

## BAB II

# DASAR TEORI DAN STUDI PUSTAKA

### 2.1. TINJAUAN UMUM

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat ( butiran), beberapa mineral - mineral padat yang tidak tersedimentasi terikat secara kimia ) satu sama lain dan dari bahan - bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang - ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut. Salah satu kegunaan tanah yaitu sebagai pendukung struktur bangunan atas sehingga tanah harus tetap stabil dan tidak mengalami penurunan yang mengakibatkan kerusakan konstruksi, istilah penurunan menunjukkan tenggelamnya suatu bangunan akibat kompresi dan deformasi lapisan tanah di bawah bangunan.

Karena rumitnya sifat-sifat mekanik tanah maka penurunan struktur hanya dapat diperkirakan dengan hasil analisis tanah tersebut, sehingga perlu diketahui sifat - sifat dasar tanah seperti komposisi tanah, permeabilitas tanah, dan daya dukungnya serta penyebab lainnya.

### 2.2. KOMPOSISI TANAH

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu : butiran padat, air, dan udara. Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

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

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

e = Angka pori  
 V<sub>v</sub> = Volume pori

$V_s$  = Volume butiran padat

2. Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total, yang dinyatakan dalam persen, atau :

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

$n$  = Porositas

$V_v$  = Volume pori

$V$  = Volume tanah total

3. Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, yang dinyatakan dalam persen, atau :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

$S_r$  = Derajat kejenuhan

$V_w$  = Volume air

$V_v$  = Volume pori

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

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{n-1} \dots\dots\dots 2.4$$

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots 2.5$$

4. Kadar air (  $w$  ), disebut juga sebagai Water Content yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, atau :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots 2.6$$

Keterangan :

$w$  = Kadar air

$W_w$  = Berat air

$W_s$  = Berat butiran padat

5. Berat volume ( $\gamma$ ) adalah berat tanah persatuan volume, atau :

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots 2.7$$

Keterangan :

$\gamma$  = Berat volume  
 $W$  = Berat tanah  
 $V$  = Volume total

Rumus berat volume ini berlaku untuk berat volume basah. Berat volume dapat juga dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air, dan volume total.

$$\gamma = \frac{W_s(1+w)}{V} \dots\dots\dots 2.8$$

Keterangan :

$\gamma$  = Berat volume  
 $W_s$  = Berat butiran padat  
 $w$  = Kadar air  
 $V$  = Volume total

Berat volume kering ( *dry unit weight* ),  $\gamma_d$  adalah berat kering persatuan volume ( menurut ASTM *Test Designation D - 2049*), atau :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan :

$\gamma_d$  = Berat kering  
 $W_s$  = Berat butiran padat  
 $V$  = Volume total

Hubungan antara berat volume, berat volume kering, kadar air adalah sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan :

$\gamma_d$  = Berat kering

$\gamma$  = Berat volume

w = Kadar air

Hubungan antara berat volume ( *unit weight* ), angka pori ( *void ratio* ), kadar air ( *moisture content* ) dan berat spesifik. Untuk mendapatkan hubungan antara berat volume ( kepadatan ), angka pori dan kadar air., dianggap bahwa suatu elemen tanah dimana butiran padatnya adalah 1. Karena volume butiran padat 1, maka volume dari pori adalah sama dengan angka pori (  $e$  ). Berat dari butiran padat dan air dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W_s = G_s \cdot \gamma_w \dots\dots\dots 2.11$$

$$W_w = w \cdot G_s \cdot \gamma_w \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

$G_s$  = Berat spesifik butiran padat

w = Kadar air

$\gamma_w$  = Berat volume air

Dengan menggunakan definisi berat volume dan berat volume kering dari persamaan sebelumnya, dapat dituliskan bahwa :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + w \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w) \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots 2.13$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots 2.14$$

Keterangan :

$G_s$  = Berat spesifik butiran padat

w = Kadar air

$\gamma_w$  = Berat volume air

$W_s$  = Berat butiran padat

$\gamma$	=	Berat volume
$\gamma_d$	=	Berat kering
V	=	Volume total
e	=	Angka pori

Karena berat air dalam elemen tanah yang ditinjau adalah  $w$ ,  $G_s$ ,  $\gamma_d$ , volume yang ditempati air adalah :

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w \cdot G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_w} = w \cdot G_s \dots\dots\dots 2.15$$

Keterangan :

$V_w$	=	Volume air
$W_w$	=	Berat air
$G_s$	=	Berat spesifik butiran padat
$w$	=	Kadar air
$\gamma_w$	=	Berat volume air

Derajat kejenuhan (*degree of saturation*) menjadi :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w \cdot G_s}{e} \dots\dots\dots 2.16$$

$$S \cdot \ell = w \cdot G_s \dots\dots\dots 2.17$$

Keterangan :

S	=	Derajat kejenuhan
$V_w$	=	Volume air
$V_v$	=	Volume pori
$G_s$	=	Berat spesifik butiran padat
$w$	=	Kadar air
e	=	Angka pori

Dengan demikian, berat volume tanah yang jenuh air ( $\gamma_{sat}$ ) artinya ruang pori terisi penuh oleh air dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{(G_s + 1) \cdot \gamma_w}{1 + \ell} \dots\dots\dots 2.18$$

Dimana :

$\gamma_{sat}$	=	Berat volume tanah yang jenuh air
W	=	Berat tanah
V	=	Volume
G <sub>s</sub>	=	Berat spesifik butiran padat
e	=	Angka pori
$\gamma_w$	=	Berat volume air

### 2.3. TANAH BERPOTENSI EKSPANSIF

Tanah kohesif didefinisikan sebagai kumpulan dari partikel mineral yang mempunyai sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur-unsur kimia, *texture* dan partikel serta pengaruh lingkungan disekitarnya. Pengetahuan mengenai mineral tanah sangat diperlukan untuk memahami perilaku tanah. Dari segi mineral yang disebut tanah lempung dan mineral lempung adalah yang mempunyai partikel-partikel tertentu yang apabila dicampurkan dengan air akan menghasilkan sifat - sifat plastis pada tanah.

Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid yaitu merupakan gugusan kristal berukuran mikro yang merupakan hasil proses pelapukan mineral dan batuan induknya.

Mineral lempung terdiri dari dua lempeng kristal pembentuk kristal dasar yaitu *Silikat Tetrahedral* dan *Alumunium Oktaheral*. Mineral lempung yang telah diidentifikasi sudah banyak jumlahnya, namun hanya sebagian kecil yang dibahas dalam persoalan geoteknik. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air dengan memperlihatkan perubahan volume yang cukup besar dan penurunan *shear strenght*.

