

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Tanah menduduki peran yang sangat vital dalam sebuah konstruksi bangunan. Tanah berguna sebagai bahan bangunan dalam berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Fungsi paling utama dari tanah adalah sebagai pendukung pondasi dari sebuah bangunan. Fungsi tanah sebagai pendukung pondasi bangunan memerlukan kondisi tanah yang stabil, sehingga apabila ada sifat tanah yang kurang mampu mendukung bangunan harus diperbaiki terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Bangunan yang berdiri nantinya diharapkan akan kokoh, tidak rusak karena penurunan yang tidak merata ataupun bahkan longsoran.

Seorang ahli teknik sipil harus mempelajari sifat-sifat tanah, seperti asal-usulnya, penyebaran ukuran butiran, *permeabilitas*, *compressibility*, kekuatan geser, daya dukung tanah dan lain-lain. Kesalahan ahli teknik sipil dalam membaca sifat-sifat dasar tanah dapat berakibat fatal. Keruntuhan bangunan dan usia bangunan tidak mencapai umur rencana adalah konsekuensi dari kesalahan tersebut. Pada daerah perbukitan atau daerah timbunan dan galian memungkinkan pula terjadi longsoran.

Longsoran adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah miring dari kedudukan semula (sehingga terpisah dari massa yang mantap), karena pengaruh gravitasi; dengan jenis gerakan berbentuk translasi dan rotasi. Longsoran perlu dijelaskan mengenai sifat lainnya seperti kedalaman, aktivitas atau kecepatannya. Jenis material longsoran perlu dibedakan seperti lempung, lanau, pasir, kerikil atau campuran, residual, koluvial, debris dan seterusnya. Daerah berpotensi longsor adalah daerah di mana kondisi *terrain* dan geologinya tidak menguntungkan. Daerah ini sangat peka terhadap gangguan luar, baik yang bersifat alami maupun aktivitas manusia yang merupakan faktor pemicu gerakan tanah.

Daerah kajian adalah daerah lereng, yang dimanfaatkan sebagai jalan, sehingga gangguan luar baik yang bersifat alami maupun karena pengaruh aktivitas manusia bekerja secara penuh. Agar dapat menghindari terjadinya longsoran pada lereng maka diperlukan pembahasan mengenai stabilitas lereng.

2.2. Data Tanah

Dengan menggunakan data profil tanah yang berasal dari Laboraturium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro pada ruas jalan Menganti – Wangon diperoleh kesimpulan tentang jenis tanah pada kedalaman-kedalaman tertentu, sehingga dapat dibuat stratifikasi tanah. Untuk pembuatan stratifikasi tanah dapat dibuat dengan menggunakan data dari sondir dan bore log.

2.2.1. Data Sondir

Alat sondir atau *Duch Cone Penetrometer Test* (CPT) merupakan alat penyelidikan tanah yang paling sederhana, murah, praktis dan sangat populer digunakan di Indonesia. Alat sondir dari Belanda ini memberikan tekanan konus dengan atau tanpa hambatan pelekat (*friction resistance*) yang dapat dikorelasikan pada parameter tanah seperti *undrained shear strength*, kompresibilitas tanah dan dapat memperkirakan jenis lapisan tanah.

Uji sondir ditujukan untuk :

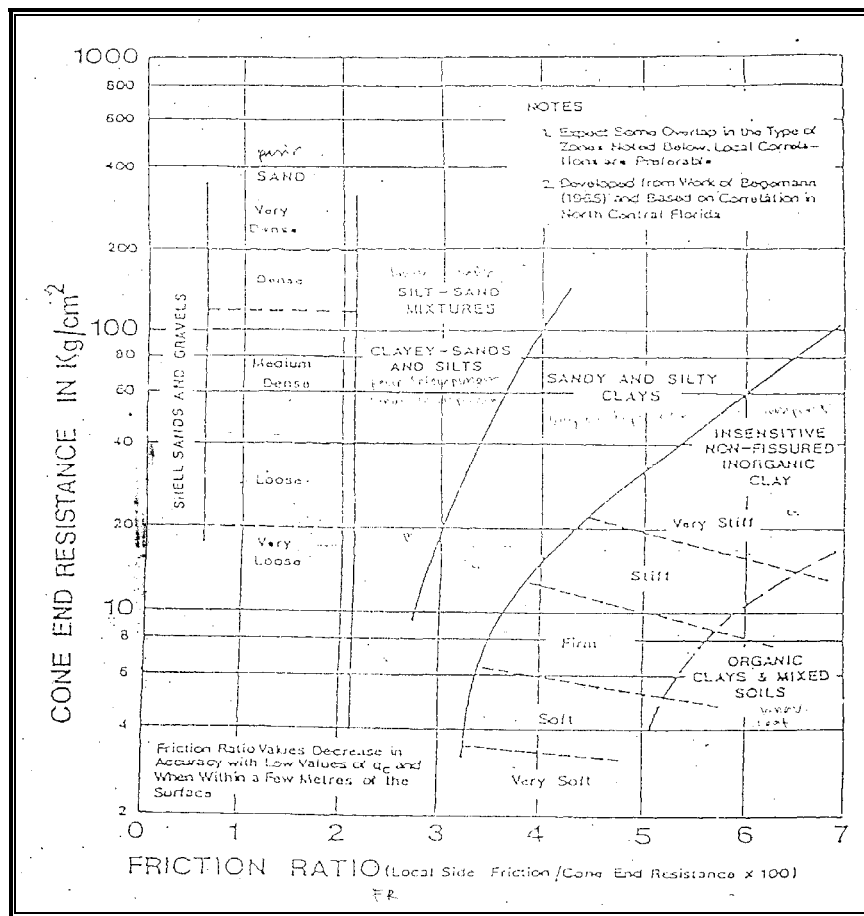
- Identifikasi, stratigrafi, klasifikasi lapisan tanah, kekuatan lapisan tanah.
- Kontrol pemadatan tanah timbunan.
- Perencanaan pondasi dan *settlement*.
- Perencanaan stabilitas lereng galian/timbunan.

Hasil sondir (q_c, f_c, JHP, FR) dapat dikorelasikan :

- Konsistensinya.
- Kuat geser tanah (C_u)
- Parameter konsolidasi (C_c dan M_v)

- *Relatif Density* (D_r)
- Elastisitas tanah.
- Daya dukung pondasi
- Penurunan

Dari nilai-nilai q_c dan FR dapat dikorelasikan terhadap jenis tanah. Hubungan antara Tekanan Konus (q_c), *Friction Ratio* (FR) dan jenis tanah dapat dilihat pada grafik Schmertmann, 1969, dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Grafik hubungan antara tekanan konus (q_c), *Friction Ratio* (FR) dan jenis tanah (sumber : Schmertmann, 1969)

Dari nilai-nilai q_c dapat dikorelasikan terhadap konsistensi tanah lempung pada suatu lapisan tanah.

Tabel 2.1. Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus (sumber : Begemann, 1965)

Konsistensi	Tekanan konus Q_c (kg/cm²)	<i>Undrained Cohesion</i> (T/m²)
<i>Very soft</i>	< 2.5	< 1.25
<i>Soft</i>	2.5 - 5.0	1.25 - 2.50
<i>Medium stiff</i>	5.0 - 10.0	2.50 - 5.00
<i>Stiff</i>	10.0 - 20.0	5.00 - 10.00
<i>Very stiff</i>	20.0 - 40.0	10.00 - 20.00
<i>Hard</i>	> 40.0	> 20.00

Tabel 2.2. Hubungan antara kepadatan, *relative density*, nilai N, q_c dan ϕ (sumber : Begemann, 1965)

Kepadatan	<i>Relative Density</i> (Dr)	Nilai N	Tekanan konus q_c (kg/cm²)	Sudut geser dalam (ϕ°)
<i>Very loose</i>	< 0.2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i>	0.2 - 0.4	4 - 10	20 - 40	30 - 35
<i>Medium dense</i>	0.4 - 0.6	10 - 30	40 - 120	35 - 40
<i>Dense</i>	0.6 - 0.8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
<i>Very dense</i>	0.8 - 1.0	> 50	> 200	> 45

2.2.2. Data Boring

Pengeboran merupakan cara yang paling awal dan mudah dalam penyelidikan tanah. Maksud dari pekerjaan bor ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi tanah, sampai kedalaman yang ditetapkan, sehingga dapat digunakan untuk perencanaan pondasi, timbunan tanah, khususnya penanggulangan longsor. Pekerjaan ini menggunakan mesin bor dan tabung untuk mengambil contoh tanah tak terganggu.

Tujuan boring antara lain :

- Identifikasi jenis tanah
- Menggambar contoh tanah asli maupun tidak asli.
- Uji Penetrasi Baku/*Standard Penetration Test* (SPT)
- Uji lain : *Pecker*, *Vane shear*, PMT, Air pori.

Selain itu juga dilakukan SPT (*Standard Penetration Test*) pada setiap interval tertentu. SPT digunakan untuk menentukan konsistensi atau *density* tanah di lapangan. Tes tersebut dilakukan dengan memancang alat *split spoon sampler*, yaitu berupa baja dengan ujung-ujung yang terbuka. *Split spoon* dipancangkan 45 cm ke dalam tanah pada kedalaman tertentu dalam tanah.

Alat untuk memancang berupa palu (*hammer*) dengan berat 63.5 kg dengan tinggi jatuh 75 cm. Jumlah tumbukan untuk penetrasi 15 cm kedua dan 15 cm ketiga disebut *standard penetration resistance* N, yang mana hal ini menggambarkan jumlah tumbukan per 30 cm penetrasi.

SPT dapat dikorelasikan dengan :

- Konsistensinya
- Kuat geser tanah
- Parameter konsolidasi
- *Relatif density*
- Daya dukung pondasi
- Penurunan

Korelasi antara N-SPT dengan *relative density* dan sudut geser dalam telah ditampilkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai SPT dan *properties* tanah berdasarkan *Standard Penetration Test*

(sumber : Terzaghi & Peck)

<i>Sand</i>		<i>Clay</i>	
Nilai N SPT	<i>Relative Density</i>	Nilai N SPT	Konsistensi
0 – 4	<i>Very Loose</i>	< 2	<i>Very Soft</i>
4 – 10	<i>Loose</i>	2 – 4	<i>Soft</i>
10 – 30	<i>Medium</i>	4 – 8	<i>Medium</i>
30 – 50	<i>Dense</i>	8 – 15	<i>Stiff</i>
> 50	<i>Very Dense</i>	15 – 30	<i>Very Stiff</i>
		> 30	<i>Hard</i>

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 di sekitarnya. 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 *Aluminium 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 sensitivitas tinggi terhadap perubahan kadar air dengan memperlihatkan perubahan volume yang cukup besar dan penurunan *shear strength*.

