

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Parameter Tanah

Tanah merupakan dasar sebuah konstruksi yang berperan sebagai pendukung pondasi pada sebuah konstruksi bangunan. Maka diperlukan tanah dengan kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata. Dengan fungsi utama tersebut diperlukan suatu rekayasa perkuatan terhadap kondisi tanah yang ada, sehingga dihasilkan suatu kondisi yang lebih baik secara kekuatan maupun struktural untuk meninjau stabilitasnya terhadap pembebanan.

Adapun data parameter tanah dapat didapatkan dari hasil pengujian di laboratorium maupun dari hasil interpolasi data-data tanah yang sudah ada. Hasil dari nilai parameter tanah inilah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisa selanjutnya.

2.1.1. Angka Pori

Angka pori menunjukkan seberapa besar ruang kosong yang disebut pori-pori tanah terhadap ruang padat. Pori-pori inilah yang nanti akan terisi air atau butiran tanah yang lebih kecil, sehingga siat dari tanah pun berubah. Nilai ini merupakan hubungan volume tanah yang umum dipakai, didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori (V_v) dan volume butiran padat (V_s) yang disebut angka pori (e).

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

2.1.2. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dan volume tanah total. Angka ini menunjukkan seberapa besar volume pori yang ada yang dapat diukur dalam prosentase.

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

dimana n = angka porositas

2.1.3. Kadar Air

Kadar air atau *water content* (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yan diselidiki. Pemeriksaan kadar air

dapat dilakukan dengan pengujian soil test di laboratorium, begitu juga untuk mengukur angka pori, porositas, derajat kejenuhan dan berat jenis tanah.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.1.4. Derajat Kejenuhan

Nilai ini merupakan perbandingan antara perbandingan volume air dengan volume pori atau dapat dirumuskan,

$$S = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana S = derajat kejenuhan yang biasa dinyatakan dalam persentase.

2.1.5. Berat Jenis Tanah Basah

Berat jenis tanah basah (*moist unit weight*) merupakan nilai dari perbandingan berat tanah per satuan volume.

$$\gamma_w = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \dots\dots\dots(2.5)$$

atau dapat dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air, dan volume total yang dirumuskan berupa :

$$\gamma_w = \frac{W_s(1+w)}{V} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.1.6. Berat Jenis Tanah Kering

Berat jenis tanah kering (*dry unit weight*) merupakan perbandingan berat kering per satuan volume tanah. Besaran yang didapat dari soil test ini diukur dalam keadaan kering, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}, \text{ atau } \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \dots\dots\dots(2.7)$$

yang dapat digunakan sebagai hubungan antara berat volume, berat volume kering dan kadar air.

2.2. Klasifikasi Tanah

Pengelompokan jenis tanah dapat dilakukan melalui pengukuran-pengukuran di laboratorium maupun di lapangan juga standar klasifikasi yang ada, dengan beberapa pengujian yang dapat dilaksanakan. Suatu pekerjaan tanah untuk suatu pembangunan sebuah bangunan konstruksi memerlukan nilai atau besaran pada tanah berupa gradasi

butiran, plastisitas, permeabilitas, dan kekuatan geser tanah. Besaran tersebut dilakukan dengan pengujian-pengujian sebagai berikut :

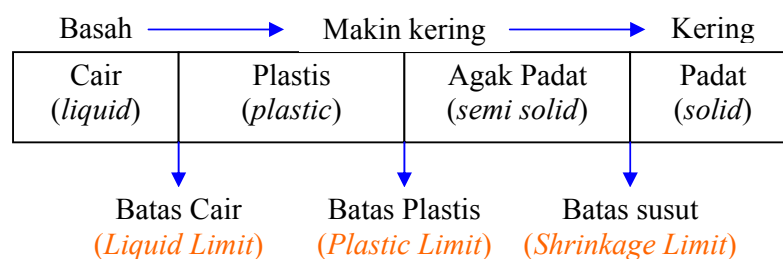
2.2.1. Analisa Ayakan

Tanah terdiri dari campuran berbagai butiran. Suatu tanah disebut bergradasi seragam (*uniformly graded*) apabila tersusun atas butir-butir yang seluruhnya ukurannya hamper sama. Tanah bergradasi baik/tidak seragam (*well graded*) apabila terdiri dari bermacam-macam butir. Analisa ini dapat digunakan melalui uji saringan yang dapat dihasilkan suatu bentuk *grain size distribution curve* untuk memberikan informasi gradasi tanah yang akan digunakan. Butiran dibedakan 3 fraksi :

- a. Pasir (*sand*) : (4,75 – 0,074) mm
 - b. Lanau (*silt*) : (0,074 – 0,005) mm
 - c. Lempung (*clay*) : < 0,005 mm
- Untuk butiran kasar (> 0,074 mm) digunakan analisa saringan (*sieve analysis*)
 - Untuk butiran halus (< 0,074 mm) digunakan analisa sedimentasi (*hydrometer analysis*)

2.2.2. Indeks Plastisitas Tanah

Sifat-sifat fisik tanah kohesif berbutir halus (lempung atau lanau) sangat dipengaruhi oleh kadar air tertentu yang disebut konsistensi, dalam hal ini tanah dapat berwujud cair, plastis, semi padat atau padat yang digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Wujud Fisik Tanah pada Konsistensi Tertentu

Tanah kohesif berbutir halus mempunyai kemampuan menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan, sifat inilah yang disebut plastisitas yang disebabkan oleh mineral lempung dalam tanah. Jenis-jenis lempung, tanah berlempung, dan lanau mempunyai sifat kohesif-plastis. Dengan demikian terdapat hubungan antara volume dengan kadar air yang dipengaruhi oleh konsistensi dan kejenuhan.