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

1. Identifikasi Minerallogi
2. Cara tidak langsung (indeks tunggal)

### 3. Cara langsung.

#### 2.3.1. Analisa Mineralogi

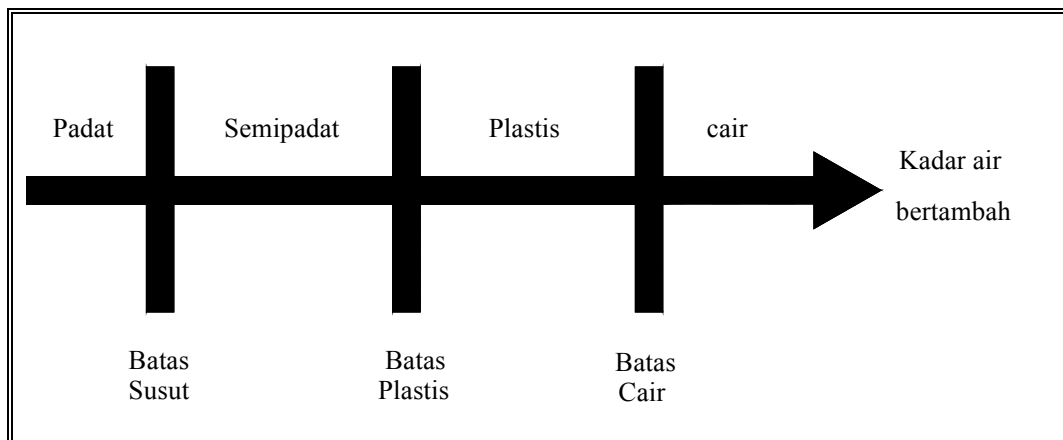
Analisa Mineralogi berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara :

1. Difraksi sinar X
2. Dve Absorbision Penyerapan Terbilas - Penurunan Panas
3. Analisis Kimia
4. Electron Microscope Resolution.

#### 2.3.2. Cara Tidak Langsung

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

Jika tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap disekeliling permukaan dari partikel lempung. Menurut *Atterberg* tanah dapat dipisahkan dalam empat keadaan dasar yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Batas - batas Atterberg

### 2.3.3. Batas Cair ( *Liquid Limit* )

Tujuan dari pemeriksaan batas cair adalah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada batas keadaan cair. Batas cair adalah kadar air batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis. US Waterways Experiment Station Vicksburg, Missisipi ( 1949 ) mengajukan suatu persamaan empiris untuk menentukan batas cair, yaitu :

$$LL = w_N \left( \frac{N}{25} \right)^{\tan \beta} \dots\dots\dots 2.19$$

Dimana :

- N = Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menutup goresan selebar 0.5 in pada dasar contoh tanah yang diletakkan dalam mangkok kuningan dari alat uji batas cair
- $w_N$  = Kadar air dimana untuk menutup dasar goresan dari contoh tanah dibutuhkan pukulan sebanyak N
- $\tan \beta$  = 0. 121

Rumus diatas sudah dimasukkan dalam ASTM standar keterangan no D-423.

### 2.3.4. Batas Plastis ( *Plastic Limit* )

Maksud dari pemeriksaan batas plastis ialah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis. Batas plastis ialah kadar air minimum dimana suatu tanah masih dalam keadaan plastis. Batas ini merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan tanah.

Indeks plastisitas merupakan perbedaan antara batas cair ( LL ) dan batas plastis ( PL ), atau :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots 2.20$$

Urutan pelaksanaan uji batas plastis diberikan oleh ASTM Test Designation D - 424.



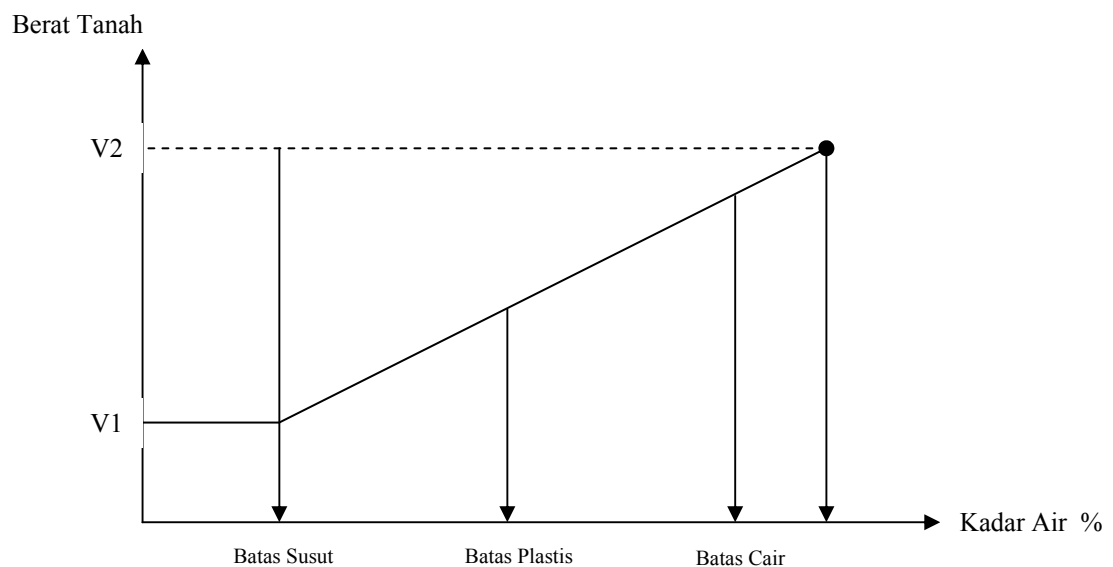
Tabel 2.1. Hubungan antara indeks plastis dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah menurut Atterberg.

PI	TINGKAT PLASTISITAS	JENIS TANAH
0	Tidak plastis / Non PI	Pasir
$0 < PI < 7$	Plastisitas rendah	Lanau ( Silt )
7 – 17	Plastisitas sedang	Silty – Clay
$> 17$	Plastisitas tinggi	Lempung ( Clay )

Sumber : *Soil Mechanics* - Alfred R. Jumikis, hal. 128

### 2.3.5. Batas Susut ( *Shrinkage Limit* )

Suatu tanah akan menyusut jika air yang dikandungnya perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air im tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan di mana, penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume ( *Gambar 2.2* ).



Gambar 2.2. Definisi batas susut

Seperti terlihat pada Gambar 2.2, batas susut dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut ( Berdasarkan ASTM *Test Designation* D-427) :

$$SL = \left[ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \right] (100) - \left[ \frac{(v_i - v_f) \cdot \rho_w}{m_2} \right] (100) \dots\dots\dots 2.21$$

Dimana :

- $m_1$  = Massa tanah basah dalam mangkok pada saat permulaan pengujian (gr)
- $m_2$  = Massa tanah kering (gr)
- $v_i$  = Volume contoh tanah basah pada saat permulaan pengujian ( $\text{cm}^3$ )
- $v_f$  = Volume tanah kering sesudah dikeringkan di dalam oven ( $\text{cm}^3$ )
- $\rho_w$  = Kerapatan air ( $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ )

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 pada tabel.