Berdasarkan dari mineral pembentukannya, tanah lempung dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu tanah lempung ekspansif dan tanah lempung yang non ekspansif.

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang tersusun dari mineral lempung yang mengandung mineral *montmorillonite* yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi jika perubahan kadar air, sehingga banyak terjadi kerusakan jalan pada jalan yang melewati tanah ekspansif akibat dari proses kembang susut yang berulang setiap perubahan musim kemarau ke musim penghujan atau sebaliknya.

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

2.3.1. Analisa Mineralogi

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

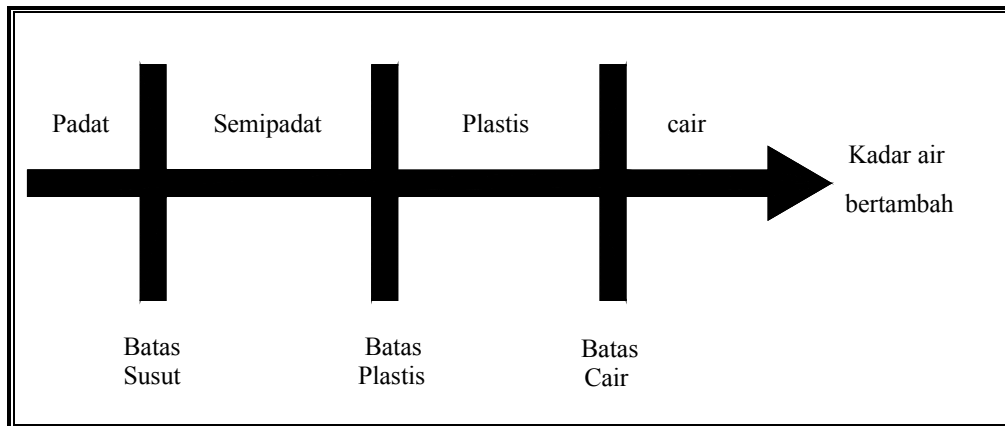
1. Difraksi sinar X
2. Analisis Kimia
3. *Electron Microscope Resolution*

2.3.2. Cara Tidak Langsung (Indeks Tunggal)

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 di sekeliling permukaan dari partikel lempung.

Menurut Atterberg tanah dapat dipisahkan dalam empat keadaan dasar yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair, seperti yang ditunjukkan gambar 2.2.



Gambar 2.2. Batas-batas Atterberg

a. 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 di mana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.

b. 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 (PI) merupakan perbedaan antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL), atau :

$$PI = LL - PL$$

Tabel 2.4. Hubungan indeks plastis dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah menurut Atterberg (Sumber : *Soil Mechanics* - Alfred R. Jumikis, hal. 128)

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

c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

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

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 di bawah ini.

Tabel 2.5. 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 2.6.

Tabel 2.6. Klasifikasi Potensi Mengembang berdasarkan pada Atterberg Limits

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

2.3.3. Cara Langsung.

Metode pengukuran terbaik adalah dengan metode pengukuran langsung yaitu suatu cara untuk menentukan posisi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan *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.

2.4. Parameter Tanah

2.4.1 Modulus Young

Dengan menggunakan data sondir, boring dan grafik triaksial dapat digunakan untuk mencari besarnya nilai elastisitas tanah.

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai q_c atau *cone resistance*. Yaitu dengan menggunakan rumus :

$$E = 2 \cdot q_c \quad \text{kg/cm}^2$$

$$E = 3 \cdot q_c \quad (\text{ untuk pasir })$$

$$E = 2 \cdot \text{sampai dengan } 8 \cdot q_c \quad (\text{ untuk lempung })$$

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N . Modulus elastisitas didekati dengan menggunakan rumus :

$$E = 6 (N + 5) \quad \text{k/ft}^2 \quad (\text{ untuk pasir berlempung })$$

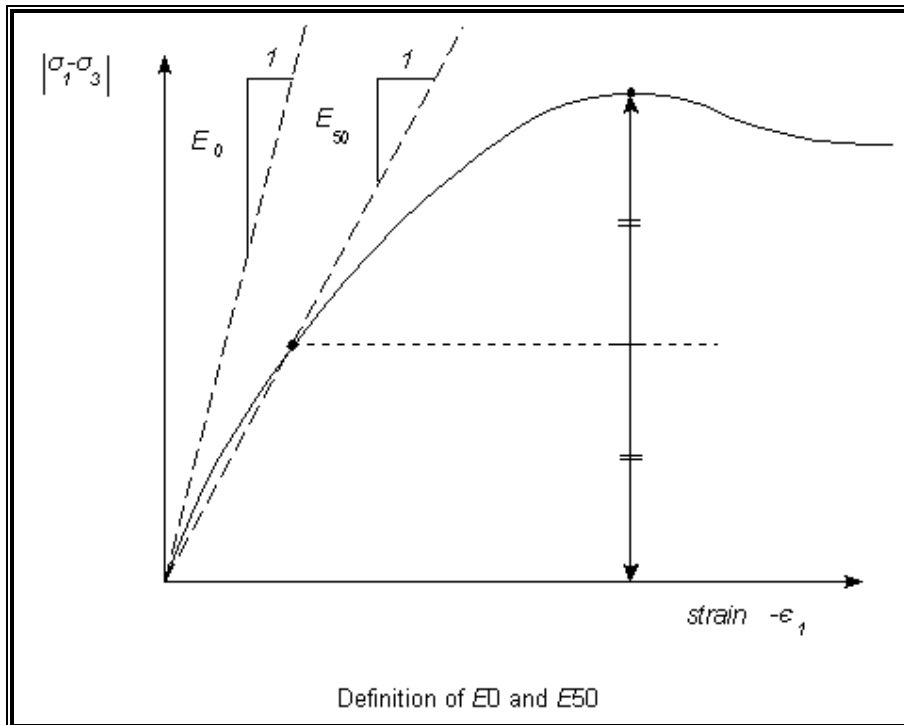
$$E = 10 (N + 15) \quad \text{k/ft}^2 \quad (\text{ untuk pasir })$$

Di mana :

σ_1 : Tegangan 1

σ_3 : Tegangan 3

$\epsilon_{\text{rata-rata}}$: Regangan rata-rata



Gambar 2.3 Penentuan E_{50} (sumber : Manual PLAXIS)

Dari diagram tegangan regangan di atas, nilai E_0 adalah kemiringan pada awal tahap. Untuk analisa batuan dan lempung berkonsolidasi tinggi dengan jangkauan linear elastis yang tinggi dapat langsung digunakan E_0 , sedangkan pada pasir dan lempung yang terkonsolidasi secara normal digunakan nilai E_{50} . Pada umumnya lapisan tanah yang lebih dalam akan mempunyai nilai E yang lebih besar.

Nilai dari Modulus Young didapat dengan menggunakan rumus:

$$E_{50} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_{50}}{\varepsilon_{rata-rata}}$$

Tabel 2.7. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (sumber : Bowles, 1997)

Macam Tanah	E (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Berpasir	300 – 425
PASIR	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
LANAU	20 – 200
LOESS	150 – 600
CADAS	1400 - 14000

2.4.2 *Poissons Ratio*

Rasio poisson sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan-pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan. Ini disebabkan nilai dari rasio poisson sukar untuk diperoleh untuk tanah.

Tabel 2.8. Nilai Perkiraan Angka Poisson Tanah (sumber : Bowles,1997)

Macam Tanah	v (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

2.4.3 Berat Jenis Tanah Kering

Berat jenis tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat jenis tanah kering dapat diperoleh dari data *Soil Test* dan *Direct Shear*.

2.4.4 Berat Jenis Tanah Jenuh

Berat jenis tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah jenuh. Di mana ruang porinya terisi penuh oleh air. Nilai dari berat jenis tanah jenuh didapat dengan menggunakan rumus:

$$\gamma_{sat} = \left(\frac{G_s + e}{1 + e} \right) \gamma_w$$

Di mana :

G_s : *Specific Gravity*

e : Angka Pori

γ_w : Berat Isi Air

Nilai-nilai dari G_s, e dan γ_w didapat dari hasil pengujian tanah dengan *Triaxial Test* dan juga *Soil Test*.

2.4.5 Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari engineering properties tanah, yaitu dengan *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

2.4.6 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari kohesi didapat dari engineering properties, yaitu dengan *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

2.4.7 Permeabilitas

Berdasarkan persamaan Kozeny-Carman nilai permeabilitas untuk setiap layer tanah dapat dicari dengan menggunakan rumus :

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

Untuk tanah yang berlapis-lapis harus dicari nilai permeabilitas untuk arah vertikal dan horizontal dapat dicari dengan rumus :

$$k_v = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_1}\right) + \left(\frac{H_2}{k_2}\right) + \dots + \left(\frac{H_n}{k_n}\right)} \quad k_h = \frac{1}{H}(kH_1 + kH_2 + \dots + kH_n)$$

Di mana :

H : Tebal lapisan

e : Angka Pori

k : Koefisien Permeabilitas

k_v : Koefisien Permeabilitas Arah Vertikal

k_h : Koefisien Permeabilitas Arah Horizontal

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 terdiri dari dua parameter yaitu :

1. Bagian yang bersifat kohesi c yang tergantung dari jenis tanah.
2. Bagian yang mempunyai sifat gesekan/*frictional* yang sebanding dengan tegangan efektif (σ) yang bekerja pada bidang geser.

Kekuatan geser tanah dapat dihitung dengan rumus :

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

Di mana :

- S : Kekuatan geser
- σ : Tegangan total pada bidang geser
- u : Tegangan air pori
- c : Kohesi
- ϕ : Sudut geser

Nilai C_u (*Undrained Shear Strength/Kuat Geser Tanah Tak Terdrainase*) dapat dicari dengan menggunakan nilai q_c dari sondir.

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k}$$

Di mana :

- q_c : tekanan konus
- σ_v : *total overburden pressure*
- N_k : factor konus

De Ruiter (1982) menyatakan, bahwa nilai $N_k = 10 - 15$ untuk *normally consolidated clay* dan $N_k = 15 - 20$ *over consolidated clays*.

Ergemann (1963) dari sejumlah penelitian yang dilakukan menyimpulkan, bahwa besarnya *undrained strength* adalah :

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_v}{2 * 1.3 * 5.14} \implies C_u = S_u = \frac{q_c - \sigma_v}{13.4}$$

Di mana 1.3 adalah faktor untuk pondasi lingkaran.