Batas antara fase-fase tanah seperti di atas disebut Batas-batas Konsistensi / Batas-batas *Atterberg*. Penentuan *Atterberg* dilakukan untuk fraksi tanah yang lolos saringan No.40. Batas-batas kadar air

- a. Batas cair (*Liquid Limit*) = LL adalah kadar air pada perbatasan dari fase tanah antara keadaan plastis – cair, atau kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan cair.
- b. Batas Plastis (*Plastic Limit*) = PL merupakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis.
- c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*) = SL adalah batas kadar air dimana tanah tidak kenyang air lagi, atau batas kadar air dimana volume-volume tanah tidak susut.

Indeks Plastisitas = *Plastisity Index* = PI adalah interval kadar air dimana tanah dalam keadaan plastis.

$$PI = WL - WP \dots\dots\dots(2.8)$$

Inkeds plastisitas menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Nilai ini menunjukkan bahwa dengna PI tinggi berarti tanah mengandung banyak butiran lempung, sedangkan untuk PI yang rendah (misal pada lanau) maka penurunan sedikit kadar air berakibat tanah menjadi kering. Berikut klasifikasi tanah dengan nilai plastisitas masing-masing jenis tanah pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Nilai Plastisitas pada Jenis Tanah

PI	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non plastis	Non kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Kohesif sedang
7 – 17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

2.2.3. Permeabilitas Tanah

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

$$k = \frac{e^3}{1 + e} \dots\dots\dots(2.9)$$

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

$$k_v = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_1}\right) + \left(\frac{H_2}{k_2}\right) + \dots + \left(\frac{H_n}{k_n}\right)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$k_h = \frac{1}{H}(kH_1 + kH_2 + \dots + kH_n) \dots\dots\dots(2.11)$$

Di mana :

H : Tebal lapisan

e : Angka Pori

k : Koefisien Permeabilitas

k_v : Koefisien Permeabilitas Arah Vertikal

k_h : Koefisien Permeabilitas Arah Horizontal

2.2.4. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (qc) yaitu sebagai berikut :

$$\text{Kohesi (c)} = qc/20$$

2.2.5. Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kepasiran	35° - 40°
Kerikil kerakal	35° - 40°
Pasir padat	35° - 40°
Pasir lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° - 30°
Lempung	20° - 25°

2.2.6. Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari Triaxial Test. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2. 3. Hubungan Antara E_s dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	E_s (Mpa)
Lempung sangat lunak	2 - 15
Lempung lunak	5 - 25
Lempung kaku	15 - 40
Lempung keras	50 - 100
Lempung berpasir kaku	25 - 250
Pasir lepas	10 - 153
Pasir padat	144 - 720
Pasir sangat padat	478 - 720
Pasir sangat lepas	15 - 60
Pasir berlanau lepas	10 - 25
Pasir berlanau padat	50 - 81
Pasir kerikilan lepas	50 - 150
Pasir kerikilan padat	100 - 200
Serpih	150 - 5000
Lanau lunak	2 - 20

Tabel 2. 4. Hubungan Antara Es dan q_c

Jenis Tanah	CPT (kg/cm^2)
Pasir terkonsolidasi normal	$Es = (2 - 4) q_c$
Pasir <i>over consolidation</i>	$Es = (6 - 30) q_c$
Pasir berlempung	$Es = (3 - 6) q_c$
Pasir berlanau	$Es = (1 - 2) q_c$
Lempung lunak	$Es = (3 - 8) q_c$

2.2.7. Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2. 5. Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i> (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1- 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

2.2.8. Sistem Klasifikasi Tanah

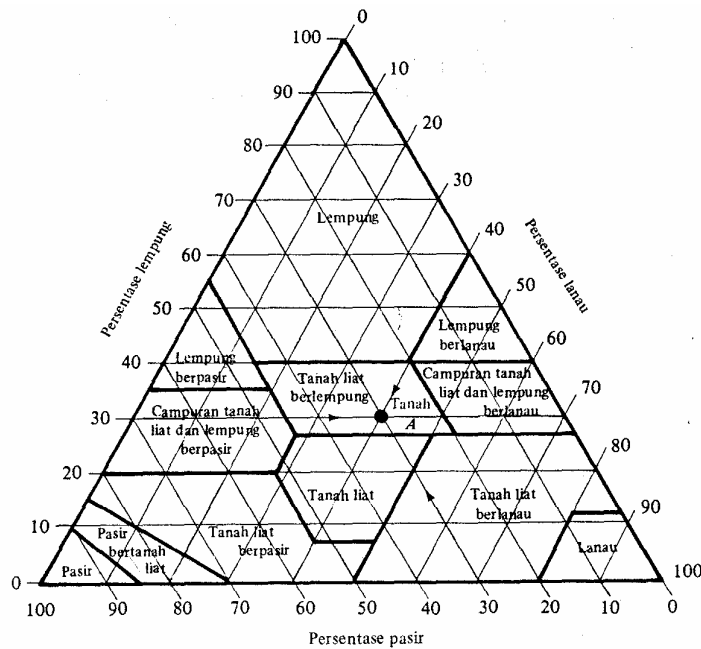
Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- Klasifikasi Tanah Sistem ASHTO
- Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

A. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

Pengaruh daripada ukuran tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk testur tanah. Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir : pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). Departernen Pertanian AS. telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau dan lempung yang digambar pada grafik segitiga Gambar 2.2.

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



Gambar 2. 2. Klasifikasi Berdasar Tekstur Tanah

B. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan , sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti pada Tabel 2.6. dan Tabel 2.7 di bawah ini.

Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dan kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan dengan persamaan dibawah.

Tabel 2. 6. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

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

Tabel 2. 7. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% au kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Klasifikasi kelompok				
Analisis Ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

$$\text{Indeks kelompok} = (F - 35) \{ 0,2 + 0,005 (LL - 40) \} + 0,01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dimana:

F = persen lewat ayakan 0,075 mm (No.200), dinyatakan dalam angka bulat.