*Tabel 2.2. Hubungan Potensi Mengembang dengan Indeks Plastisitas (Chen, 1975)*

POTENSI MENGEMBANG	INDEKS PLASTIS
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat Tinggi	> 35

Altmeyer ( 1955 ) membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linier dan persentase batas susut Atterberg seperti yang tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Potensi Mengembang Didasarkan pada Atterberg Limits

BATAS SUSUT ATTERBERG (%)	SUSUT LINIER (%)	DERAJAT MENGEMBANG
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 – 5	Tidak Kritis

Susut linier (*linear shrinkage*) didefinisikan sebagai pengurangan massa tanah pada satu ukuran yang dinyatakan dalam persentase terhadap keadaan sebelum terjadi pengurangan.

$$L_s = 100 \left[ 1 - \left( \frac{100}{VS + 100} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \dots\dots\dots 2.22$$

Keterangan :

$L_s$  = *Linear Shrinkage* (%)

$VS$  = *Volumetric Shrinkage* (%)

Sedangkan rumus untuk mendapatkan VS adalah :

$$VS = \left[ \frac{(V_1 - V_d)}{V_d} \right] \times 100 \dots\dots\dots 2.23$$

Keterangan :

$VS$  = *Volumetric Shrinkage* (%)

$V_1$  = Volume tanah pada kadar air  $w_1$

$V_d$  = Volume tanah kering

Uji *Free Swell* diperkenalkan oleh Holtz ( 1956 ) sebagaimana dikutip Chen (1975 ), yaitu dengan cara memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur yang diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

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

*Swell* adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

*Colloid content* juga dapat menjadi indikator mengembang tana lempung ekspansif. Seed et al ( 1962 ) membuat bentuk analisis dari persamaan berikut :

$$S = k \times C^x \dots\dots\dots 2.24$$

Dimana :

- S = Potensi mengembang  
 C = Persentase butiran lempung ( ukuran < 0.002 mm )  
 x = Eksponensial yang tergantung dari jenis lempung  
 k = Konstanta atau koefisien yang menunjukkan jenis lempung

Skempton ( 1953 ) mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut :

$$Activity(A) = \frac{PI}{(C - 10)} \dots\dots\dots 2.25$$

Keterangan :

- PI = *Plasticity Index*  
 C = Persentase lempung lolos saringan 0.002 mm

Dari rumus diatas Skempton membagi tanah menjadi tiga golongan, yaitu :

- $A \leq 0.75$  : tidak aktif
- $0.75 < A \leq 1.25$  : normal
- $A > 1.25$  : aktif

Seed et al ( 1962 ) mengelompokkan besaran activity berdasarkan jenis mineral seperti yang terlihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Hubungan Aktivitas dengan Mineral ( Seed et al, 1962 )

MINERAL	AKTIVITAS
Kaolinite	0.33 – 0.46
Illite	0.99
Montmorillonite ( Ca )	1.5
Montmorillonite ( Na )	7.2

### 2.3.6. Metode Pengukuran Langsung

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

### 2.3.7. Faktor - Faktor yang Berpengaruh Dalam Proses Mengembang

Menurut Chen ( 1975 ) faktor yang berpengaruh pada proses mengembang tanah lempung ekspansif dapat dilihat dari dua kondisi proses, yaitu kondisi di laboratorium dan kondisi di lapangan ( *in situ* ). Proses mengembang di laboratorium merupakan penyederhanaan pengamatan terhadap faktor berpengaruh dalam proses mengembang di lapangan. Faktor - faktor tersebut adalah kadar mineral lempung, montmorillonite, kepadatan awal, waktu pembasahan, tebal contoh tanah, tingkat kejenuhan, kadar air awal dan tekanan akibat beban luar. Empat faktor pertama memiliki kecenderungan potensi mengembang tanah bertambah dengan meningkatnya nilai faktor tersebut. Sedangkan tiga faktor terakhir memiliki kecenderungan yang sebaliknya. Proses

mengembang yang terjadi di lapangan jauh lebih rumit prosesnya daripada apa yang diamati di laboratonium.

Sejumlah faktor tambahan lain yang sangat berpengaruh terhadap proses mengembang adalah :

1. Iklim ( *climate* ) meliputi efek presipitasi, evaporasi dan tranpirasi serta kelembaban tanah.
2. Profil tanah, ketebalan tanah ekspansif dan posisinya pada profil tanah akan sangat berpengaruh pada proses mengembang tanah setempat.
3. Air tanah, lapisan tanah ekspansif yang berada di daerah fluktuasi pergerakan air tanah akan sangat berpengaruh pada proses mengembang di lokasi tanah setempat. Tetapi untuk lapisan tanah ekspansif yang berada di bawah daerah fluktuasi air tanah tersebut tidak akan mempengaruhi proses mengembang tanah ekspansif tersebut.
4. Drainase.

## 2.4. ELASTISITAS TANAH

Tabel 2.5. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Macam Tanah	E ( Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>LEMPUNG</b>	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Berpasir	300 – 425
<b>PASIR</b>	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
<b>PASIR DAN KERIKIL</b>	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
<b>LANAU</b>	
<b>LOESS</b>	
<b>CADAS</b>	
	1400 - 14000

Tabel 2.6. Nilai Perkiraan Angka Poisson Tanah (Bowles, 1997)

Macam Tanah	$\nu$ (angka poisson tanah)
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 – 0,30
Lempung Berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25

Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

2.7. Hubungan antara konsistensi dengan nilai Tekanan Konus pada sondir

Konsistensi tanah	Tekanan Konus $q_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Undained Cohesion ( $\text{T/m}^2$ )
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
Medium Stiff	5,0– 10,0	2,50 – 5,0
Stiff	10,0– 20,0	5,0 – 10,0
Very Stiff	20,0– 40,0	10,0 – 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

Tabel 2.8. Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N,  $q_c$  dan  $\phi$  (Mayerhof, 1965)

Kepadatan	Relatif Density ( $\gamma_d$ )	Nilai N SPT	Tekanan Konus $q_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Sudur Geser ( $c^\circ$ )
Very Loose (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Loose (lepas)	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 – 0,6	10 – 30	40,0 – 120	35 – 40
Dense (kompak)	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Very Dense (sangat kompak)	0,8 – 1,0	> 50	> 200	> 45



### 2.3.8. Metode Pengukuran Langsung

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

### 2.3.9. Faktor - Faktor yang Berpengaruh Dalam Proses Mengembang

Menurut Chen ( 1975 ) faktor yang berpengaruh pada proses mengembang tanah lempung ekspansif dapat dilihat dari dua kondisi proses, yaitu kondisi di laboratorium dan kondisi di lapangan ( *in situ* ). Proses mengembang di laboratorium merupakan penyederhanaan pengamatan terhadap faktor berpengaruh dalam proses mengembang di lapangan. Faktor - faktor tersebut adalah kadar mineral lempung, montmorillonite, kepadatan awal, waktu pembasahan, tebal contoh tanah, tingkat kejenuhan, kadar air awal dan tekanan akibat beban luar. Empat faktor pertama memiliki kecenderungan potensi mengembang tanah bertambah dengan meningkatnya nilai faktor tersebut. Sedangkan tiga faktor terakhir memiliki kecenderungan yang sebaliknya. Proses mengembang yang terjadi di lapangan jauh lebih rumit prosesnya daripada apa yang diamati di laboratonium.

Sejumlah faktor tambahan lain yang sangat berpengaruh terhadap proses mengembang adalah :

5. Iklim ( *climate* ) meliputi efek presipitasi, evaporasi dan tranpirasi serta kelembaban tanah.

6. Profil tanah, ketebalan tanah ekspansif dan posisinya pada profil tanah akan sangat berpengaruh pada proses mengembang tanah setempat.
7. Air tanah, lapisan tanah ekspansif yang berada di daerah fluktuasi pergerakan air tanah akan sangat berpengaruh pada proses mengembang di lokasi tanah setempat. Tetapi untuk lapisan tanah ekspansif yang berada di bawah daerah fluktuasi air tanah tersebut tidak akan mempengaruhi proses mengembang tanah ekspansif tersebut.
8. Drainase.