Pada lapisan lempung lunak dengan kedalaman yang cukup dangkal nilai σ_v sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga rumus *undrained shear strength* dapat disederhanakan menjadi :

$$C_u = \frac{qc}{Nk}$$

Tabel 2.9. Nilai empiris factor konus (Nk) pada tanah kohesi

Penyelidik	Normal	Lempung Lunak	Lokasi
Amar (1974)	10 – 50	-	Yunani
Anagnostopoulos (1974)	17	-	Yunani
Baligh (1975)	-	16.2	
Begemann (1963)	13.4	-	Belanda
Brand et. al. (1982)	-	14 & 19	Bangkok clay
Cancelli et. al. (1982)	25.2 – 28.2	-	Italia
Gostellow & Lambert (1979)	29	40	
Hanzawa (1987)	-	14 & 17	Marine clay, Ind.
Heijnen (1974)	-	15	Belanda
Janbu & Senneset (1974)	15 – 25	-	
Launay (1966)	-	15.6 – 16.4	Belawan, Ind.
Nicolai et. al. (1974)	15 – 25	-	Italia
Ricceri et. al. (1974)	21	23	
Sanglerat (1965,1987)	15 – 18	15 – 18	Perancis
Thomas (1965)	18	-	
Word et. al. (1965)	15 - 19	-	London

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

$$q_{ult} = c \times N_c + \gamma \times D \times N_q + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

- Daya dukung tanah untuk pondasi bujur sangkar

$$q_{ult} = 1.3 \times c \times N_c + \gamma \times D \times N_q$$

Di mana :

D : Kedalaman pondasi

B : Lebar pondasi

γ : Berat isi tanah

N_c, N_q, N_γ : Faktor daya dukung yang tergantung pada sudut geser

Dengan menggunakan data sondir, dapat pula dicari nilai daya dukung tanah.

- **Tanah tak berkohesi**

L'Herminier berdasarkan ribuan test yang dilakukan menyimpulkan daya dukung tanah yang diijinkan untuk pasir padat (*dense sand*) dengan kedalaman 1 m di bawah permukaan tanah adalah :

$$qa = \frac{qc}{10}$$

Sanglerat (1972) menyimpulkan, bahwa persamaan di atas dapat pula digunakan untuk tanah jenis *stiff clay* maupun *stiff sand*.

- **Tanah berkohesi**

Rumus daya dukung ultimate

$$q_{ult} = C * Nc + \gamma * Nq + \frac{1}{2} \gamma * B * N\gamma$$

Untuk tanah kohesif daya dukung tanah yang diberikan oleh Prandti (1921)

$$Nq = \exp(\pi \tan \phi) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi$$

$$N\gamma = 1.5(Nq - 1) \tan \phi$$

Pada tanah kohesif nilai sudut geser dalam $\phi = 0$, sehingga nilai $N_q = 1$, $N_c = 5.14$, dan nilai $N_\gamma = 0$. Rumus daya dukung tanah menjadi :

$$q_u = C_u * N_c + \gamma * D$$

Di mana :

D : Kedalaman tanah

C_u : Kuat geser undrained (*undrained shear strength*)

2.7. Konsolidasi

- **Tanah tak berkohesi**

Penurunan dapat dihitung dengan menggunakan rumus semi empiris Terzaghi :

$$S = \frac{\Delta z}{C} \ln \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

Di mana :

S : Penurunan dari lapisan tanah dengan tebal Δz

P_o : *Effective overburden pressure*

Δp : Tambahan tekanan pada tengah lapisan H

C : Koefisien kompresibilitas

: $\frac{E}{P_o}$, E : Modulus deformasi

Menurut Meyerhof, 1965 besar kompresibilitas adalah :

$$C = \frac{1.9q_c}{P_o}$$

- **Tanah berkohesi**

Penurunan terjadi karena perubahan *void ratio* akibat beban di atasnya. Besar penurunan dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{Cc * H}{1 + e_0} \log \frac{Po + \Delta P}{Po}$$

Di mana :

Cc : *Compression index*

: 0,009 (LL – 10 %)

e_0 : *Void ratio* mula-mula

ΔP : Tambahan tegangan

Dengan menggunakan data sondir dapat digunakan untuk mencari besarnya tinggi kritis timbunan

2.8. Tinggi Kritis Timbunan (H Kritis)

Agar sebuah lereng aman persyaratannya adalah tinggi timbunan harus lebih tinggi dari H kritis (H_{cr}).

$$H_{\text{timbunan}} > H_{cr}$$

Untuk tanah dalam kondisi jenuh

$$H_{cr} = \frac{Cu * Nc}{\gamma_{\text{timbunan}}}$$

Di mana :

Nc	→	Fellenius (1921)	: 5.50
		Terzaghi (1943)	: 5.70
		Atkinson (1980)	: 6.00

2.9. Stabilitas Lereng

2.9.1. Tinjauan Umum

Longsoran terjadi karena adanya gerakan tanah. Gerakan tanah adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, karena pengaruh gravitasi, arus air dan beban luar. Dalam pengertian ini tidak termasuk erosi, aliran lahar, amblesan, penurunan tanah karena konsolidasi, dan pengembangan. Dalam klasifikasi menurut *Highway Research Board* 1958 dan 1978 gerakan tanah dikelompokkan menjadi enam, yaitu runtuh, jungkir, longsoran, penyebaran lateral, aliran dan majemuk (gabungan). Klasifikasi gerakan tanah dapat dilihat pada tabel 2.10.

Longsoran adalah setiap massa tanah yang terletak di bawah permukaan tanah yang miring atau di bawah sisi miring dan suatu galian terbuka memiliki kecenderungan bergerak ke arah bawah dan ke arah luar karena pengaruh gravitasi dan rembesan (*seepage*). Jenis gerakan yang terjadi ada dua, yaitu gerakan berbentuk rotasi dan translasi. Longsoran rotasi adalah longsoran yang mempunyai bentuk bidang longsor : setengah lingkaran, log spiral, hiperbola, atau bentuk lengkung tidal teratur lainnya. Longsoran translasi umumnya ditentukan oleh bidang lemah seperti sesar, kekar perlapisan dan adanya perbedaan kuat geser antar lapisan atau bidang kontak antara batuan dasar dengan bahan rombakan di atasnya.

Daerah berpotensi longsor adalah daerah di mana kondisi *terrain* dan geologinya tidak menguntungkan. Daerah ini sangat peka terhadap gangguan luar baik yang bersifat alami maupun aktivitas manusia yang merupakan faktor pemicu gerakan tanah. Longsoran setempat adalah longsoran lokal yang tidak meliputi daerah luas dan pada umumnya sederhana. Longsoran yang meliputi daerah yang luas adalah longsoran yang tidak sederhana dan meliputi daerah yang luas dan atau menyangkut daerah kehutanan, pertanian, permukiman, pengairan, jalan serta sarana dan prasarana lainnya.

Longsoran pada umumnya terjadi pada sudut lereng 15 – 70 %, karena pada tempat tersebut sering ditempati batuan lempung dan bahan rombakan lain yang mudah longsor. Relief-relief kecil seperti jalan raya, jalan kereta api, tebing penggalian batu, tebing saluran perlu dicatat karena dapat mengundang terjadinya longsoran. Tanah yang longsor dapat merupakan tanah timbunan, tanah yang diendapkan secara alami, atau kombinasi keduanya.

Tabel 2.10. Klasifikasi Gerakan Tanah (sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

JENIS GERAKAN			JENIS MATERIAL		
			BATU	T A N A H	
				BUTIR KASAR	BUTIR HALUS
Runtuhan			Runtuhan batu	Runtuhan bahan rombakan	Runtuhan tanah
Jungkiran			Jungkiran batu	Jungkiran bahan rombakan	Jungkiran tanah
Longsoran	Rotasi	Sedikit	Nendatan batu	Nendatan bahan rombakan	Nendatan tanah
	Translasi		Gelincir bongkah batu	Gelincir bongkah bahan rombakan	Gelincir bongkah tanah
			Banyak	Gelincir batu	Gelincir bahan rombakan
Gerakan Lateral			Gerakan lateral batu	Gerakan lateral bahan rombakan	Gerakan lateral tanah
Aliran			Aliran batu	Aliran bahan rombakan	Aliran tanah (Rayapan tanah)
Majemuk			Gabungan dua atau lebih tipe gerakan		

2.9.2. Penyelidikan Longsoran

Usaha penanggulangan longsoran akan berhasil baik apabila perencanaan didukung oleh data hasil penyelidikan dan pengujian yang baik pula. Data akan diperoleh dengan baik apabila dilakukan dengan tahap-tahap penyelidikan yang benar. Tahap penyelidikan geoteknik di daerah gerakan tanah terdiri atas tahapan persiapan, tahap penyelidikan pendahuluan dan tahap penyelidikan terinci. Penyelidikan yang dilakukan mencakup penyelidikan di lapangan dan laboratorium.

a. Persiapan

Pekerjaan persiapan dilakukan dengan mempelajari data-data yang ada, biasanya berupa peta dan laporan yang pernah dibuat sebelumnya tentang daerah tersebut. Setelah persiapan selesai diharapkan diperoleh gambaran umum tentang daerah pergerakan tanah. Peta-peta yang digunakan antara lain:

- Peta topografi

Peta topografi memberikan gambaran tentang kemiringan lereng, relief, kerapatan sungai, pola aliran, ketinggian dan bentuk morfologi. Longsoran umumnya terjadi pada sudut lereng 15 – 70 %, karena tempat tersebut sering ditempati batuan lempung dan batuan rombakan yang mudah longsor. Relief-relief kecil seperti tebing jalan raya, jalan kereta api, tebing penggalian batu, tebing saluran dapat mengundang terjadinya longsoran. Gabungan antara kerapatan sungai yang tinggi dan kemiringan lereng akan memberikan data yang lebih baik. Umumnya daerah yang berkerapatan sungai tinggi mempunyai kecenderungan longsor yang besar.

- Peta geologi

Peta geologi daerah yang terkena gerakan tanah dapat memberikan keterangan tentang geologi, terutama meliputi sebaran batuan, struktur geologi dan sejarah geologi. Pengaruh stratigrafi pada gerakan tanah adalah kedudukan antara lapisan, di mana longsoran dapat terjadi pada bidang kontak antara batu lempung dan endapan koluvial. Struktur geologi yang berpengaruh pada gerakan tanah adalah kekar, yang dapat pula disertai dengan persesaran, perlipatan atau tarikan.