LL = Batas cair

PI = Indeks Plastisitas

Indeks kelompok ini selalu dinyatakan dalam bilangan bulat apabila tidak negatif, bila negatif maka dinyatakan sebagai nol. Pada saat menghitung indeks kelompok bagi sub kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya PI saja dan rumus itu yang dipergunakan. Indeks kelompok dituliskan sebagai bagian dari klasifikasi AASHTO. Apabila indeks kelompok bagi tanah A-7-6 dan A-2-7 sama dengan 15, maka klasifikasinya ditulis dengan A-7-6(15). Makin tinggi nilai indeks kelompok makin kurang sesuai bahan tersebut sebagai lapisan dasar. Indeks kelompok menunjukkan nilai 0 itu berarti menunjukkan suatu material lapis dasar yang bagus, dan indeks kelompok 20 atau lebih tinggi menunjukkan suatu material lapis dasar yang sangat jelek.

C. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli teknik tanah dan pondasi adalah klasifikasi sistem UNIFIED. Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Casagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan ternagn yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Engineers*. Sistem ini telah dipakai dengan sedikit modifikasi oleh *U.S. Bureau of Reclamation* dan *U.S Corps of Engineers* dalam tahun 1952. Dan pada tahun 1969 *American Society for Testing and Material* telah menjadikan sistem ini sebagai prosedur standar guna mengklasifikasikan tanah untuk tujuan rekayasa.

Sistem UNIFIED membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar → adalah tanah yang lebih dan 50% bahanya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b. Tanah butir halus → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

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

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

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

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

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

Untuk lebih jelasnya klasifikasi sistem UNIFIED dapat dilihat pada bagan Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dibawah.

Tabel 2. 8. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200 ¹	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
			Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200
		CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	OL Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.		
	CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
	PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Tabel 2. 9. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus</p> <p>Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200</p> <p>Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol</p> <th colspan="2" data-bbox="511 310 1315 359">Kriteria klasifikasi</th>	Kriteria klasifikasi		
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.		
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$		
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3		
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW		
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$			

Bagan Plastisitas

Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar

Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

Persamaan garis A
 $PI = 0,73(LL - 20)$

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam
 ASTM Designation D-2488

2.2.9. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Data tekanan konus (q_c) dan hambatan pelekat (f_s) yang didapatkan dari hasil pengujian sondir dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2. 10. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir (kg/cm ²)		Klasifikasi
q_c	f_s	
6	0,15-0,40	Humus, Lempung sangat lunak
6-10	0,20	Pasir kelanauan lepas, Pasir sangat lepas
	0,20-0,60	Lempung lembek, Lempung kelanauan lembek
10-30	0,10	Kerikil lepas
	0,10-0,40	Pasir lepas
	0,40-0,80	Lempung atau Lempung kelanauan
	0,80-2,00	Lempung agak kenyal
30-60	1,50	Pasir kelanauan, Pasir agak padat
	1,00-3,00	Lempung atau Lempung kelanauan kenyal
60-150	1,00	Kerikil kepasiran lepas
	1,00-3,00	Pasir padat, Pasir kelanauan atau Lempung padat dan Kerikil kelempungan
	3,00	Lempung kekerikilan kenyal
150-300	1,00-2,00	Pasir padat, Pasir kekerikilan padat, Pasir kasar padat, Pasir kelanauan sangat padat

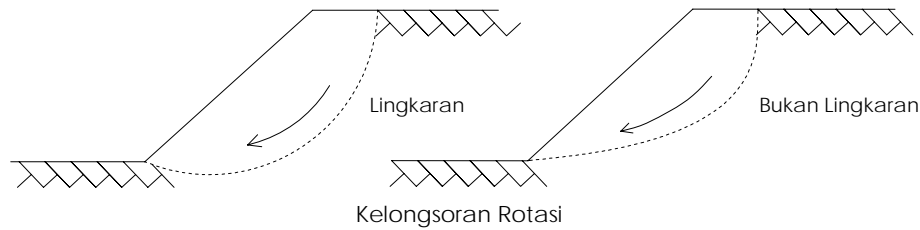
Sumber : Buku Teknik Sipil

2.3. Tipe Kelongsoran Tanah

Tanah yang longsor biasanya bergerak membentuk bidang tertentu yang biasanya disebut bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*). Ada beberapa tipe kelongsoran yaitu kelongsoran rotasi, kelongsoran translasi, dan kelongsoran gabungan.

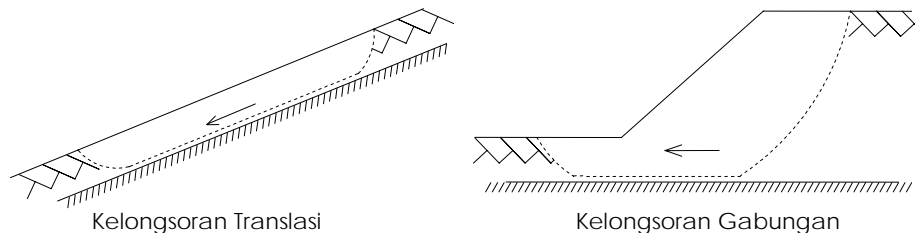
Pada kelongsoran rotasi (*Rotational Slip*), bentuk bidang gelincirnya sering mendekati busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran seperti terlihat pada Gambar 2.3 Pada umumnya kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen,

sedangkan kelongsoran tanah yang tidak membentuk lingkaran biasanya memiliki tanah yang tidak homogen.