## 2.5. KEKUATAN GESER TANAH

Kekuatan geser tanah diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng. Kekuatan geser tanah dalam tugas akhir ini pada ruas jalan Wangon – Batas Jawa Barat menggunakan 2 (dua) analisa yaitu Direct Shear Test dan Triaxial Test. Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter yaitu :

1. Bagian yang bersifat kohesi  $c$  yang tergantung dari macam
2. Bagian yang mempunyai sifat gesekan / *frictional* yang sebanding dengan tegangan efektif ( $\sigma$ ) yang bekerja pada bidang geser.

Kekuatan geser tanah dapat dihitung dengan rumus :

$$S = c + (\sigma - u)\tan \phi \dots\dots\dots 2.26$$

Dimana :

S	=	Kekuatan geser
$\sigma$	=	Tegangan total pada bidang geser
u	=	Tegangan air pori
c	=	Kohesi
$\phi$	=	Sudut geser

## 2.6. DAYA DUKUNG TANAH

Dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil, daya dukung tanah mempunyai peranan yang sangat penting, daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila menerima tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan dalam tanah pondasi melampaui kekuatan geser tanah maka akan mengakibatkan keruntuhan geser tanah tersebut. Perhitungan daya dukung tanah dapat dihitung berdasarkan teori Terzaghi :

- Daya dukung tanah untuk pondasi lajur

$$q_{ult} = c \times Nc + \gamma \times D \times Nq + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N\gamma \dots\dots\dots 2.27$$

- Daya dukung tanah untuk pondasi bujur sangkar

$$q_{ult} = 1.3 \times c \times Nc + \gamma \times D \times Nq \dots\dots\dots 2.28$$

Dimana :

D	=	Kedalaman pondasi
B	=	Lebar pondasi
$\gamma$	=	Berat isi tanah
$Nc, Nq, N\gamma$	=	Faktor daya dukung yang tergantung pada sudut Geser

## 2.7. DAYA DUKUNG DINDING PENAHAN TANAH (DPT)

Retaining Wall atau biasanya disebut Dinding Penahan Tanah mempunyai fungsi untuk menahan longsornya tanah. Untuk mengatasi tekanan tanah aktif dari tanah, maka dinding penahan tanah harus cukup berat, sehingga dapat menjadi stabil.

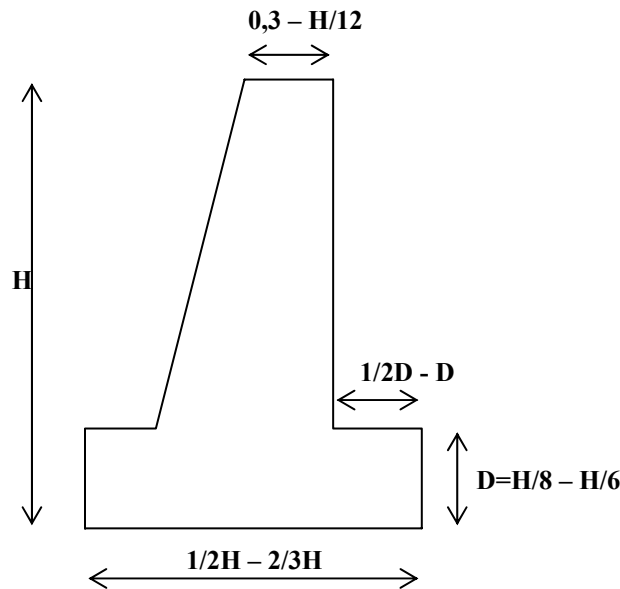
Dinding penahan tanah dikatakan stabil apabila, sbb:

- Dinding penahan tidak terguling, faktor aman terhadap Hkritis.
- Dinding penahan tidak tergeser.
- Kontruksi dinding penahan tidak pecah.

- Tekanan pada tanah tidak melampui  $\sigma_{ijin}$ .
- Aman terhadap bahaya sliding (stabilitas longsor).

Adapun cara untuk memperbesar kestabilan adalah sebagai berikut :

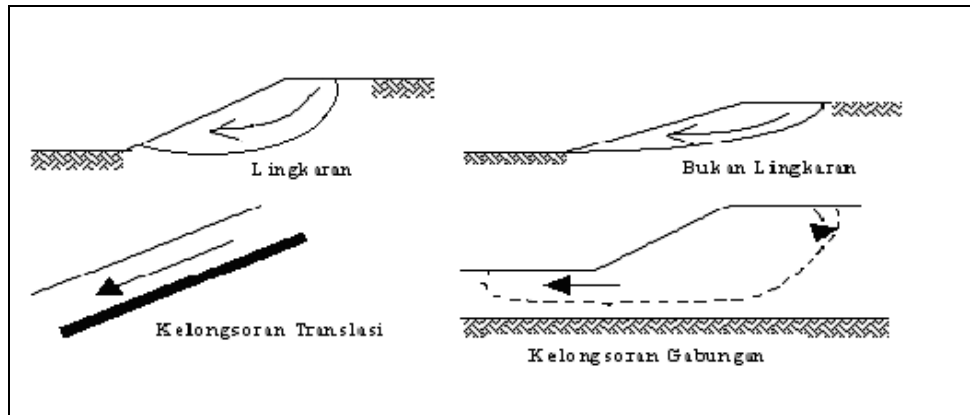
- Dinding penahan tanah dimiringkan sehingga dapat memperbesar daya dukung terhadap penggulingan.
- Memberi ekor, akan memperbesar daya terhadap pergeseran dan penggulingan.
- Membuat dinding penahan tanah miring dasar dindingnya maka akan membuat momen aktif semakin kecil.
- Membuat bentuk-bentuk trapesium, akan menjadikan momen pasifnya menjadi besar.



## 2.8. STABILITAS LERENG

Setiap massa tanah yang terletak di bawah permukaan tanah yang miring atau di bawah sisi miring dari suatu galian terbuka memiliki kecenderungan bergerak ke arah bawah dan ke arah luar karena pengaruh gravitasi dan rembesan (*seepage*). Tanah yang longsor dapat merupakan tanah timbunan, tanah yang diendapkan secara alami, atau kombinasi keduanya. Terdapat beberapa tipe longsoran yang sering terjadi diantaranya :

1. Kelongsoran rotasi (*rotational slip*)
2. Kelongsoran translasi (*translational slip*)
3. Kelongsoran gabungan (*compound slip*).



Gambar 2.3. Tipe - tipe longsor

Kelongsoran rotasi bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran dan kurva bukan lingkaran. Bentuk busur lingkaran biasanya terjadi pada tanah homogen, sedangkan bentuk kurva bukan lingkaran terjadi pada tanah yang tidak homogen. Kelongsoran translasi dan kelongsoran gabungan terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan.

## 2.9. FAKTOR PENYEBAB KELONGSORAN

Beberapa faktor-faktor penyebab kelongsoran antara lain dapat dipengaruhi oleh geologi, topografi, proses cuaca, perubahan struktur tanah lempung dan lanau akibat proses psikokimia, dan pengaruh air dalam tanah.