- Foto udara
Data yang diperoleh dari foto udara antara lain sebaran, jenis, tempat gerakan tanah dan potensinya yang akan membahayakan bangunan.
- Tata guna lahan
Peta tata guna lahan dapat digunakan untuk melihat pengaruh penggunaan lahan terhadap gerakan tanah.
- Curah hujan
Air hujan yang meresap ke dalam tanah akan menurunkan kuat geser tanah dan batuan yang dapat menyebabkan terjadinya longsor. Longsoran banyak terjadi pada musim hujan.

b. Penyelidikan Pendahuluan

Penyelidikan pendahuluan dilakukan untuk memperoleh gambaran umum daerah longsoran, meliputi luas daerah yang terlibat, jenis longsoran, kedalaman bidang longsoran, penyebab longsoran dan keaktifannya. Perlu pula diketahui apabila pernah ada metode penggulangan yang telah dilakukan di lokasi dan tingkat keberhasilannya. Penyelidikan pendahuluan meliputi :

- Pemetaan topografi
- Pemetaan geologi teknik
- Pendugaan geofisika didasarkan pada prinsip pengukuran sifat fisika tanah/batuan, dilakukan dengan metodaseismik dan geolistrik. Data yang diperoleh adalah data di bawah permukaan, seperti susunan lapisan tanah/batuan, kondisi air tanah dan dugaan kedalaman bidang longsoran.
- Sumur dan parit uji dilakukan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan, terutama tanah, dengan jalan membuat galian baik secara manual maupun masinal. Penggalan sumur dan parit uji ini dilakukan untuk mengambil contoh tanah dan batuan untuk pengujian di lapangan maupun di laboratorium.
- Pengamatan visual dilakukan untuk memperoleh gambaran umum dan perencanaan awal penanggulangan longsoran.

c. Penyelidikan Terperinci

Penyelidikan terperinci dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran secara terperinci secara kuantitatif mengenai data lapangan dan laboratorium. Gambaran terinci dilengkapi dengan parameter geoteknik sebagai dasar analisis dan penanggulangan longsoran. Penyelidikan terinci meliputi :

- Pemboran pengujian di lapangan.
Pemboran dilakukan untuk mendapatkan contoh jenis penampang tanah/batuan yang sebenarnya. Pengujian di lapangan dilakukan untuk mendapatkan sifat teknis tanah/batuan pada keadaan asli. Pengujian ini dilakukan karena pengujian sampel di laboratorium tidak dapat mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Pengujian di lapangan meliputi uji geser baling, uji penetrasi standar (SPT), sondir, *pressure meter*, geser langsung dan membuat penampang tanah/batuan.
- Pengujian di laboratorium.
Pengujian di laboratorium dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengetahui sifat teknis tanah/batuan. Jenisnya tercantum dalam tabel 2.11.
- Penyelidikan geohidrologi.
Pengujian geohidrologi dilakukan untuk mengetahui kondisi air dan pengaruhnya pada longsoran.
- Pemetaan kerentanan longsoran.
Pemetaan kerentanan longsoran dilakukan untuk membagi daerah longsor berdasarkan tingkat kerentanannya, yaitu tingkat rendah, sedang dan tinggi.

Tabel 2.11. Macam pengujian di laboratorium dan aplikasinya

(sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

Macam Pengujian	Tanah		Batuan	Aplikasi
	Berkoheesi	Tak Berkoheesi		
1. Berat isi	o	o	o	S i f a t F i s i k S i f a t T e k n i k
2. Kadar air	o	o	o	
3. Batas-batas Atterberg	o	-	-	
4. Batas susut	o	-	-	
5. Kepadatan relatif	-	o	-	
6. Analisa butir	o	o	-	
7. Mineralogi	o	-	o	
8. Kelekangan	-	-	o	
1. Geser langsung	o	o	o	s d a s d a Analisis drainase penentuan lapisan pembawa air. Kontrol pemadatan, analisis kemapapan lereng.
2. Trisumbu	o	o	o	
3. Kuat tekan bebas	o	-	o	
4. Kelulusan air	o	o	-	
5. Pemadatan	o	o	o	

Keterangan : o = perlu diuji - = tidak perlu

2.9.3. Penentuan Jenis Instrumen dan Kegunaannya

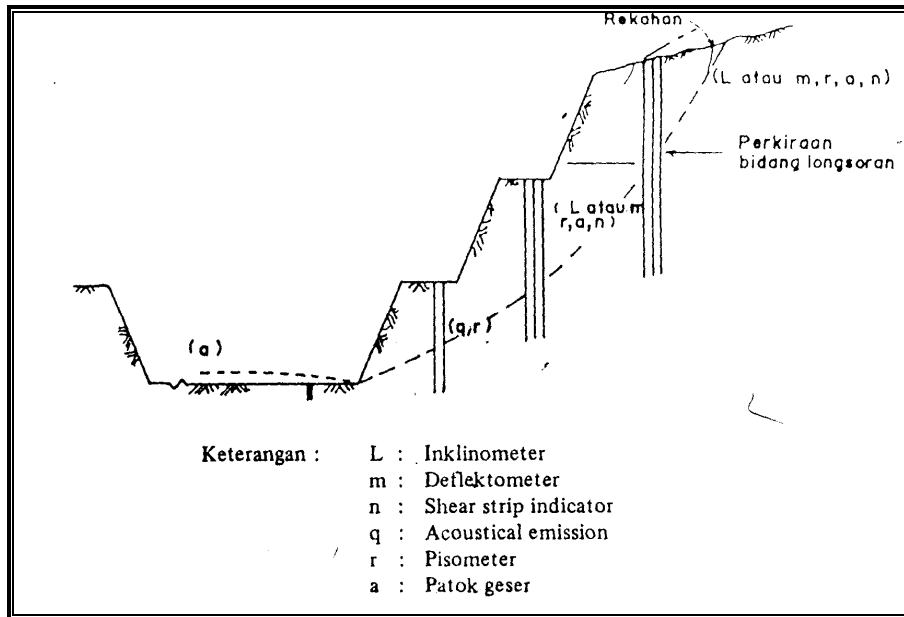
Pemasangan instrumen di daerah gerakan tanah dimaksudkan untuk memantau alihan di permukaan/bawah permukaan, beban dan tekanan. Jenis instrumen yang umum dipakai terdapat di tabel 2.12. Penentuan jenis instrumen yang dipasang disesuaikan dengan tujuan pengamatan. Contohnya terdapat di gambar 2.4. Pemasangan instrumen ini bermanfaat untuk mengetahui gerakan yang mungkin terjadi dan berguna untuk peringatan.

Tabel 2.12. Instrumentasi di daerah gerakan tanah

(sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

Tujuan Pengamatan	Instrumen	Material	
		Tanah	Batu
Gerakan di permukaan	1. Patok geser	o	o
	2. Strainmeter	o	o
Gerakan di bawah permukaan	1. Inklinometer	o	o
	2. Deflektometer	—	o
	3. Shear strip indicator	o	o
	4. Acoustical emission	o	o
Beban dan tekanan	1. Pisometer	o	o
	2. Strainmeter	—	o

Keterangan : o = diperlukan
— = tidak diperlukan



Gambar 2.4. Skema pemasangan instrumen di daerah galian

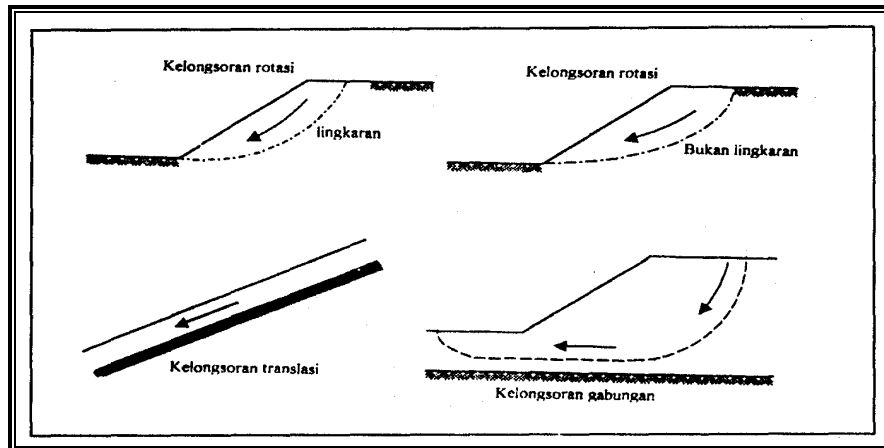
(sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

2.9.4. Evaluasi dan Analisa Kemantapan Lereng

Data dari penyelidikan – penyelidikan di atas dievaluasi. Hasil evaluasi itu kemudian digunakan sebagai input dalam analisa dan desain penanggulangan longsor. Dari hasil penyelidikan terinci dapat ditentukan tipe longsor dengan tepat.

Terdapat beberapa tipe longsor yang sering terjadi diantaranya :

- o Kelongsoran rotasi (*rotational slip*)
- o Kelongsoran translasi (*translational slip*)
- o Kelongsoran gabungan (*compound slip*)



Gambar 2.5. Tipe – Tipe Longsoran (sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

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.

a. Penentuan Bidang Longsoran

Data penyelidikan terinci dan pengujian laboratorium dapat digunakan untuk menentukan tipe longsoran yang tepat. Hasil penyelidikan longsoran kemungkinan menunjukkan variasi data yang acak, sehingga diperlukan evaluasi secara lebih teliti untuk dapat dipertanggungjawabkan secara teknik. Dari hasil evaluasi dapat juga dilakukan penyelidikan tambahan. Untuk suatu penanggulangan yang baik, minimal diperlukan suatu penentuan yang tepat dari bidang longsoran, kondisi geohidrologi dan penampang geoteknik.

Pengamatan longsoran lereng yang dilakukan Collin (1846) menunjukkan, bahwa kebanyakan peristiwa longsoran tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor lengkungan.

Keruntuhan lereng dari jenis tanah kohesif banyak terjadi karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan tanah longsor ke bawah, pada bidang longsohnya.