Gambar 2. 3. Kelongsoran Rotasi

KelongSORan translasi (*translational Slip*) dan kelongsoran gabungan (*Compound Slip*) terjadi bila bentuk bidang gelincirnya dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan, terlihat pada Gambar 2.4 Kelongsoran translasi cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan terletak pada kedalaman yang relative dangkal dibawah permukaan lereng, dimana bidang gelincirnya akan berbentuk bidang yang hampir sejajar dengan kemiringan lereng. Kelongsoran gabungan biasanya terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih besar dan bidang gelincirnya terdiri dari bagian-bagian lengkung dan bidang.



Gambar 2. 4. Kelongsoran Translasi dan Gabungan

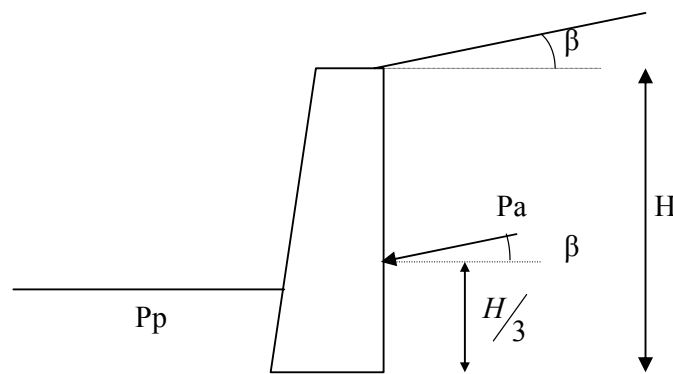
2.4. Tekanan Lateral Tanah

Suatu struktur seperti dinding penahan tanah pasti menerima tekanan lateral yang dapat dikelompokkan kedalam 3 keadaan yaitu keadaan aktif, keadaan diam dan keadaan pasif. Tekanan tanah diam adalah tekanan lateral yang ada dalam deposit tanah yang tidak disebabkan oleh adanya dorongan lateral. Tekanan lateral dalam keadaan pasif dan aktif adalah kondisi-kondisi yang terbatas dan merupakan keadaan keseimbangan plastis. Sebagian keseimbangan plastis terjadi apabila semua bagian dari massa tanah ada pada ambang keruntuhan. Keadaan tegangan aktif terjadi apabila deposit tanah bergerak sedemikian sehingga tanah cenderung meregang horizontal sebagai contoh, sebuah dinding

penahan bergerak menjauhi tanah belakangnya. Keadaan tegangan tanah pasif terjadi apabila gerakan adalah sedemikian sehingga tanah cenderung memampat. Gerakan yang diperlukan untuk terjadinya keadaan pasif jauh lebih besar daripada untuk keadaan aktif.

Besar dan distribusi tekanan lateral merupakan fungsi dari berbagai variabel kondisi-kondisi batas, termasuk gerakan struktur, jenis dan sifat-sifat bahan tanah belakang, gesekan pada peralihan tanah dan struktur, adanya air tanah, metode penimbunan material tanah belakang dan kondisi pondasi bagi struktur.

Rankine (1857) meninjau tanah dalam keadaan keseimbangan plastis (*Plastic Equilibrium*), dengan dasar asumsi seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Tekanan Lateral Tanah

Gaya-gaya yang ditinjau dianggap melalui bidang vertikal dan sudut tanah isian dengan horizontal sama dengan sudut tekanan aktif dengan normalnya. Berdasarkan gambar didapatkan persamaan untuk tekanan tanah aktif dan pasif sebagai berikut :

$$K_a = \cos \beta \times \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$K_p = \cos \beta \times \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Apabila nilai β = 0, sehingga didapat cos β = 1, maka :

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \dots \dots \dots (2.16)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

P_a = tekanan tanah aktif

P_p = tekanan tanah pasif

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

H = tinggi dinding penahan

γ = berat isi tanah

ϕ = sudut geser dalam tanah

2.5. Pondasi Tiang Sebagai Konstruksi Perkuatan Lereng

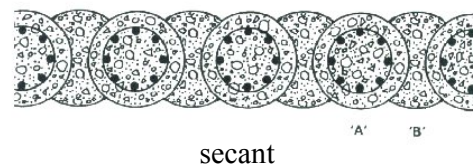
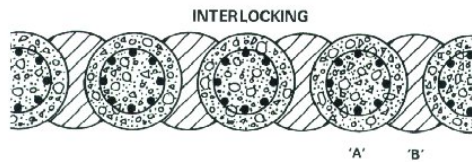
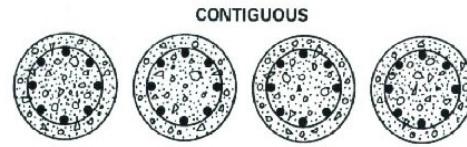
Pondasi Tiang yang terdiri dari beberapa jenis konstruksi, sering digunakan sebagai salah satu metode dinding penahan tanah sementara atau permanen yang efisien. *Bored Pile* dengan diameter kecil maupun yang besar dapat digunakan sebagai konstruksi dinding penahan tanah yang ekonomis. Sedangkan pemakaian tiang pancang untuk konstruksi yang sama, lebih mahal bila dibandingkan dengan *Bored Pile*, akan tetapi kontrol terhadap kekuatan strukturnya dapat lebih baik.

Metode ini sangat cocok dan memenuhi syarat untuk digunakan pada *basement* yang dalam, struktur bawah tanah serta pada konstruksi jalan pada lereng perbukitan. Konstruksi pondasi tiang ini dapat membantu untuk mencegah kelongsoran dan mengontrol pergerakan tanah pada lereng akibat adanya tekanan lateral tanah serta penambahan beban lalu lintas yang terjadi di atasnya.

Ada tiga jenis dinding penahan dari *Bored Pile* yang biasa dipakai (Gambar 2.6) pada konstruksi bangunan, yaitu :

- a) *Contiguous Wall*
- b) *Interlocking Wall*
- c) *Secant Wall*

Pilihan dari masing-masing tipe tersebut di atas tergantung dari jenis tanah (granular atau kohesif, lunak atau keras), profil muka air tanah, tinggi tanah maksimum yang ditahan, waktu konstruksi yang tersedia, biaya dan umur rencana.