### 2.9.1. Pengaruh Geologi

Proses geologi dalam pembentukan lapisan-lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen ternyata memungkinkan terbentuknya suatu lapisan yang

potensial mengalami kelongsoran. Sebagai contoh adalah pembentukan lapisan tanah sebagai berikut, sungai yang mengalirkan air ke laut membawa partikel-partikel halus yang jumlahnya tergantung dari volume dan kecepatan alirannya, kemudian partikel-partikel tersebut mengendap di dasar laut membentuk lapisan tanah, dimana penyebaran pengendapannya bisa merata atau tidak merata tergantung arus air laut. Karena pembentukan tiap lapisan terjadi di air maka dasar tiap lapisan adalah air, yang bisa dilihat seringkali sebagai lapisan tipis pada zona pemisah antara lapisan lempung dan lanau kepasiran atau sebagai aliran laminer pada lapisan pasir yang lebih permeabel.

Dengan keadaan demikian bila banyak air memasuki lapisan pasir tipis sedangkan pengeluaran air sedikit sehingga keadaan lapisan menjadi jenuh, maka tekanan air akan bertambah dan tekanan air inilah yang akan menyebabkan kelongsoran. Berbeda bila air memasuki lapisan pasir tebal sehingga keadaan lapisan tidak sepenuhnya jenuh air, maka lapisan tersebut bahkan bisa menjadi drainase alamiah.

### **2.9.2. Pengaruh Topografi**

Variasi bentuk permukaan bumi yang meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung besar, maupun daerah daerah dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, ternyata memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan. Daerah dengan kemiringan besar tentu lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar, sehingga kasus kelongsoran sering ditemukan di daerah perbukitan atau pegunungan, dan pada perbedaan galian atau timbunan yang memiliki sudut kemiringan lereng yang besar.

Kestabilan lereng terganggu akibat lereng yang terlalu terjal, perlemahan pada kaki lereng dan tekanan yang berlebihan dari beban di kepala lereng. Hal tersebut terjadi karena erosi air pada kaki lereng dan kegiatan penimbunan atau pemotongan lereng yang dilakukan manusia.

### **2.9.3. Pengaruh Proses Cuaca**

Perubahan temperatur, fluktuasi muka air tanah musiman, gaya gravitasi dan relaksasi tegangan sejajar permukaan ditambah dengan proses oksidasi dan dekomposisi akan mengakibatkan suatu lapisan tanah kohesif yang secara lambat laun tereduksi kekuatannya, terutama nilai kohesi  $c$  dan sudut geser dalamnya  $\phi$ .

Pada tanah non kohesif misalnya lapisan pasir, bila terjadi getaran gempa, mesin atau sumber getaran lainnya akan mengakibatkan lapisan tanah tersebut ikut bergetar sehingga pori-pori lapisan akan terisi oleh air atau udara yang akan meningkatkan tekanan dalam pori. Tekanan pori yang meningkat dengan spontan dan sangat besar ini akan menyebabkan terjadinya likuifikasi atau pencairan lapisan pasir sehingga kekuatannya hilang.

#### **2.9.4. Perubahan Struktur Tanah Lempung dan Lanau Akibat Proses Psikokimia**

Kehilangan kekuatan geser tanah lanau dan lempung disebabkan yang pertama adalah akibat penyerapan air dan kembang susut tanah, sedangkan yang kedua adalah akibat pertukaran ion dimana ion bebas dalam mineral lempung digantikan ion mineral lain. Seringkali kedua faktor tersebut saling bekerja sama dan mempercepat proses. Misalnya tanah lempung yang menyerap air yang mengandung larutan garam, air tersebut menyebabkan lempung menjadi lunak yang lambat laun akan mereduksi kekuatannya, dan di pihak lain ion garam dapat menggantikan ion bebas mineral lempung sehingga susunan ion lempung berubah yang otomatis mempengaruhi pula kekuatannya.

#### **2.9.5. Pengaruh Air Dalam Tanah**

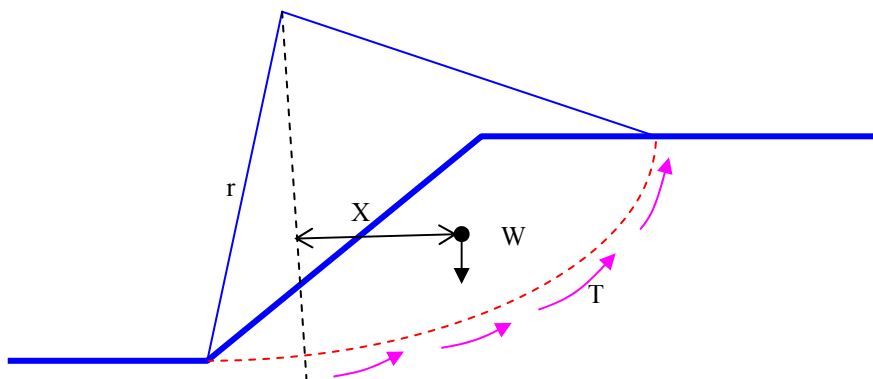
Keberadaan air dapat dikatakan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya.

- ❖ Tekanan air pori memiliki nilai besar sebagai tenaga pendorong terjadinya kelongsoran, semakin besar tekanan air semakin tenaga pendorong.
- ❖ Penyerapan maupun konsentrasi air dalam lapisan tanah kohesif dapat melunakkan lapisan tanah tersebut yang pada akhirnya mereduksi nilai kohesi dan sudut geser dalam sehingga kekuatan gesernya berkurang.
- ❖ Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air, sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.

Dalam menganalisa stabilitas lereng harus ditentukan terlebih dahulu faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut. Secara umum faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak longsoran.

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots 2.30$$

Analisis kestabilan lereng dengan tipe kelongsoran rotasi dapat dihitung dengan menghitung momen penahan dan momen penggerak pada lingkaran longsoran.



Gambar 2.4. Mekanika dari sebuah bidang longsoran rotasi



$$FK = \frac{r \times T}{X \times w} \dots\dots\dots 2.31$$

Dimana :

- r = Jari -jari lingkaran longsoran
- T = Jumlah gaya geser dari bidang longsoran
- X = Jarak titik berat massa ke titik pusat lingkaran
- w = Berat massa di atas lingkaran longsoran

Suatu lereng dikatakan stabil apabila memiliki faktor keamanan (FK) >1.2. Untuk meningkatkan stabilitas lereng ada beberapa cara yang dapat dilaksanakan diantaranya :

1. Memperkecil gaya penggerak / momen penggerak.

Gaya dan momen penggerak dapat diperkecil hanya dengan merubah bentuk lereng, yaitu dengan membuat lereng lebih datar dengan cara mengurangi sudut kemiringan dan memperkecil ketinggian lereng.

2. Memperbesar gaya penahan / momen penahan.

Untuk memperbesar gaya penahan, dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa metode perkuatan tanah, diantaranya dinding penahan tanah, box culvert, abutment jembatan.

Untuk memilih jenis dinding penahan tanah yang akan digunakan hal - hal yang perlu diperhatikan antara lain : sifat tanah, kondisi lokasi, dan metode pelaksanaan. Beberapa jenis dinding penahan antara lain:

1. Dengan memancangkan tiang -tiang pancang pada permukaan lereng yang labil. Tiang tersebut dapat berupa turap baja, cerucuk dari rel bekas, ankur, pancang beton, dan kayu.
2. Dengan menggunakan geotekstil, yaitu bahan perkuatan tanah yang terbuat dari serat sintesis berbentuk lembaran -lembaran, yang disusun secara berlapis - lapis untuk menahan tekanan tanah pada lereng.
3. Membuat counterweight.