Lengkungan bidang longsor dapat berupa bentuk bidang lingkaran, log spiral atau kombinasi dari keduanya. Kadang-kadang dijumpai pula suatu bidang longsor yang kurva menerus akibat perpotongan dengan lapisan tanah keras. Mengingat bidang longsor dipengaruhi oleh :

- Lapisan tanah keras
- Lempung sangat kaku
- Pasir padat
- Permukaan batu
- Lapisan tanah yang sangat lunak

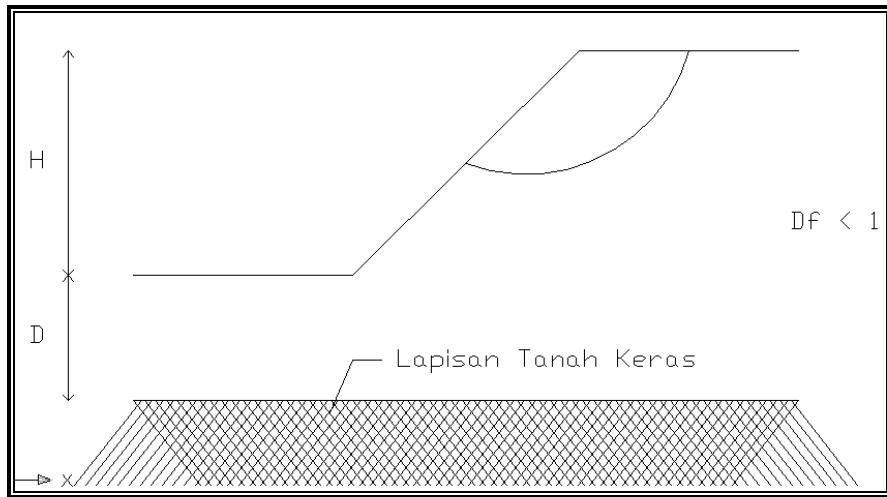
Data pengujian laboratorium yang dapat digunakan untuk memperkirakan letak dan bentuk bidang longsor antara lain : sondir, SPT (*Standard Proctor Test*), UCS dan geolistrik. Dari data sondir pada umumnya bidang longsor akan melalui tanah yang memiliki nilai qc kecil dengan konsistensi yang sangat lunak, atau melalui tanah dengan qc yang tinggi yang berbatasan dengan lapisan tanah yang lain dengan konsistensi yang sebanding. Bidang longsor terjadi pula pada tanah dengan N-SPT yang kecil, di mana sudut gesernyapun akan sangat kecil.

Analisis lereng terbatas dengan bidang longsor yang berbentuk lingkaran pada umumnya mempunyai tiga macam tipe kelongsoran, yaitu :

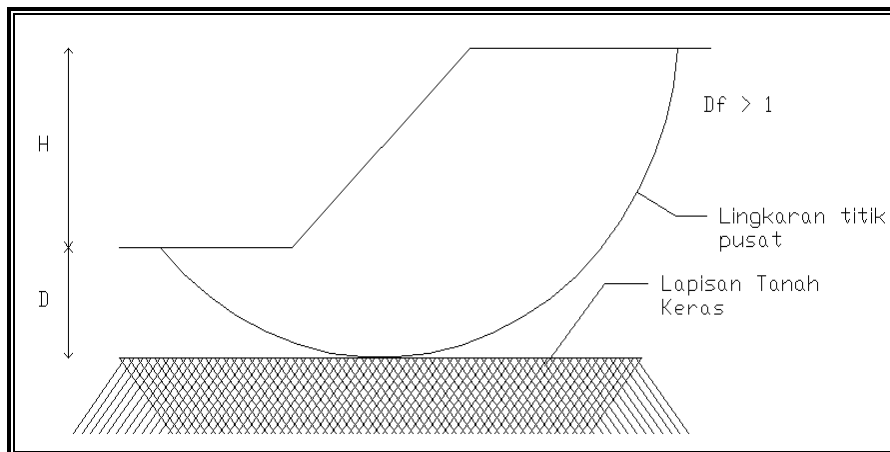
- Kelongsoran muka lereng
- Kelongsoran dasar
- Kelongsoran ujung kaki / bawah lereng

Faktor kedalaman :

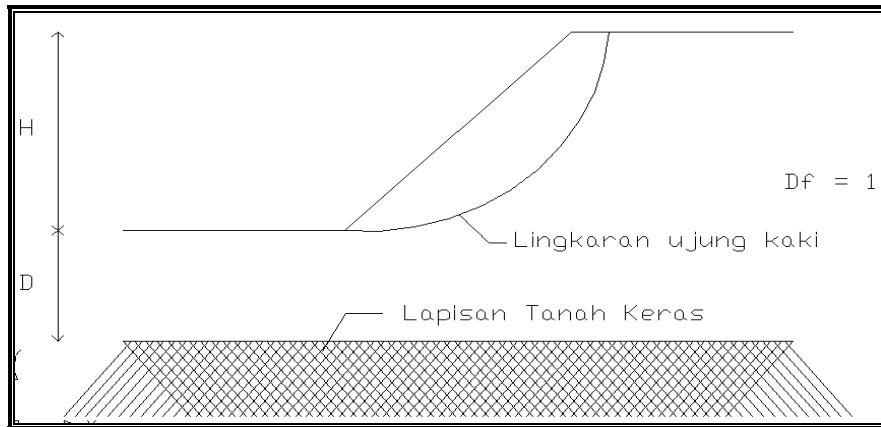
$$D_f = \frac{D + H}{H}$$



Gambar 2.6. Tipe longsor rotasi $D_f < 1$

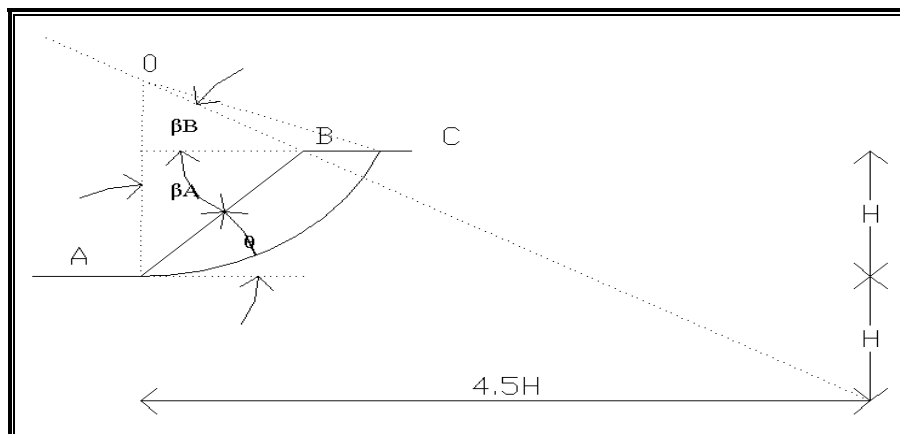


Gambar 2.7. Tipe longsor rotasi $D_f > 1$



Gambar 2.8. Tipe longsor rotasi $D = 1$

Bidang longsor tersebut kemudian dianalisa untuk menentukan faktor keamanan lerengnya. Penentuan angka keamanan itu umumnya dilakukan dengan menggunakan metode *'trial and errors'*. Untuk memudahkan proses itu maka titik-titik pusat bidang longsor harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan. Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan letak titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif.



Gambar 2.9. Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif

Tabel 2.13. Sudut-sudut petunjuk menurut Fellenius

Lereng 1 : n	Sudut Lereng θ°	Sudut-Sudut Petunjuk	
		βA°	βB°
$\sqrt{3} : 1$	60	29	40
1 : 1	45	28	38
1 : 1.5	33.41	26	35
1 : 2	25.34	25	35
1 : 3	18.26	25	35
1 : 5	11.19	25	37

Pada tanah kohesif untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan menggunakan bantuan sudut-sudut petunjuk dari Fellenius di atas.

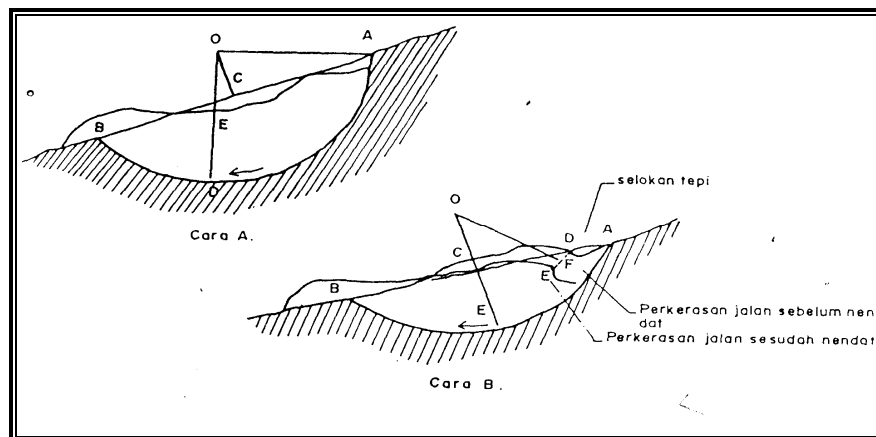
Grafik Fellenius memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser maka titik pusat busur longsor akan bergerak naik. Titik 0 merupakan perkiraan letak titik-titik pusat busur longsor. Titik 0 ditarik dari garis dengan koordinat $4.5H$ dan H dari tumit lereng. Dari busur-busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya pada titik-titik di sekitarnya, untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Apabila belum ditemukan titik dengan nilai faktor keamanan yang paling minimum, maka ditentukan lagi sebuah koordinat pendekatan pada garis tersebut sepanjang 2 m dari titik sebelumnya.

Analisa secara manual pada umumnya adalah dengan membagi bidang busur lingkaran longsor tersebut menjadi pias-pias untuk memudahkan perhitungan. Pias-pias tersebut dibuat setebal $b = (0.1) R$. Penyelesaiannya dapat dengan menggunakan cara Fellenius ataupun Bishop.