Gambar 2. 6. Dinding Penahan Tanah *Bored Pile*

2.6. Stabilitas Lereng

Bentuk topografi permukaan bumi yang bervariasi hanya dimungkinkan karena kuat geser dari tanah atau batuan melampaui tegangan geser oleh beban gravitasi atau beban lainnya. Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng dapat secara umum diklasifikasikan sebagai :

1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan.

Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan meliputi naiknya berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal seperti bangunan, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian, dan bekerjanya beban guncangan.

2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan.

Kehilangan kekuatan dapat terjadi dengan adanya adsorpsi air, kenaikan tekanan pori, beban guncangan atau beban berulang, pengaruh pembekuan dan pencairan, hilangnya sedimentasi material, proses pelapukan, hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitif. Hadirnya air adalah faktor dari kebanyakan keruntuhan lereng, karena hadirnya air menyebabkan naiknya tegangan maupun turunnya kekuatan.

Kecepatan gerakan longsor pada keruntuhan lereng dapat bervariasi dari beberapa millimeter per jam sampai longsor yang sangat cepat dimana gerakan yang besar berlangsung dalam beberapa detik. Lereng-lereng yang dapat dianalisis yaitu lereng-lereng alam, lereng-lereng yang dibentuk oleh galian bahan alami, dan lereng buatan.

Metode yang paling umum dari analisis stabilitas lereng didasarkan atas batas keseimbangan. Pada analisis jenis ini faktor aman mengenai stabilitas dari lereng diestimasi dengan menguji kondisi keseimbangan pada saat terhitung keruntuhan tepat mulai terjadi sepanjang suatu bidang runtuh yang semula ditetapkan, dan kemudian membandingkan antara kekuatan geser potensial yang diperlukan untuk mempertahankan keseimbangan terhadap kekuatan geser yang ada pada tanah, akan memberikan faktor keamanan rata-rata sepanjang bidang gelincir, yaitu :

$$F_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_d} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

σ_f = kekuatan geser rata-rata dari tanah.

σ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor.

F_s = angka keamanan terhadap kekuatan tanah.

Metode kedua tentang analisis lereng didasarkan atas penggunaan teori elastisitas dan plastisitas untuk menentukan tegangan-tegangan geser pada tempat-tempat kritis didalam suatu lereng untuk perbandingan dengan kuat geser.

Untuk mendapatkan suatu lereng yang stabil ada beberapa cara yang dapat digunakan antara lain :

1. Memperkecil gaya dan momen penggerak

Dengan beberapa cara yaitu gaya dan momen penggerak dapat diperkecil hanya dengan mengubah bentuk lereng yang bersangkutan, membuat lereng lebih datar sehingga mengurangi sudut kemiringan, serta memperkecil ketinggian lereng.

2. Memperbesar gaya pelawan atau momen pelawan

Ada beberapa cara diantaranya yaitu memakai *Counter Weight* yaitu tanah timbunan pada lereng, mengurangi tegangan air pori didalam lereng, membuat saluran-saluran (*Drainage*) secara teratur pada lereng untuk mengurangi tegangan air pori pada tanah sehingga kekuatan geser pada tanah akan naik dan gaya melawan kelongsoran akan naik pula, cara mekanis dengan memasang tiang bor atau membuat dinding penahan tanah, dengan cara injeksi yaitu dengan memberikan bahan kimia atau semen dipompakan kedalam lereng dengan bantuan pipa.

2.7. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Mengingat lereng terbentuk dari material yang sangat beragam dan banyaknya faktor ketidak-pastian, maka dalam mendisain suatu penanggulangan selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan menaikkan faktor keamanannya.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis kemandapan lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga yaitu : tinggi, menengah dan rendah. Dalam analisis harus dipertimbangkan kondisi beban yang menyangkut gempa dan tanpa gempa (normal).

Parameter yang digunakan menyangkut hasil pengujian dengan harga batas atau sisa dengan mempertimbangkan ketelitiannya. Tabel 2.11 memperlihatkan faktor keamanan terendah berdasar hal-hal tersebut diatas.

Tabel 2. 11. Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng

Resiko	Kondisi Beban	Parameter Kekuatan Geser			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
	Tanpa Gempa	1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Dengan Gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tanpa Gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan Gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tanpa Gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum

Keterangan :

- ✚ Resiko tinggi bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting.
- ✚ Resiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak begitu penting.
- ✚ Resiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah).
- ✚ Kekuatan geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai apabila massa tanah yang potensial longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas (perlapisan, rekahan, sesar dan sebagainya) dan belum pernah mengalami gerakan.
- ✚ Kekuatan geser residual dipakai apabila massa tanah yang potensial bergerak mempunyai bidang diskontinuitas dan atau pernah bergerak (walaupun tidak mempunyai bidang diskontinuitas)

2.8. Prinsip Dasar Kestabilan Lereng

2.8.1. Beban Akibat Tekanan Tanah

Beban yang bekerja pada tanah yang diakibatkan oleh tanah timbunan tidak hanya ditentukan oleh sifat mekanik dalam tanah, sudut geser dalam dan atau kohesi,

tetapi juga ditentukan oleh perilaku deformasi dari struktur. Beberapa pendekatan penurunan rumus digunakan dengan menggunakan klasifikasi nonkohesif dan kohesif.

Tanah Nonkohesif

Dengan mengasumsikan kondisi pembebanan di atas dan dinding cukup fleksibel, gaya tekan S_a diperhitungkan menurut persamaan :

$$S_a = \frac{H^2 \gamma t K_a}{2} \dots\dots\dots(2.19)$$

- Di mana :
- H : Tinggi dinding
- γ : Berat jenis dinding
- K_a : Koefisien tahanan tanah aktif

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\beta + \delta) \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\phi + \varepsilon)}} \right]^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

Gaya ini terletak pada ketinggian H/3 dari dasar pondasi.