4. Grouting, yaitu metode untuk meningkatkan stabilitas dan daya dukung tanah lereng dengan cara menginjeksikan bahan grouting (semen) sehingga semen tersebut mengisi pori - pori tanah.

## 2.10. TEORI PERHITUNGAN FAKTOR KEAMANAN LERENG

Dalam laporan tugas akhir ini, dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas longsor dan daya dukung tanah menggunakan teori metode irisan (*Method of Slice*), metode Bishop's (*Bishop's Method*) dan Metode Fellinius.

Pehitungan kestabilan lereng akan obyektif jika tersedia data tanah yang akurat dan data yang tepat pada kondisi-kondisi pada tertentu. Selain itu juga harus diperhatikan faktor ketidakteraturan dan ketidakhomogenan tanah yang tidak bisa ditemukan selama penyelidikan tanah, dimana hal tersebut mungkin memberikan hasil perhitungan yang tidak sepenuhnya tepat. Juga adanya lapisan dengan dasar air yang tipis, bidang gelincir longsorannya sebelumnya, serta celah dan retak-retak lembut pada lapisan tanah perlu mendapat perhatian.

Asumsi awal yang umum diterapkan untuk semua metode perhitungan stabilitas lereng adalah sebagai berikut :

- Tanah dianggap homogen dan isotropik
- Hukum Coulomb berlaku untuk kondisi runtuh  $\tau_r' = C_r' + \sigma_r' \tan \phi_r'$
- Bentuk tegangan adalah lurus
- Semua gaya yang bekerja telah diketashui
- Berlaku hokum tegangan total dan tegangan efektif  $\sigma' = \sigma + u$

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah mencari angka keamanan ( $\eta$ ) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja (gambar 2.4).

$$\eta = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{W.x}{Cu.L.R}$$

Dimana jika :

$n < 1$  , lereng tidak stabil

$n = 1$  , lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil.

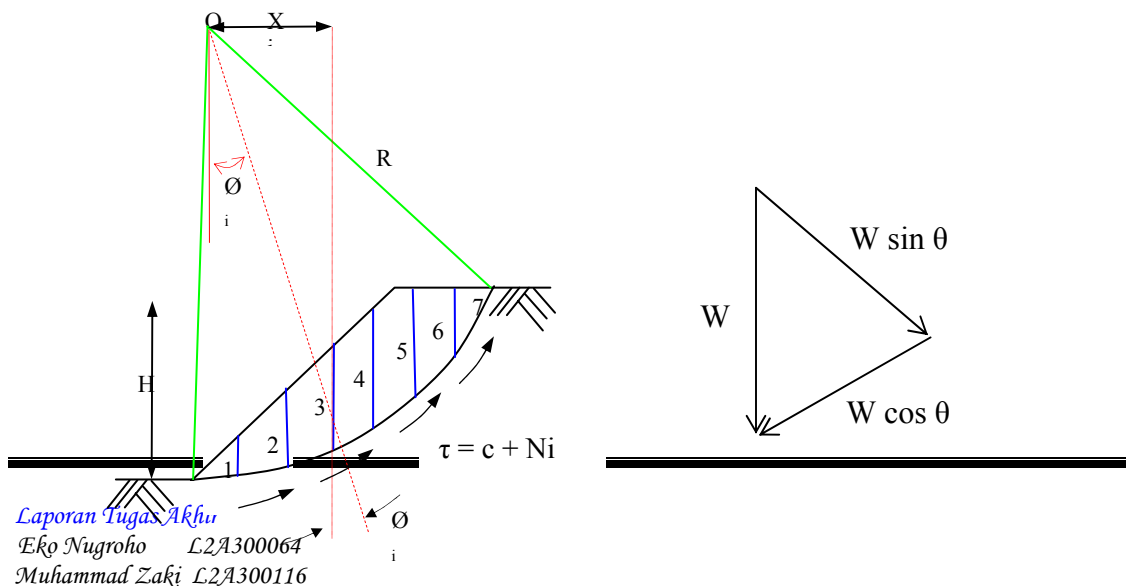
$n > 1$  , lereng tidak stabil

Untuk memperoleh nilai angka keamanan ( $\eta$ ) suatu lereng, maka perlu dilakukan 'trial and errors' terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai  $\eta$  minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis.

### 2.10.1. Metode Irisan (*Method of Slice*)

Metode irisan merupakan cara-cara analisa stabilitas yang telah dibahas sebelumnya hanya dapat digunakan bila tanah homogen. Bila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanahnya memberikan bentuk aliran dan berat volume tanah yang tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah dengan metode irisan (method of slice)

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik dilingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan ini, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan (pias) vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser ( $X_r$  dan  $X_l$ ) dan gaya normal efektif ( $E_r$  dan  $E_l$ ) disepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif ( $T_l$ ) dan resultan gaya normal efektif ( $N_l$ ) yang bekerja disepanjang dasar irisannya. Pada irisannya, tekanan air pori  $U_l$  dan  $U_r$  bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori  $U_l$  bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya.



Gambar 2.5. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan bidang longsor

### 2.10.2. Metode Bishop's (*Bishop's Method*)

Metode bishop's ini merupakan dasar metode bagi aplikasi program Mira Slope dan merupakan penyederhanaan dari metode irisan Sliding Metode Bishop's menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal.

Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg \phi'}{P}$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan normal total pada bidang longsor

$u$  = Tekanan air pori

Untuk irisan (pias) yang ke- $i$ , nilai  $T_i = \tau a_i$ , yaitu nilai geser yang berkembang pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, karena itu :

$$T_i = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg \phi'}{F}$$

Kondisi keseimbangan momen terhadap pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total pada dasar bidang longsohnya dapat dinyatakan oleh (Gambar 2.5) :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) tg \theta_i] \left( \frac{1}{\cos \theta_i (1 + tg \theta_i tg \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dimana :

$F$  = Faktor Keamanan

$C'$  = Kohesi tanah efektif

$\phi'$	=	Sudut geser dalam tanah efektif
$b_i$	=	Lebar irisan ke – i
$W_i$	=	Berat irisan tanah ke – i
$\theta_i$	=	Sudut yang diasumsikan (didefinisikan) dalam <b>Gbr 2.5</b>
$U_i$	=	Tekanan air pori pada irisan ke – i

Nilai banding tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai :

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h}$$

Dimana :

$r_u$	=	Nilai banding tekanan pori
$u$	=	Tekanan air pori
$b$	=	Lebar irisan
$\gamma$	=	Berat volume tanah
$h$	=	Tinggi irisan rata-rata

Adapun bentuk persamaan Faktor Keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop, adalah

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \operatorname{tg} \theta'] \left( \frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Persamaan faktor amana Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainya seperti metode Fellinius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaanya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari perhitungan yang dilakukan dengan cara lain yang mendekati (lebih teliti). Untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi  $M_i$ , dengan rumus.

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)$$

Lokasi lingkaran sliding (longsor) kritis pada metode Bishop (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Fellinius lebih mudah, metode Bishop (1995) lebih disukai karena menghasilkan penyelesaian yang lebih teliti.

