)
- Lapisan Tanah Dasar (*sub grade*)



**Gambar 2.8.** Lapisan Perkerasan Lentur

Ketebalan perkerasan didesain agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh kendaraan, perubahan suhu, kadar air dan perubahan volume pada lapis di bawahnya. Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

1. Umur rencana

Pertimbangan yang digunakan dalam menentukan umur rencana perkerasan jalan adalah pertimbangan biaya konstruksi, klasifikasi fungsional jalan dan pola lalu lintas jalan yang bersangkutan, dimana tidak terlepas dari satuan pengembangan wilayah yang telah ada.

2. Lalu lintas

Analisa lalu lintas berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan komposisi beban sumbu kendaraan berdasarkan data yang terbaru.

3. Konstruksi jalan

Konstruksi jalan terdiri dari tanah dan perkerasan jalan. Penetapan rencana tanah dasar dan bahan material yang akan digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan harus didasarkan atas survey dan penelitian laboratorium.

Faktor – faktor yang mempengaruhi besar tebal perkerasan jalan adalah :

- Jumlah jalur (N) dan koefisien distribusi kendaraan (C)
- Angka ekivalen (E) beban sumbu kendaraan
- Lalu lintas harian rata rata
- Daya dukung tanah (DDT) dan CBR
- Faktor regional (FR)

Struktur perkerasan lentur terdiri dari bagian – bagian yang memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Lapisan permukaan ( *surface course* )

Lapisan permukaan adalah lapisan setelah lapisan perkerasan yang paling atas.

Lapisan ini berfungsi antara lain sebagai berikut :

- Lapis perkerasan menahan beban roda, yang 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 di bawahnya sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang lebih jelek daya dukungnya.

2. Lapisan pondasi ( *base course* )

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

- Lapisan 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 penelitian dan pertimbangan sebaik-baiknya sesuai dengan persyaratan yang ada.

3. Lapisan pondasi bawah ( *sub base coarse* )

- Menyebarkan beban ke tanah dasar.
- Mencegah tanah dasar masuk ke lapisan pondasi.
- Untuk menghemat penggunaan material.
- Sebagai lantai kerja lapisan pondasi atas.

4. Tanah dasar (*sub grade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula, galian, timbunan tanah yang dipadatkan. Tanah dasar merupakan permukaan tanah dasar untuk perkerasan. Bentuk dan jenis konstruksi perkerasan jalan tergantung sifat-sifat dan jenis tanah. Secara geoteknik, daya dukung tanah ditentukan dengan *soil test*. Umumnya permasalahan yang terjadi menyangkut tanah meliputi daya dukung tanah, permeabilitas, kadar air, sifat mengembang. Lapisan *subgrade* akan terpengaruh terhadap daya dukung tanah. Semakin bagus sifat tanah untuk *subgrade* maka makin meningkat daya dukung tanah tersebut.

#### 2.4.2.1 Perancangan Konstruksi Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Analisa Komponen

Tebal perkerasan lentur dihitung berdasarkan Petunjuk Pelaksanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen SKBI 2.3.26.1987. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung LHR setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing-masing arah pada jalan dengan median.

a. Menghitung LEP (lintas ekuivalen permulaan)

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_0 \times C_j \times E_j$$

Keterangan:

LHR = lalu lintas harian rata rata pada awal umur rencana

$C_j$  = koefisien distribusi kendaraan

$E_j$  = angka ekuivalen tiap jenis kendaraan

b. Menghitung LEA (lintas ekuivalen akhir)

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j (1+i)^{UR} \times C_j \times E_j$$

Keterangan:

$i$  = angka perkembangan lalu lintas

$j$  = jenis kendaraan

- c. Menghitung LET (lintas ekivalen tengah)

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

- d. Menghitung LER (lintas ekivalen rencana)

$$LER = LET \times \frac{UR}{10}$$

Keterangan:

UR = umur rencana

2. Menghitung daya dukung tanah dasar (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi. Daya dukung tanah dasar diperoleh dari nilai CBR, DCP, dan lain-lain. Dari nilai CBR yang diperoleh, maka ditentukan nilai CBR rencana yang merupakan nilai CBR rata-rata pada suatu jalur tertentu.

Caranya adalah sebagai berikut:

- tentukan nilai harga CBR terendah,
  - tentukan jumlah harga nilai CBR,
  - tentukan jumlah harga CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR.
3. Faktor Regional (FR)

Faktor ini dipengaruhi oleh bentuk alinyemen, persentase kendaraan berat, serta iklim dan cuaca setempat. Pada bagian-bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian, atau tikungan tajam, FR ditambah dengan 0,5. Pada rawa-rawa FR ditambah dengan 1,0. Nilai FR dapat dilihat pada Tabel 2.14.

**Tabel 2.14** Lebar Lajur Ideal

Curah Hujan (mm / tahun)	Kelandaian I (<6%)		Kelandaian II (6% - 10%)		Kelandaian III (>10%)	
	Kelandaian Berat (%)					
	≤30%	>30%	≤30%	>30%	≤30%	>30%
<900	0,5	1,0-1,5	1	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
>900	1,5	2,0-2,5	2	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber : SKBI (1987)

#### 4. Indeks Permukaan (IP)

Indeks permukaan adalah nilai kerataan dan kekokohan permukaan yang berkaitan dengan tingkat pelayanan lalu lintas. Selengkapnya nilai IP dapat dilihat pada Tabel 2.15.