Tanah kohesif

$$S_a = \frac{H^2 \gamma K_a}{2} - 2cH \sqrt{K_a} \dots\dots\dots(2.21)$$

Di mana besar K_a sama dengan persamaan K_a untuk tanah nonkohesif.

2.8.2. Beban Akibat Beban Merata

Selain beban akibat tekanan tanah ada kemungkinan beban tambahan dari adanya beban merata di atas timbunan, di mana pada lokasi kajian beban yang bekerja adalah beban lalu lintas.

$$S_a = P_0 H K_a \dots\dots\dots(2.22)$$

Di mana P_0 adalah beban merata yang bekerja di atas timbunan.

Gaya ini bekerja pada ketinggian H/2 dari dasar pondasi. Dengan mengasumsikan gaya merata P_0 bisa diekuivalenkan dengan tinggi tanah akuivalen $H_s = \frac{P_0}{\gamma}$.

Persamaan di atas menjadi :

$$S_a = \frac{H^2 \gamma K_a}{2} \left(1 + \frac{2H_\Delta}{H} \right) \dots\dots\dots(2.23)$$

Gaya ini bekerja pada ketinggian :

$$d = \frac{H}{3} \left(\frac{H + 3H_s}{H + 2H_s} \right) \dots\dots\dots(2.24)$$

2.8.3. Analisa Stabilitas

Stabilitas yang harus dianalisis adalah :

A. Stabilitas Sliding

Ditunjukkan oleh faktor keamanan yang merupakan perbandingan dari gaya yang menahan *sliding* (Fs) dan gaya yang menyebabkan *sliding* (Fi).

$$\eta_s = \frac{F_s}{F_i} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$F_s = fN + cB + Sp \cos \delta + Sr \dots\dots\dots(2.26)$$

Di mana :

- f : Koefisien gesek diambil tan ϕ
- N : Gaya normal = berat bronjong + berat tanah di atas kaki pondasi + berat tekanan ekuivalen akibat adanya gaya Po di atas kaki pondasi + akibat gaya aktif – akibat gaya pasif
- c : Kohesi tanah dasar.
- B : Lebar pondasi.
- Sp : Gaya pasif tanah.

Tanah Nonkohesif

$$S_p = \frac{H^2 \gamma K_p}{2} \dots\dots\dots(2.27)$$

Di mana :

- H : Keadalaman pondasi
- γ : Berat jenis tanah
- K_p : Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\beta + \delta) \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\phi + \varepsilon)}} \right]^2} \dots\dots\dots(2.28)$$

Tanah Kohesif

$$S_p = \frac{H^2 \gamma K_p}{2} + 2cH \sqrt{K_p} \dots\dots\dots(2.29)$$

Di mana besar K_p sama dengan persamaan K_p untuk tanah nonkohesif.

Gaya yang menyebabkan *sliding* (F_i) diakibatkan oleh tekanan tanah aktif dari tanah, termasuk beban merata di atas timbunan.

$$F_i = S_a \cos \delta \dots\dots\dots(2.30)$$

Kebanyakan ilmuwan dan praktisi menganjurkan bahwa besarnya angka keamanan untuk *sliding* adalah 1.5.

B. Stabilitas Guling

Analisa ini dilakukan dengan mengasumsikan sebagai pondasi *rigid*. Angka keamanan merupakan perbandingan dari total momen yang menahan guling dan total momen yang menyebabkan guling.

$$\eta_r = \frac{M_s}{M_i} = \frac{S_a I_a}{W_{top} I_p + S_p I_p} \dots\dots\dots(2.31)$$

- Di mana :
- I_a : Lereng momen dari gaya aktif = Jarak dari tumit ke titik gaya aktif bekerja
 - I_w : Lengan momen dari gaya aktif = Jarak dari tumit luar pondasi ke titik berat total bekerja.
 - I_p : Lengan momen dari gaya aktif = Jarak dari tumit luar pondasi ke tempat gaya pasif bekerja.

Besar angka keamanan untuk guling diambil 1.5.

C. Stabilitas Overall

Analisis stabilitas *overall* untuk mencari angka keamanan terkecil yang mungkin terjadi pada dinding.

$$\eta_i = \frac{S_p}{S} \approx \min \dots\dots\dots(2.32)$$

Di mana :

Sp : Tahanan pasif tanah

S : Gaya yang mengakibatkan *sliding* pada permukaan.

2.9. Beban Lalu Lintas

Pada program PLAXIS pembebanan diberikan berdasarkan pada beban lalu lintas. Beban tersebut berupa berat sendiri tanah setinggi 0,5 meter untuk standar Amerika dan 0,6 meter untuk standar Inggris, sehingga beban *traffic* yang diberikan adalah :

a. Standar Amerika

$$\text{Beban lalu lintas} = 0,5 \times \gamma_{\text{timb}}$$

b. Standar Inggris

$$\text{Beban lalu lintas} = 0,6 \times \gamma_{\text{timb}}$$

2.10. Penyelidikan Tanah Dengan Geolistrik

Penyelidikan tanah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu penyelidikan di permukaan dan di bawah permukaan. Penyelidikan di permukaan dibedakan menjadi 2 (dua) cara, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Penyelidikan secara tidak langsung dilakukan melalui pendugaan geofisika, yang terdiri dari 2 (dua) cara, yaitu pendugaan geolistrik dan geoseismik. Dari semua metode geofisika permukaan (geoseismik, gravitasi dan *magnetic*), geolistrik merupakan metode yang paling populer dalam studi air tanah karena peralatannya relatif mudah dibawa, pengoperasiannya mudah, serta waktu pengukurannya cepat dan murah dengan akurasi yang cepat dan dapat dipertanggungjawabkan. Metode ini sering dipakai dalam perencanaan pengeboran sumur. Ada beberapa yang dapat mengganggu keakuratan data geolistrik pada pengukuran di lapangan, yaitu adanya pipa besi yang tertimbun dalam tanah, kabel, pagar besi dan adanya listrik tegangan tinggi di lokasi pengukuran. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tahanan jenis adalah sebagai berikut :