Dengan penyelidikan, untuk menentukan bentuk bidang longsoran pada penampang sepanjang as longsor, diperlukan minimal 3 titik yang menunjukkan kedalamannya. Titik pertama diambil dari titik potong antara as longsor dengan retakan yang ada pada mahkota longsor. Dua titik lainnya didapat dari hasil pengamatan inklinometer atau pipa PVC/unting-unting. Selain itu perlu dievaluasi juga sebagai berikut:

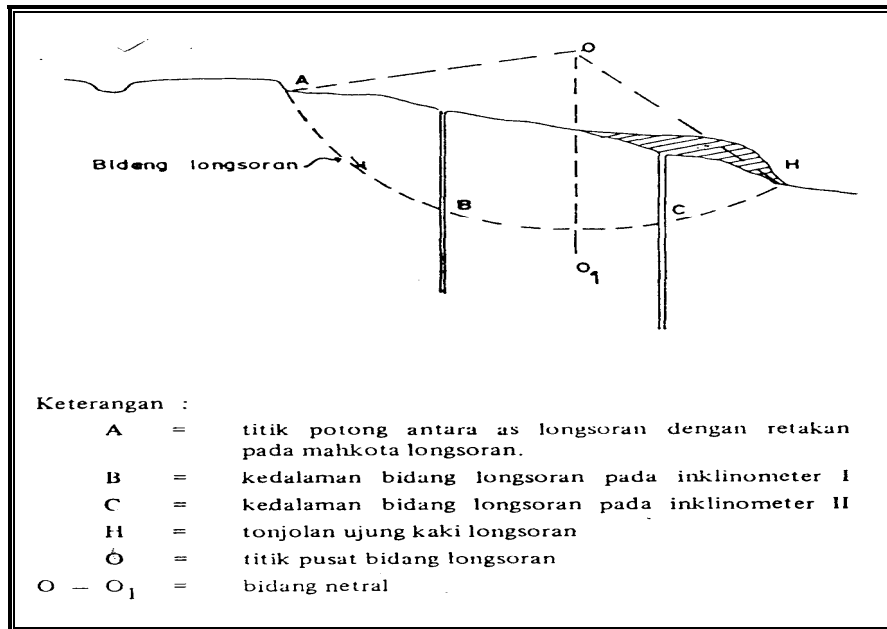
- Data penampang geologi teknik lengkap, seperti letak lapisan tanah terlemah.
- Data pengujian laboratorium, misalnya hubungan antara kadar air dan batas-batas Atterberg.
- Data penyelidikan terinci, misalnya uji penetrasi standar.
- Gejala-gejala lain di lapangan, misalnya tonjolan, mata air, patahan dll.

Kedalaman bidang longsor diambil pada kedalaman di mana pipa PVC patah (tertahannya unting-unting tersebut) atau kedalaman pembacaan dengan perpindahan maksimum pada pembacaan dengan inklinometer (Metode penentuan letak titik pusat rotasi dengan metode HRB dan metode ritchie)

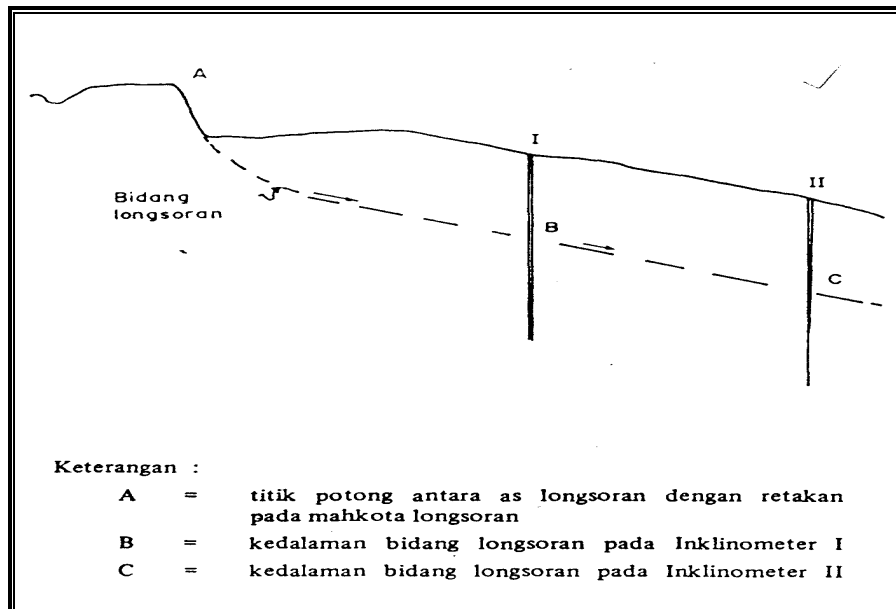


Gambar 2.10. Penentuan letak titik pusat rotasi dengan metoda RITCHIE

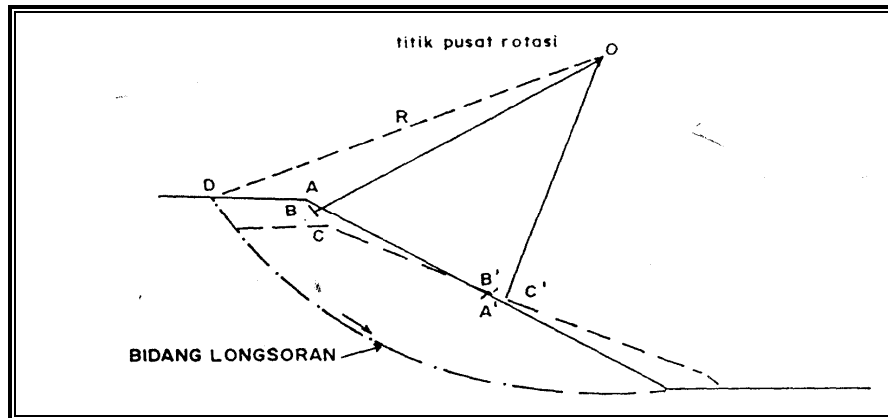
(sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)



Gambar 2.11. Longsor Rotasi (sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)



Gambar 2.12. Longsor Translasi (sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)



Gambar 2.13. Penentuan letak titik pusat rotasi dengan metoda HRB
(sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

b. Penentuan Kondisi Geohidrologi

1. Air Permukaan

Air permukaan mengakibatkan berkurangnya kuat geser tanah terutama bila terbeludung di daerah longsoran. Pola aliran dapat dianalisis dari peta topografi dan foto udara. Air permukaan sangat tergantung dari :

- Volume air permukaan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :
 - Intensitas curah hujan
 - Keadaan topografi
 - Keadaan vegetasi
 - Permeabilitas tanah permukaan.
 - Mata air.

Volume air permukaan didapat dari besarnya limpasan (*run off*), sedangkan besarnya limpasan merupakan selisih dari besarnya curah hujan dengan peresapan air ke tanah.

- Daerah pengaliran.

Daerah pengaliran dapat diketahui dengan menentukan pola aliran air permukaan dari peta topografi atau foto udara.

2. Air Tanah

Kondisi air tanah yang mempengaruhi kemantapan lereng dapat dievaluasi dari hasil pengamatan sumur uji, lubang bor dan pisometer. Dengan mengetahui kondisi air tanah daerah longsor dapat diklasifikasikan dalam 3 golongan :

- Klasifikasi I adalah longsor yang dipengaruhi oleh air permukaan yang merembes menjadi air tanah.
- Klasifikasi II adalah longsor yang dipengaruhi oleh kombinasi antara air tanah bebas, air tanah sementara dan air tanah artesis.
- Klasifikasi III adalah longsor yang hanya dipengaruhi oleh air tanah artesis.

c. Penentuan Penampang geoteknik

Penampang geoteknik adalah suatu penampang yang menunjukkan urutan lapisan tanah/batuan sepanjang penampang yang dikehendaki dari muka tanah sebagai batas kedalaman penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah/batuan. Penampang ini dihasilkan dari beberapa penyelidikan pengeboran mesin ataupun dengan tangan.

2.9.5. Faktor Penyebab Kelongsoran Di Lokasi Kajian

a. Pengaruh Geologi

Proses geologis dalam pembentukan lapisan–lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen, 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. Partikel–partikel tersebut akan tenggelam di dasar laut membentuk lapisan tanah.

Penyebaran endapan tersebut bisa merata atau tidak merata tergantung dari 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 laminar pada lapisan pasir yang lebih permeabel.

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

b. Pengaruh Geomorfologi

Permukaan bumi meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung besar, maupun dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan. Daerah dengan kemiringan besar lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar. Tak heran apabila kasus kelongsoran sering ditemukan di daerah perbukitan atau pegunungan, dan pada pekerjaan 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 dan beban di kepala lereng. Hal tersebut terjadi karena erosi air pada kaki lereng dan kegiatan penimbunan atau pemotongan lereng yang dilakukan manusia.

c. Pengaruh Geohidrologi

Berdasarkan pada peta fisiografi/geomorfologi daerah sepanjang ruas jalan Menganti - Wangon diketahui terdapat beberapa sungai yang mengalir pada daerah kajian dengan pola aliran sungai bercabang-cabang (*dendritik* dan *subrektangular*), arah aliran sungai relatif berarah barat - timur. Pada beberapa lokasi, aliran sungai ini memotong trase jalan. Aliran air dari sungai tersebut dialirkan melalui jembatan dan gorong-gorong. Sepanjang jalan eksisting sudah ada drainase pada bagian kiri/kanan jalan, namun tidak cukup efektif.

d. Pengaruh Iklim dan Curah Hujan

Iklm di daerah ini seperti daerah lainnya di Indonesia sangat dipengaruhi oleh bertiupnya angin muson dan digolongkan sebagai iklim tropis basah. Menurut data curah hujan tahun 1990 sampai 2002 yang diterbitkan oleh BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika) daerah di sekitar Menganti - Wangon mempunyai curah hujan rata-rata tahunan berkisar 151 mm. Intensitas curah hujan tertinggi berkisar 250 mm sedangkan yang terendah berkisar 86 mm. Curah hujan rata-rata tahunan yang terjadi di daerah kajian dapat dikatakan relatif tinggi, hal ini secara langsung mempengaruhi tinggi muka air tanah dan tekanan air pori. Sehingga tingkat pelapukan yang terjadi pada batuan penyusun daerah ini cukup tinggi.

e. Pengaruh Gempa

Berdasarkan Peta Wilayah Rawan Bencana Gempa Bumi Indonesia (E. K. Kertapati *et al*, 2001) wilayah Menganti - Wangon dan sekitarnya termasuk ke dalam intensitas skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) dengan nilai antara V - VI, artinya jika terkena gempa getarannya hanya terasa jika di dalam rumah. Informasi dan Peta Bahaya Guncangan Gempa Bumi Indonesia (E. K. Kertapati *et al*, 1999) yang ditunjukkan oleh, nilai percepatan tanah pada batuan dasar, untuk selang waktu 500 tahun, berkisar antara 0,15 g – 0,20 g (g adalah gravitasi bumi). Dari keterangan-keterangan di atas bisa disimpulkan bahwa faktor gempa bukan merupakan suatu yang menentukan di dalam desain.

f. Pengaruh Letak Geografis

Ruas jalan Menganti - Wangon terletak di antara 108° 50' - 109° 05' Bujur Timur dan 7° 20' - 7° 35' Lintang Selatan (Peta Geologi Lembar Majenang dan Banyumas, Jawa).

g. Pengaruh Tata Guna Lahan

Ruas jalan Menganti - Wangon pada lokasi terjadinya longsoran melewati daerah dengan relief yang bervariasi (perbukitan dengan punggung tak beraturan hingga perbukitan dengan punggung sejajar). Penggunaan lahan di daerah ini sebagian besar untuk perkebunan palawija dan persawahan.

h. Pengaruh Proses Fisika

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 tereduksi kekuatan gesernya, terutama nilai kohesi c dan sudut geser dalam ϕ .