Dalam praktek, diperlukan untuk melakukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalau dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longornya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran longornya dituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukannya dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. Dari faktor aman pada setiap kontur tentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman yang paling kecil.

### 2.10.3. Metode Fellinius

Analisis stabilitas lereng cara *Fellinius (1927)* menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longornya. Faktor keamanan didefinisikan sebagai :

$$F = \frac{\text{Jumlah Momen dari Tahanan Geser Sepanjang Bidang Longsor}}{\text{Jumlah Momen dari Berat Massa Tanah yang Longsor}}$$

$$= \frac{\sum Mr}{\sum Md}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$ , maka

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=N} W_i \sin \theta_i$$

Dimana :

R = Jari-jari bidang longsor

N = Jumlah irisan

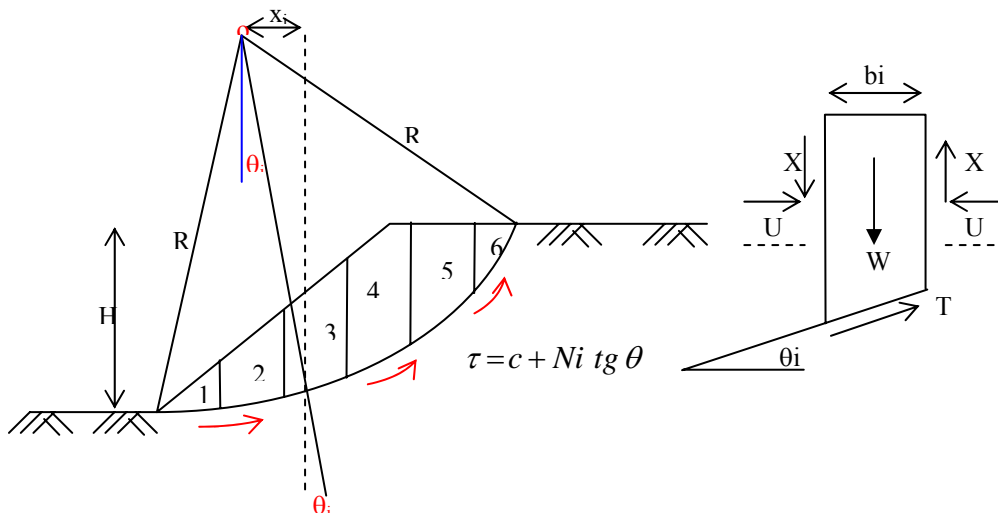
- $W_i$  = Berat massa tanah irisan ke-i
- $\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor, adalah :

$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i tg \phi)$$

karena itu, faktor keamanannya menjadi :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i tg \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$



Gambar 2.6. Gaya-gaya dan asumsi bidang pada tiap pias bidang longsor

Bila terdapat air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada Md, karena resultante gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi antara persamaan yang sudah ada.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dimana :

F	=	faktor keamanan
C	=	kohesi tanah
$\phi$	=	sudut geser dalam tanah
$a_i$	=	panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i
$W_i$	=	berat irisan tanah ke-i
$u_i$	=	tekanan air pori pada irisan ke-i
$\theta_i$	=	sudut yang didefinisikan dalam gambar.

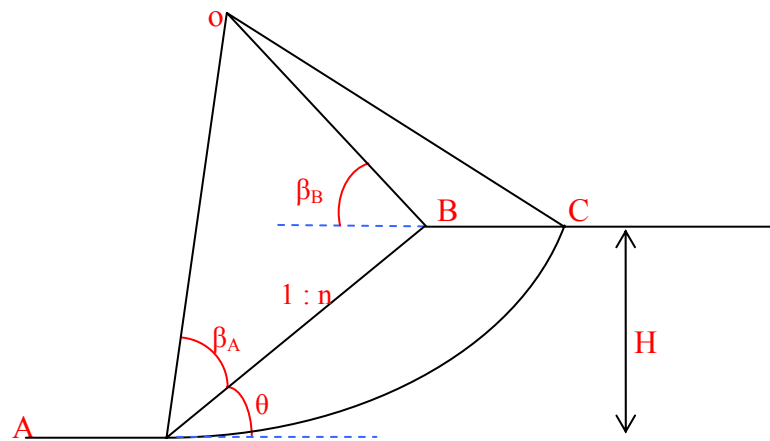
Jika terdapat gaya-gaya selain berat lereng tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai  $M_d$ .

Metode Fellenius memberikan faktor aman yang relatif lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5 sampai 40% tergantung dari factor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori, walaupun analisisnya ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahannya masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkarannya ( Whitman dan Baily, 1967 ) cara ini telah banyak digunakan prakteknya. Karena cara hitungannya yang sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

#### □ Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor

Untuk memudahkan usaha *trial and error* terhadap stabilitas lereng maka titik-titik pusat bidang longsor yang berupa busur lingkaran harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan. Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif ( *c-soil* ) seperti pada Tabel 2.9.





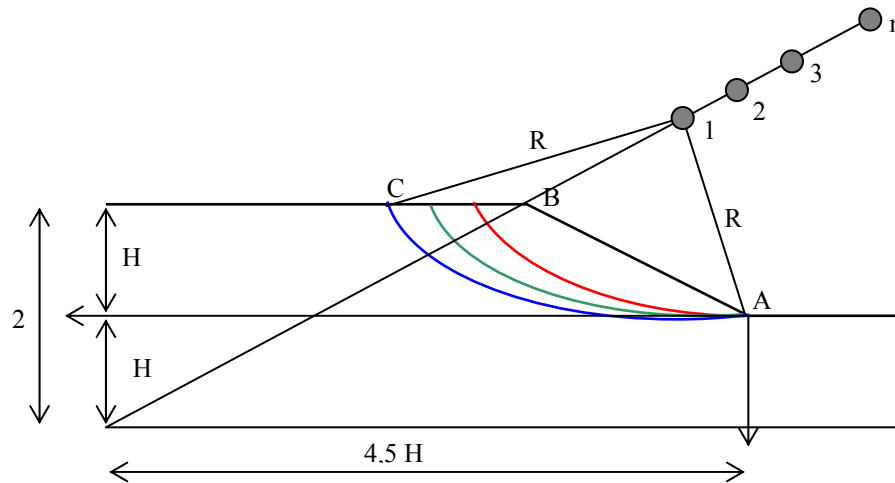
Gambar 2.7 Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif ( $c$ -soil)

Tabel 2.9. Sudut-sudut petunjuk menurut Fellenius

Lereng 1 : n	Sudut Lereng 'derajat'	Sudut – sudut petunjuk	
		$\beta_a$	$\beta_a$
$\sqrt{3} : 1$	$60^\circ$	$\sim 29^\circ$	$\sim 40^\circ$
1 : 1	$45^\circ$	$\sim 28^\circ$	$\sim 38^\circ$
1 : 1,5	$33^\circ 41'$	$\sim 26^\circ$	$\sim 35^\circ$
1 : 2	$25^\circ 34'$	$\sim 25^\circ$	$\sim 35^\circ$
1 : 3	$18^\circ 26'$	$\sim 25^\circ$	$\sim 35^\circ$
1 : 5	$11^\circ 19'$	$\sim 25^\circ$	$\sim 37^\circ$

Pada tanah  $\phi$  - c untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk dari Fellenius untuk tanah kohesif ( $\phi = 0$ )

Grafik Fellenius menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser ( $\phi$ ) maka titik pusat busur longsor akan bergerak naik dari  $O_0$  yang merupakan titik pusat busur longsor tanah c ( $\phi = 0$ ) sepanjang garis  $O_0 - K$  yaitu  $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$ . Titik K merupakan koordinat pendekatan dimana  $X = 4,5H$  dan  $Z = 2H$ , dan pada sepanjang garis  $O_0 - K$  inilah diperkirakan terletak titik-titik pusat busur longsor. Dan dari busur-busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya untuk memperoleh nilai  $n$  yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis.