**Tabel 2.15** Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana

LER <sup>*)</sup>	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
<10	1,0-1,5	1,5	1,5-2,0	-
10 – 100	1,5	1,5-2,0	2	-
100 – 1000	1,5-2,0	2	2,0-2,5	-
>1000	-	2,0-2,5	2,5	2,5

<sup>\*)</sup> LER dalam satuan angka ekivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal

Catatan : pada proyek proyek penunjang jalan, jalan murah, atau jalan darurat maka Ipt dapat diambil 1,0

Sumber : SKBI (1987)

Dalam menentukan indeks permukaan awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan pada awal umur rencana. Tabel 2.16 berikut memuat tentang nilai IPo.

**Tabel 2.16** Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness <sup>*)</sup> (mm/Km)
LASTON	≥4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	>1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	>2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	>2000
BURDA	3,9 – 3,5	<2000
BURTU	3,4 – 3,0	<2000
LAPEN	3,4 - 3,0	≤3000
	2,9 – 2,5	>3000

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness <sup>*)</sup> (mm/Km)
LATASBUM	2,9 – 2,5	-
BURAS	2,9 – 2,5	-
LATASIR	2,9 – 2,5	-
JALAN TANAH	≤2,4	-
JALAN KERIKIL	≤2,4	-

Sumber : SKBI (1987)

##### 5. Menghitung ITP (indeks tebal perkerasan)

Indeks tebal perkerasan (ITP) dapat dicari dengan menggunakan nomogram sesuai yang terdapat pada buku petunjuk perencanaan perkerasan jalan metode analisis komponen yang masing-masing nomogram dipakai berdasarkan nilai IP dan IPo. Dengan menarik garis lurus antara nilai daya dukung tanah (DDT) dan harga LER, maka didapat nilai ITP, kemudian garis dihubungkan lagi dengan nilai faktor regional (FR) sehingga didapat ITP. Nilai ITP digunakan untuk menentukan tebal masing-masing lapis perkerasan dengan rumus sebagai berikut:

$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

Keterangan :

$a_1, a_2, a_3$  = koefisien relatif kekuatan bahan

$D_1, D_2, D_3$  = tebal minimum masing-masing lapisan (cm)

Selengkapnya nilai koefisien relatif kekuatan bahan dapat dilihat pada Tabel 2.17.

**Tabel 2.17** Koefisien Kekuatan Relatif Bahan

Koefisien kekuatan relatif			Kekuatan bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	
0,25	-	-	-	-	-	
0,2	-	-	-	-	-	
-	0,28	-	590	-	-	Laston atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab tanah semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab tanah semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah/lempung pasiran

Sumber : SKBI (1987)



6. Perancangan Tebal Lapisan Perkerasan

a. Lapis permukaan

Batas minimum tebal perkerasan untuk lapis permukaan dapat dilihat pada Tabel 2.18 di bawah ini.

**Tabel 2.18** Batas Minimum Tebal Lapis Perkerasan untuk Lapis Permukaan

ITP	Tebal Minimum	Bahan
<3,00	5	Lapis pelindung : buras/burtu/burda
3,00 – 6,70	5	Lapen/aspal makadam, HRA, lasbutag, laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapen/aspal makadam, HRA, lasbutag, laston
7,50 – 9,99	7,5	Lasbutag, laston
≥10,00	10	Laston

Sumber : SKBI (1987)

b. Lapis pondasi

Batas minimum tebal perkerasan untuk lapis pondasi dapat dilihat pada Tabel 2.19 di bawah ini.

**Tabel 2.19** Batas minimum tebal lapis perkerasan untuk lapis pondasi

ITP	Tebal Minimum	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50 - 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi makadam
	15	Laston atas
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi makadam, lapen, laston atas
≥12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi makadam, lapen, laston atas

Sumber : SKBI (1987)

c. Lapis Pondasi Bawah

Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah tebal minimum adalah 10 cm.

Sumber : SKBI (1987)

## 2.5 Program Plaxis 8.2

PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah program pemodelan dan *Postprocessing* metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. PLAXIS V.8 menyediakan berbagai analisa teknik tentang *Displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisa.

Parameter tanah yang digunakan dalam program PLAXIS V.8 diantaranya yaitu :

- a) Berat Volume Tanah Kering / *dry soil weight* ( $\gamma_{dry}$ )
- b) Berat Volume Tanah Basah / *wet soil weight* ( $\gamma_{wet}$ )
- c) Permeabilitas Arah Horizontal / *horisontal permeability* ( $k_x$ )
- d) Permeabilitas Arah Vertikal / *vertical permeability* ( $k_y$ )
- e) Modulus *Young* / *Young's Modulus* ( $E_{ref}$ ),
- f) *Poisson's Ratio* ( $\nu$ )
- g) Kohesi / *Cohesion* ( $c$ )
- h) Sudut Geser / *Friction Angle* ( $\phi$ )
- i) Sudut Dilatasi / *Dilatancy Angle* ( $\psi$ )

Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodal atau 15 nodal. Pada analisis ini digunakan elemen segitiga dengan 15 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan menggunakan turunan berderajat dua. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisis sudah cukup teliti dan dapat diandalkan.

PLAXIS terdiri dari 4 program :

1. *Input* program
2. *Calculation* program
3. *Output* program
4. *Curve* program