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 kekuatan gesernya hilang.

i. Perubahan Struktur Tanah Lempung dan Lanau Akibat Proses Psikokimia

Kehilangan kekuatan geser tanah lanau dan lempung disebabkan akibat penyerapan air dan kembang susut tanah, serta akibat pertukaran ion di mana 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 garam, air tersebut menyebabkan lempung menjadi lunak yang lambat laun akan mereduksi kekuatannya dan ion garam dapat menggantikan ion bebas mineral lempung sehingga susunan ion lempung berubah yang otomatis mempengaruhi pula kekuatannya.

j. 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 besar 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.

2.9.6. Cara Analisis Kemantapan Lereng

Secara garis besar analisis kemantapan lereng terbagi menjadi empat kelompok, yaitu:

- Pengamatan visual
- Menggunakan komputasi.
- Menggunakan grafik.
- Menggunakan software komputer, antara lain PLAXIS, XSTABL, RHEOSTAUB, dan lain-lain.

Tabel 2.14. Cara analisis kemantapan lereng (sumber : SKBI – 2.3.06. 1987)

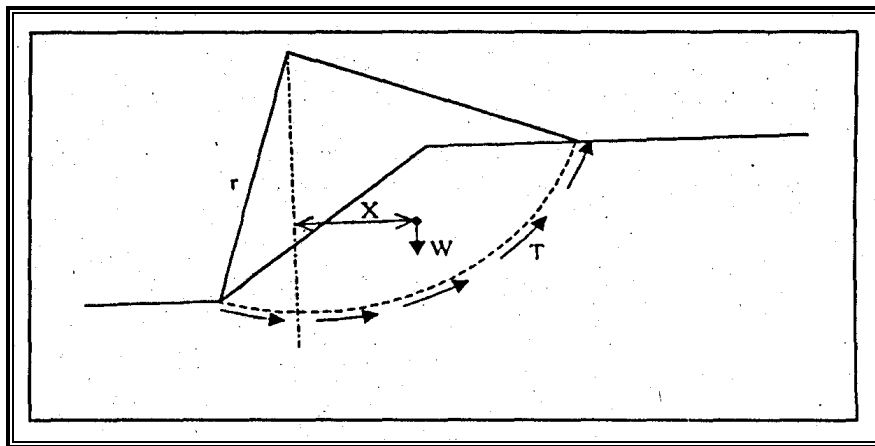
No.	Analisis	Cara	Bidang Longsoran *)	Tanah **)	Batu **)	Keterbatasan
I	Berdasarkan pengamatan visual	Membandingkan kestabilan lereng yang ada	L,P,B	o	o	1. Kurang teliti 2. Tergantung pengalaman seseorang 3. Disarankan untuk dipakai bila tidak ada risiko
II	Menggunakan Komputasi	Fellenius Bishop Janbu	L L,P,B L,P,B	o o o	– o o	Fellenius kurang teliti, hanya dapat menghitung faktor keamanan tetapi tidak dapat menghitung deformasi
III	Menggunakan Grafik	– Cousins – Janbu – Duncan – Hoek & Bray	L L P P,B	o o o –	– o o o	1. Material homogen 2. Umumnya struktur sederhana

Keterangan : *) L = lingkaran B = baji **) o = digunakan
P = planar – = tidak digunakan

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.

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

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



Gambar 2.14. Mekanika dan sebuah bidang longsoran rotasi

$$FK = \frac{r.T}{X.w}$$

Di mana :

- r : Jari – jari lingkaran kelongsoran
- 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.

Yaitu membuat lereng lebih datar dengan cara mengurangi sudut kemiringan dan memperkecil ketinggian lereng.

2. Memperbesar gaya penahan / momen penahan.

Yaitu dengan menerapkan beberapa metode perkuatan tanah, diantaranya dinding penahan tanah, box culvert, abutment jembatan dan lain-lain.

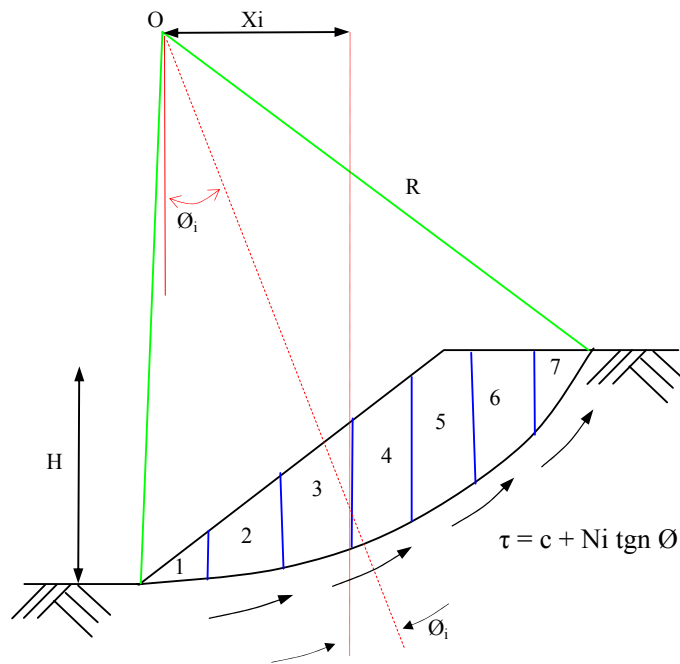
Analisis kestabilan lereng secara manual dapat dilakukan dengan metode pias-pias (*the method of slices*). Metode ini menggunakan runtuh permukaan potensial pada lereng yang diasumsikan berbentuk busur lingkaran. Gaya normal yang bekerja adalah akibat berat tanah sendiri yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor. Dalam metode ini massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa pias vertikal dengan lebar b . Dasar tiap pias diasumsikan sebagai garis lurus. Sudut yang dibentuk oleh dasar pias dan sumbu horisontal adalah α dan tinggi yang diukur dari garis sumbu adalah h .

Gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing pias adalah :

- Berat total pias, $W = \gamma \cdot b \cdot h$
- Gaya normal total pada dasar, $N_i (\sigma_{li})$
- Gaya geser pada dasar, $T = \tau_m \cdot l$
- Gaya normal total pada sisi pias (E_1 dan E_2)
- Gaya geser pada sisi pias (x_1 dan x_2)
- Jika ada gaya luar maka harus diperhitungkan

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran 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 2.15. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan bidang longsor

Beberapa cara penyelesaian dengan menggunakan metode pias, antara lain :

- Metode Fellenius

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \{ c.L_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i.L_i) \operatorname{tg} \phi \}}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i}$$

- Metode Bishop

Metode bishop's ini merupakan dasar metode bagi aplikasi program PLAXIS V. 7. 11 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 tanah, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

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

Di mana :

σ : 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 longsornya dapat dinyatakan oleh :

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

Di mana :

- F : Faktor Keamanan
- C' : Kohesi tanah efektif
- θ' : Sudut geser dalam tanah efektif
- b_i : Lebar irisan ke – i
- W_i : Berat irisan tanah ke – i
- θ_i : Sudut yang diasumsikan (didefinisikan)
- U_i : Tekanan air pori pada irisan ke – i

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

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

Di mana :

- r_u : Nilai banding tekanan pori
- u : Tekanan air pori
- b : Lebar irisan
- γ : Berat volume tanah
- h : Tinggi irisan rata-rata

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

$$F = \frac{1}{W \sin \alpha} \sum [c' b + (W - ub) \operatorname{tg} \phi'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}}$$

Persamaan faktor keamanan Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainya seperti metode Fellenius. 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 Fellenius 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 longsornya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran longsornya 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 kedudukanya 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.

- Metode Kazuto Nakazawa (Dr. Ir. Suyono Sosrodarsono)

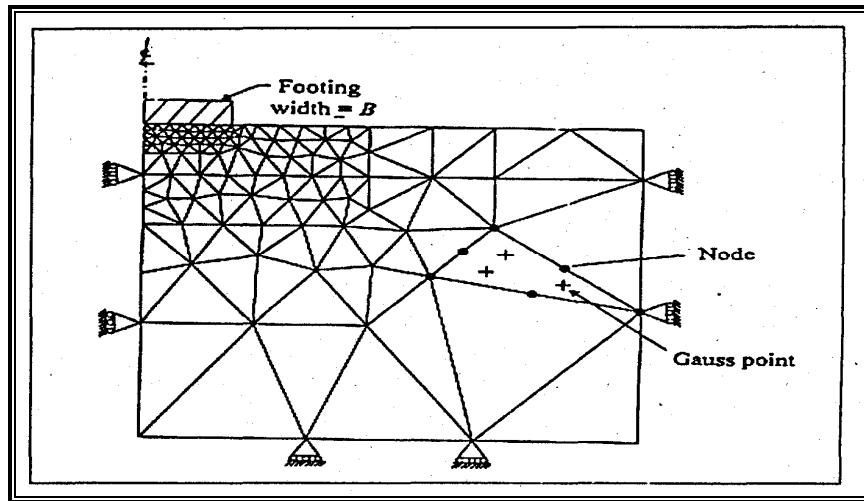
$$F_s = \frac{\sum (c.L.r + W.r.\cos\alpha.tg\phi)}{\sum W.r.\sin\alpha}$$

2.10. Metode Elemen Hingga

2.10.1. Umum

Metode elemen hingga adalah prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang sering muncul pada rekayasa teknik. Inti dari metode tersebut adalah membuat persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai pada titik-titik diskrit pada bagian yang dievaluasi. Persamaan metode elemen hingga dibuat dan dicari solusinya dengan sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan pada hasil akhirnya.

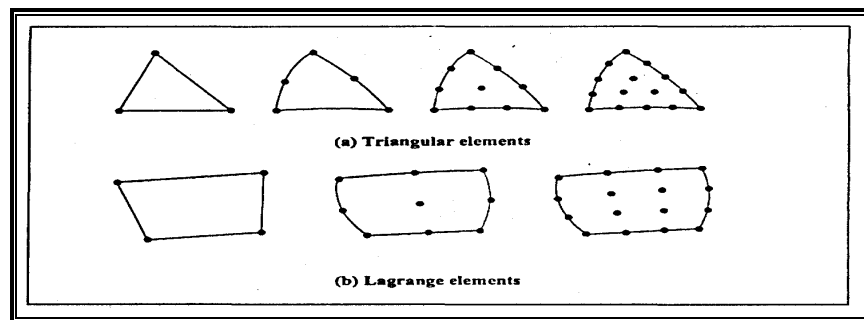
Jaring (*mesh*) terdiri dari elemen-elemen yang dihubungkan oleh *node*. *Node* merupakan titik-titik pada jaring di mana nilai dari variabel primernya dihitung. Misal untuk analisa *displacement*, nilai variabel primernya adalah nilai dari *displacement*. Nilai-nilai *nodal displacement* diinterpolasikan pada elemen agar didapatkan persamaan aljabar untuk *displacement*, dan regangan, melalui jaring-jaring yang terbentuk.