Gambar 2.8 Posisi titik pusat busur longsor pada garis  $O_0-k$

## 2.11. TEORI PERHITUNGAN STRUKTUR PERKERASAN JALAN

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

Unsur-unsur yang terdapat dalam perencanaan tebal perkerasan diantaranya sebagai berikut :

### 1. Unsur utama

- Unsur beban lalu lintas (beban gandar, volume, komposisi lalu lintas).
- Unsur lapis perkerasan (ketebalan, karakteristik, kualitas)
- Unsur tanah dasar

### 2. Unsur tambahan

- Drainase dan Curah Hujan
- Klimatologi
- Kondisi Geometri
- Faktor permukaan
- Faktor pelaksanaan

Dalam hal penyaluran beban ke permukaan jalan, bahwa beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui bidang kontak roda berupa beban terbagi rata Po. Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ketanah dasar menjadi PI yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar.

### 2.11.1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) terdiri dari :

- ❖ Lapis permukaan (*Surface Course*) atau lapis aus, berfungsi sebagai :
  - Sebagai lapisan aus yang berhubungan dengan roda kendaraan.
  - Mencegah masuknya air pada lapisan bawah ( lapis kedap air ).
- ❖ Lapis Perkerasan :
  - Sebagai lapisan perkerasan penahan beban roda, lapisan mempunyai kestabilan tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
  - Sebagai lapisan menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung lebih jelek (Nova, 1992).
- ❖ Lapisan Pondasi (*Base Course*)  
Merupakan lapis pondasi atas yang berfungsi sebagai berikut :
  - Menahan gaya lintang (beban roda) dan menyebarkan ke lapis dibawahnya.
  - Sebagai lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah
  - Sebagai rantai kerja bagi lapisan permukaan .

- Mengurangi compressive stress pada sub base sampai tingkat yang dapat diterima.
- Menjamin bahwa besarnya regangan pada lapis bawah bitumen (*material surface*), tidak akan menyebabkan *cracking*.

❖ *Sub Base Course*

*Sub base course* merupakan lapis pondasi bawah yang berfungsi untuk :

- Menyebarkan beban roda ke tanah dasar
- Mencegah tanah dasar masuk kedalam lapisan pondasi
- Efisiensi penggunaan material
- Lapis perkerasan
- Sebagai lantai kerja bagi lapis pondasi atas

❖ Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Tanah dasar adalah tanah setebal 50-100 cm diatas dimana akan diletakkan lapisan pondasi bawah. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan. Jika tanah aslinya baik dan cukup hanya dipadatkan saja, tanah yang didatangkandari tempat lain dan dipadatkan atau hanya distabilisasi baik dengan kapur, semen atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana, hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan drainase yang memenuhi syarat.

Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapis tanah dasar dapat dibedakan atas :

- Lapisan tanah dasar galian.
- Lapisan tanah dasar tanah timbunan.
- Lapisan tanah dasar tanah asli.

### 2.11.2. Daya dukung Tanah

Dari data-data CBR lapangan maupun CBR Laboraturium, maka dapat ditetapkan rata-rata nilai CBR dari keseluruhannya, sehingga untuk meperoleh

daya dukung tanah (DDT). Dikorelasikan dengan CBR rata-rata pada station yang akan kita analisa. (Buku Pedoman Tebal Perkerasan lentur jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga). Yang dimaksud dengan CBR disini adalah harga pemadatannya dapat dilakukan sesuai PB-0111-76 (standar) untuk tanah dasar kohesif, atau PB-0112-76 (modified) untuk tanah dasar non-kohesif. CBR laboratorium biasanya digunakan untuk perencanaan jalan baru .

Dalam menentukan nilai CBR rata-rata dari sejumlah nilai CBR, ditetapkan sebagai berikut :

1. Tentukan harga CBR terendah.
2. Tentukan berapa banyak harga CBR yang sama dan lebih besar dari masing-masing nilai CBR.
3. Angka jumlah terbanyak dinyatakan sebagai 100%, jumlah lainnya merupakan prosentase dari 100% tersebut.
4. Dibuat grafik hubungan antara CBR dan prosentase jumlah tersebut.
5. Nilai CBR rata-rata adalah yang didapat dari angka prosentase 90%.

#### **2.11.2.1 Penentuan Tebal Perkerasan Lentur**

Penentuan tebal perkerasan lentur jalan didasarkan pada Buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, SKBI 2.3.26.1987.

Data-data yang dibutuhkan untuk perencanaan suatu perkerasan lentur antara lain :

- Data LHR
- CBR tanah dasar
- Data untuk penentuan faktor regional

Dasar perhitungannya adalah dari buku pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga adalah 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.

➤ *Menghitung 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  

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

➤ *Menghitung 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 :

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

Dimana :

- |              |   |   |
|--------------|---|---|
| $C_j$        | = | koefisien distribusi kendaraan                      |
| $\sum LHR_j$ | = | 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 :

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

➤ Menghitung lintas elivasi 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 :

$$LEA = \text{Lintas Ekivalen Akhir}$$

$$LEP = \text{Lintas Ekivalen Permulaan}$$

➤ 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 :

$$LER = LET \times (UR / 10) = LET \times FP$$

Dimana :

$$FP = \text{Faktor Penyesuaian}$$

$$LET = \text{Lintas Ekivalen Tengah}$$

$$UR = \text{Umur Rencana}$$

➤ 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).

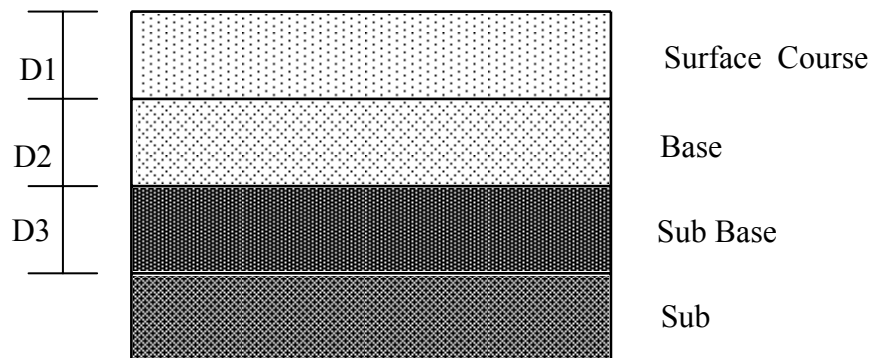
Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

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

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



Gambar 2.9 Gambar struktur perkerasan jalan

### 2.11.2.2 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.