1. Jenis material
Besarnya tahanan jenis tergantung pada daya hantar listrik setiap material. Semakin mudah menghantarkan arus listrik, semakin kecil tahanan jenisnya.
2. Kandungan air dalam batuan
Semakin banyak kandungan air dalam batuan, maka semakin kecil tahanan jenisnya, karena air merupakan media penghantar arus listrik.
3. Porositas batuan
Semakin besar porositas batuan, berarti semakin banyak pori dalam batuan, maka semakin kecil tahanan jenisnya, karena semakin banyak air yang dapat dikandung dalam batuan.
4. Sifat kimiawi air
Air asin lebih mudah menghantarkan listrik daripada air tawar karena terdapat ion-ion (Na^+ dan Cl^-) yang mampu menghantarkan arus listrik, sehingga tahanan jenisnya semakin kecil.

Prinsip utama geolistrik sebagai alat pendeteksi perlapisan batuan adalah bahwa tiap perlapisan batuan memiliki kisaran tahanan jenis yang berbeda bila dialiri arus listrik yang sering disebut tahanan jenis (*resistivity*). Berikut ini merupakan pendugaan lapisan tanah atau jenis batuan dengan korelasi terhadap tahanan jenis yang diperlihatkan dalam Tabel 2.12 dibawah ini.

Tabel 2. 12. Tahanan Jenis Kelistrikan Material

Macam Material	Tahanan Jenis (ohm-meter)
Tanah lempungan, basah-lembek	1,5 - 3
Lempung kelanauan & tanah lanau basah-lembek	3 - 15
Tanah lanauan, pasiran	15 - 150
Batuan dasar berkekar terisi tanah lembab	150 - 300
Pasir kerikil bercampur lanau	300
Pasir kerikil terdapat lapisan lanau	300 - 2400
Batuan dasar berkekar terisi tanah kering	300 - 2400
Endapan pasir dan kerakalan berbutir kasar dan kering	2400
Batuan dasar tak lapuk	2400
Air tawar	20-60
Air laut	0,18 - 0,24

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum

Selain oleh jenis material, harga tahanan jenis pada kebanyakan batuan dipengaruhi oleh kesarangan (*porosity*), kandungan air dan kualitasnya yang terdapat dalam pori-pori batuan tersebut. Menurut Zohdy (1980), *resistivity* pada endapan lepas yang jenuh air asin berupa lempung atau pasir besarnya $<1 \Omega\text{m}$; batuan basalt, pasir dan kerikil mencapai ribuan Ωm . Namun demikian, pada akuifer yang tersusun oleh material lepas ini, harga *resistivity* dapat semakin menurun hingga $2 \Omega\text{m}$, karena kandungan air tanah yang banyak, sehingga sifatnya sangat menghantarkan arus listrik. Material lempung dan *shale* halus mempunyai *resistivity* 1-10 Ωm .

2.10.1. Peralatan Geolistrik

Secara garis besar perangkat keras dan fungsi peralatan geolistrik adalah sebagai berikut ini :

- Generator : Sebagai sumber listrik bagi *rectifier*, berupa tegangan arus bolak balik (alternating current, AC).
- *Rectifier* : Merupakan alat pengubah tegangan AC menjadi *direction current* (DC), yang dapat diatur besarnya 0-1000 volt DC.
- Multimeter : Merupakan alat digital yang terdiri atas 2 bagian, yaitu Volt-meter (mengukur besaran tegangan, milivolt, mV) dan Ampere-meter (mengukur besaran arus, miliampere, mA).
- Compresator : Untuk menstabilkan tegangan tanah spontan (*zero level of spontaneous voltage soil*) dengan menyetel tegangan tanah spontan pada posisi nol setiap kali hendak melakukan pengukuran. Tujuannya untuk mendapatkan ketelitian hasil pembacaan alat sampai milivolt.
- Kabel baja : Media penghantar arus (2 roll kabel besar) dan tegangan dari patok elektroda ke alat (2 buah roll kabel kecil).
- Patok elektroda : Terdiri atas 2 buah patok besi untuk penghantar arus dan 2 buah patok tembaga untuk penghantar tegangan.

Pada prinsipnya, peralatan *resistivity* dirancang untuk mengukur arus dan tegangan dari batuan di bawah permukaan kemudian dihitung harga tahanan jenis semunya. Disebut tahanan jenis semu karena metode ini mengasumsikan lapisan bumi bersifat homogen dan isotropik.

2.10.2. Metode Resistivity Pada Geolistrik

Metode *resistivity* merupakan metode yang menggunakan arus listrik untuk mengetahui sifat fisik tahanan dari batuan di bawah permukaan. Arus listrik dari suatu sumber arus dialirkan ke bawah permukaan bumi dan diamati besarnya arus dan tegangan yang ditimbulkan sesuai dengan konduktivitas batuanya. Selanjutnya tahanan jenis semu dihitung dengan Hukum Ohm melalui rumus :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(2.33)$$

dengan ρ_a : Tahanan jenis semu batuan (Ω)

ΔV : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

Metode resistivity biasanya digunakan untuk mengetahui variasi *resistivity* secara vertikal (*Vertical Electrical Sounding*) dan horizontal (*Electrical Mapping*). Metode ini dapat digunakan untuk menduga jebakan air tanah, penyebaran mineral dan struktur patahan pada kondisi geologi tertentu. Prakteknya, metode *resistivity* mempunyai konfigurasi elektroda tertentu yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi topografi lapangan. Misalnya konfigurasi *Schlumberger* lebih tepat digunakan untuk melihat variasi resistivity vertikal disamping kondisi topografi yang relatif agak datar. Konfigurasi *Wenner* dan *dipole-dipole* biasanya digunakan untuk mengetahui variasi *resistivity* semu secara lateral.