Gambar 2.16. Contoh jaring – jaring dari elemen hingga

2.10.2. Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

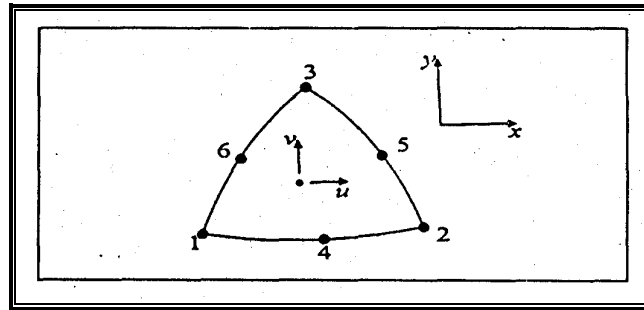
Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen *triangular* atau *quadrilateral* (Gambar 2.17). Bentuk umum dari elemen-elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan *Iso-Parametric* di mana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan *displacement* pada elemen.



Gambar 2.17. Elemen-elemen *Triangular* dan *Lagrange*

2.10.3. Interpolasi Displacement

Nilai - nilai *nodal displacement* pada solusi elemen hingga dianggap sebagai *primary unknown*. Nilai ini merupakan nilai *displacement* pada *nodes*. Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut harus menginterpolasikan fungsi-fungsi yang biasanya merupakan *polynomial*.



Gambar 2.18. Elemen dan *six-noded triangular*

Anggap sebuah elemen seperti pada Gambar 2.18. U dan V adalah *Displacement* pada sebuah titik di elemen pada arah x dan y . *Displacement* ini didapatkan dengan menginterpolasikan *displacement* pada *nodes* dengan menggunakan persamaan *polynomial* :

$$U(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y^2 + a_3x^3 + a_4xy + a_5y$$

$$V(x,y) = b_0 + b_1x + b_2y^2 + b_3x^3 + b_4xy + b_5y$$

Konstanta a_1, a_2, \dots, a_5 dan b_1, b_2, \dots, b_5 tergantung pada nilai *nodal displacement*. Jika jumlah *nodes* yang menjabarkan elemen bertambah maka fungsi interpolasi untuk *polynomial* yang juga akan bertambah.

2.10.4. Regangan

Regangan pada elemen dapat diturunkan dengan memakai definisi standar. Sebagai contoh untuk *six-node triangle* :

$$\begin{aligned}\varepsilon_{xx} &= \partial u / \partial x &= a_1 + 2a_3x + a_4y \\ \varepsilon_{yy} &= \partial v / \partial y &= b_2 + 2b_4x + 2b_5y \\ \varepsilon_{xy} &= (\partial u / \partial y) + (\partial v / \partial x) &= (b_1 + a_2) + (a_4 + 2b_3)x + (2a_5x + b_4)y\end{aligned}$$

Persamaan yang menghubungkan regangan dengan *nodal displacement* ditulis dalam bentuk persamaan matrix :

$$\varepsilon = B \cdot U^e$$

Vektor regangan ε dan vektor nodal displacement masing – masing dihubungkan dengan U^e

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} U^e = \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ \dots \\ \dots \\ U_6 \\ V_6 \end{bmatrix}$$

2.10.5. Hukum Konstitutif (*Constitutive Law*)

Constitutive law diformulasikan untuk membuat matrik hubungan antara tegangan (vektor σ) dengan regangan (vektor ϵ) :

$$\sigma = D \cdot \epsilon$$

Di mana :

D : Matrik kekakuan material

Untuk kasus elastisitas isotropik regangan bidang linear, matrixnya:

$$D = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}$$

Di mana :

E : Modulus young

ν : Poisson's ratio

2.10.6. Matrix Kekakuan Elemen

Gaya pada tanah yang diaplikasikan pada elemen dianggap sebagai gaya yang bekerja pada *nodes*. Vektor *nodal forces* P^e ditulis :

$$P^e = \begin{bmatrix} P_{1x} \\ P_{1y} \\ P_{2x} \\ P_{2y} \\ \dots \\ \dots \\ P_{6x} \\ P_{6y} \end{bmatrix}$$

Nodal forces yang bekerja pada titik i di arah x dan y adalah P_{ix} dan P_{iy} , dan dihubungkan dengan nodal displacement dengan matrik :

$$K^e U^e = P^e$$

Sedangkan K^e merupakan Matrik Kekakuan Elemen yang ditulis :

$$K^e = B^t \cdot D \cdot B \cdot dv$$

Di mana :

D : Matrik kekakuan material

B : Matrik penghubung nodal displacement dengan regangan

dv : Elemen dari volume

2.10.7. Matrik Kekakuan Global

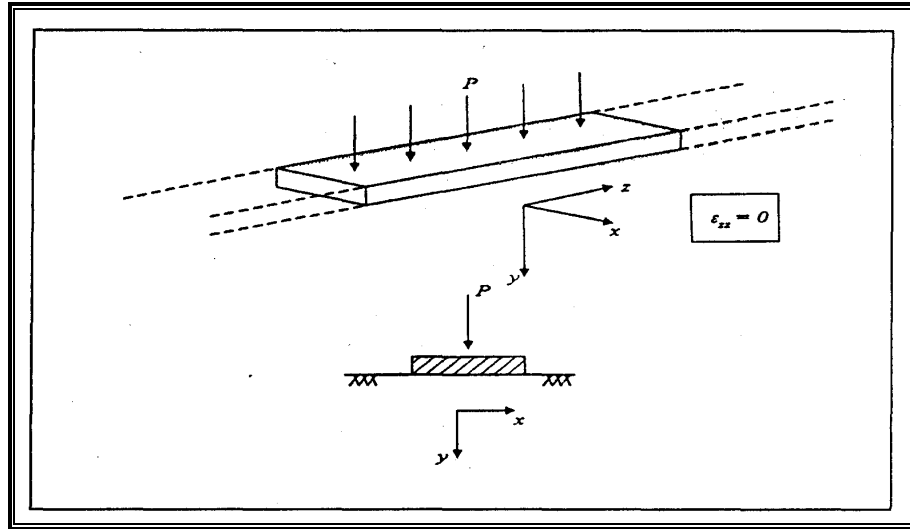
Matriks kekakuan K untuk jaring (*mesh*) elemen hingga dihitung dengan menggabungkan matrik - matrik kekakuan elemen di atas.

$$K \cdot U = P$$

Di mana U merupakan vektor yang mempunyai unsur displacement pada semua titik pada jaring elemen hingga.

2.10.8. Analisa Elastis Dua Dimensi

Dalam mencari solusi dan analisa numerik dua dimensi kondisi model yang dianalisa tersebut harus seperti pada kondisi tiga dimensi. Pendekatan yang digunakan adalah tegangan bidang (*plane stress*) dan regangan bidang (*plane strain*). Pendekatan yang sering digunakan dalam analisa tanah adalah kondisi tegangan bidang.



Gambar 2.19. Analisa tegangan bidang

Pada analisa tegangan bidang, nilai tegangan yang terletak di luar bidang (*out - of plane*), dalam hal ini bidang z, adalah nol.

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 P_o . Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ketanah dasar menjadi P_I 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 :

- a. 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).

- b. Lapis Perkerasan :

- Sebagai lapisan perkerasan menahan 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).

c. 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*.

d. *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 rantai kerja bagi lapis pondasi atas

e. 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. Pematatan 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 pematatannya dapat dilakukan sesuai PB-0111-76 (standar) untuk tanah dasar kohesif, atau PB-0112-76 (*modified*) untuk tanah dasar non-kohesif. CBR laboraturium 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 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%.

2.11.3. 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 :

a. 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* yang digunakan untuk menghitung dan menampilkan jumlah komposisi lalu lintas harian rata-rata LHR awal rencana.

b. Menghitung angka ekuivalen (*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 ekuivalen masing-masing kendaraan dihitung dengan memakai rumus :

- Angka Ekuivalen sumbu Tunggal.

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

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

c. Mengitung lintas ekuivalen 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
- ΣLHR_j : lalu lintas harian rata-rata pada awal umur rencana
- E_j : Angka ekivalen untuk tiap jenis kendaraan

d. Menghitung lintas ekuivalen 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 :

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

e. Menghitung lintas ekuivalen tengah

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

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

Dimana :

LEA : Lintas Ekivalen Akhir

LEP : Lintas Ekivalen Permulaan

f. Menghitung lintas ekivalen rencana (LER)

Suatu beban yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekivalen rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana. Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

FP : Faktor Penyesuaian

LET : Lintas Ekivalen Tengah

UR : Umur Rencana

g. 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 (lpo)

- Selanjutnya dengan parameter DDT, IP, FR, dan LER dengan memakai nomorgan penetapan tebal perkerasan didapat indeks tebal perkerasan ijin (ITP).

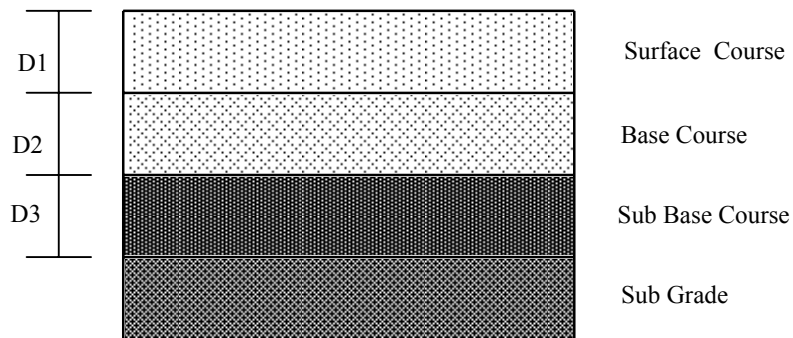
Menurut Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya 1983, Dirjen Bina Marga, harga lintas ekuivalen akhir dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

a_1, a_2, a_3 : Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D_1, D_2, D_3 : Tebal minimum masing-masing perkerasan



Gambar 2.20 Gambar struktur perkerasan jalan

2.11.4. 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.