2.10.3. Prinsip Metode Resistivity

Apabila sebuah silinder konduktor dengan panjang L dan luas penampang A dialiri arus listrik (I), tahanan (R) maka hokum Ohm :

$$V = I \times R, \text{ dan } R = \rho L / A,$$

Sehingga dari kedua persamaan tersebut diperoleh :

$$V = I \times \rho L / A, \text{ dan } \rho = A/L \times V/I$$

Jadi, ρ berbanding lurus dengan V/I.

Analogi tersebut dapat digunakan apabila sejumlah arus listrik dialirkan ke dalam bumi dimana batuan dibawah permukaan bertindak selaku konduktor. Prinsip rumus diatas permukaan bertindak selaku konduktor. Perbedaannya hanya terletak pada konduktivitas batuan . Jika pada silinder konduktor yang terbuat dari logam baja

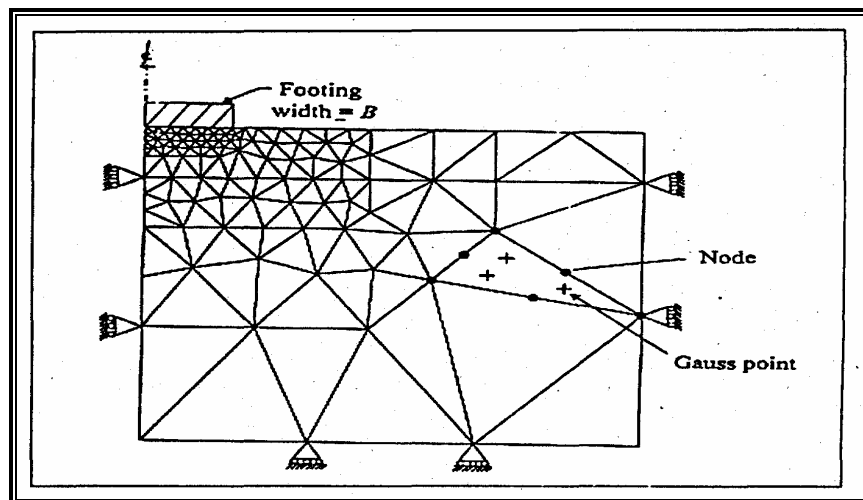
mempunyai daya hantar listrik sama ke segala arah, maka batuan sifat tersebut belum tentu terjadi. Karena itu, dalam geolistrik dibuat asumsi bahwa :

1. Bumi (batuan di bawahnya) bersifat homogen.
2. Bumi (batuan di bawahnya) bersifat isotropik (daya hantar listrik batuan ke segala arah adalah sama).

Kedua asumsi tersebut menyebabkan pengamatan jenis lapangan bersifat tahanan jenis semu. Untuk mengetahui tahanan jenis sebenarnya dilakukan pendekatan teoritis dengan kurva standar atau dengan program komputer *resistivity*. Selain itu dikenal juga ekivalensi. Penjelasan dari fenomena tersebut adalah : apabila suatu lapisan tipis yang konduktif berada diantara dua lapisan yang resistif dan relatif tebal maka arus listrik akan terdistribusi secara horizontal pada lapisan tipis tersebut

2.11. Metode Elemen Hingga

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.



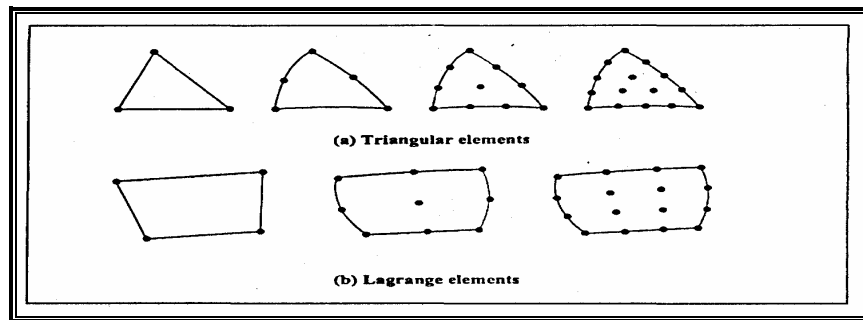
Gambar 2. 7. Contoh Jaring-jaring dari Elemen Hingga

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.

2.11.1. Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

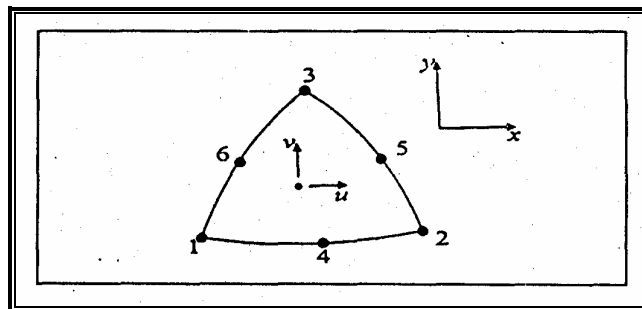
Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen *triangular* atau *quadrilateral* (Gambar 2.8). Bentuk umum dari elemen-elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan *Iso-Parametric* di mana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan *displacement* pada elemen.



Gambar 2. 8. Elemen-elemen *Triangular* dan *Lagrange*

2.11.2. 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. 9. Elemen dan *Six-noded Triangular*

Anggap sebuah elemen seperti pada Gambar 2.9. 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.