

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam - macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan.

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (loose) yang terletak di atas batu dasar (bedrock) (Hardiyatmo, 1992). Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, 1992). Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida (Wesley, 1977).

2.1.1. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah ilmu yang berhubungan dengan kategorisasi tanah berdasarkan karakteristik yang saling membedakan satu sama lain jenis tanahnya. Klasifikasi tanah merupakan sebuah subjek yang dinamis yang mempelajari struktur dari sistem klasifikasi tanah, definisi dari kelas-kelas yang digunakan untuk penggolongan tanah, kriteria yang menentukan penggolongan tanah,

hingga penerapannya di lapangan. Tanah sendiri dapat dipandang sebagai material maupun sumber daya.

Pada umumnya Insinyur geoteknik mengklasifikasikan tanah berdasarkan karakteristik teniknya dan hubungannya dalam membangun pondasi dan bangunan di atasnya. Sistem klasifikasi modern ini didesain untuk dapat memudahkan perkiraan sifat dan perilaku tanah berdasarkan observasi dan survey di lapangan. Klasifikasi tanah pada bidang keteknikan yang paling sering di gunakan adalah klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS). Klasifikasi USCS memiliki tiga kelompok utama, yaitu tanah dengan ukuran partikel kasar (mengandung pasir dan kerikil), partikel halus (tanah lempung dan liat), dan tanah dengan kadar organik tinggi (semisal tanah gambut). Sistem tanah untuk keteknikan lainnya yaitu *AASHTO Soil Classification System and the Modified Burnister*.

Metode klasifikasi tanah dengan menggunakan USCS (Unified Soil Classification System) merupakan metode klasifikasi tanah yang cukup banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Klasifikasi ini diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan direvisi pada tahun 1952 oleh The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation.

Pada prinsipnya menurut metode ini, ada 2 pembagian jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah digolongkan dalam butiran kasar jika lebih dari 50% tertahan di atas saringan no. 200. Sementara itu tanah digolongkan berbutir halus jika lebih dari 50% lolos dari saringan no. 200. Selanjutnya klasifikasi yang lebih detail lagi dapat menggunakan table USCS berikut ini. Beberapa symbol berikut ini sering digunakan dalam klasifikasi metode USCS.

a. jenis tanah:

G : gravel (kerikil)

S : sand (pasir)

M : silt (lanau)

C : clay (lempung)

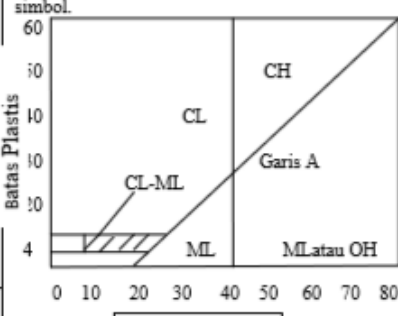
b. jenis gradasi:

W : well graded (bergradasi baik), P : poorly graded (bergradasi buruk)

c. konsistensi plastitas:

H : high plasticity (plastisitas tinggi), L : low plasticity (plastisitas rendah)

Tabel 2.1 Unified Soil Classification Systemm (Bowles, 1991)

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	GP		
		Kerikil dengan Butiran halus	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	GM	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah sirdaridial gramplastisitas, maka dipakaidobel simbol
			Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	GC	
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	SW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	SP	
		Pasir dengan butiran halus	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	SM	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah sirdaridial gramplastisitas, maka dipakaidobel simbol
			Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	SC	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	ML	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batas klasifikasinya menggunakan dua simbol. 	
		Lempungan organik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	CL		
		Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	OL		
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	Lanau organik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	MH		
		Lempungan organik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)	CH		
		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	OH		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber :HaryChristady, 1996.

Sistem klasifikasi AASHTO dibuat dengan mempertimbangkan kriteria sebagai berikut:

1. Ukuran butir tanah

- a. Kerikil : fraksi melewati saringan 75-mm (3-inch) dan tertahan pada saringan no 10 (2-mm)
- b. Pasir : fraksi melewati saringan no 10 (2 mm) dan tertahan pada saringan no 200 (0,075 mm)
- c. Lumpur dan lanau : fraksi melewati saringan no 200

2. Plastisitas

Tanah disebut tanah berlumpur (silty) ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas 10 atau kurang. Sedangkan tanah liat (clay) adalah ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas 11 atau lebih.

3. Jika berbatu dan bongkah (ukuran lebih besar dari 75 mm).

Klasifikasi tanah sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Dengan beberapa kali perubahan, sekarang telah digunakan dan dianjurkan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and granular type Roads of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (*ASTM* menggunakan kode D-3282 dan *AASHTO* dengan metode M 145). Klasifikasi AASHTO yang sekarang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.2. Dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam 7 (tujuh) kelompok besar, yaitu : A-1 sampai dengan A-7. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah-tanah berbutir kasar dimana 35 % atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan No. 200. Tanah-tanah dimana 35 % atau lebih yang melalui ayakan No. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung.

Table 5.1 Classification of Highway Subgrade Materials

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.		51 min.				
No. 40	30 max.	50 max.					
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)						
Group classification	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6 ^b			
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.			
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.			
Plasticity index	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.			
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils				
General subgrade rating	Fair to poor						
*For A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
^b For A-7-6, $PI > LL - 30$							

WWW.ILMUTEKNIKSIPIL.COM

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO (Das, 1995)

2.2. Tanah Timbunan

2.2.1. Timbunan Biasa

a. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari bahan galian tanah atau bahan galian batu yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan sebagai bahan yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen seperti yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi.

b. Bahan yang dipilih sebaiknya tidak termasuk tanah yang berplastisitas tinggi, yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut AASHTO M145 atau

sebagai CH menurut "Unified atau Casagrande Soil Classification System". Bila penggunaan tanah yang berplastisitas tinggi tidak dapat dihindarkan, bahan tersebut harus digunakan hanya pada bagian dasar dari timbunan atau pada penimbunan kembali yang tidak memerlukan daya dukung atau kekuatan geser yang tinggi. Tanah plastis seperti itu sama sekali tidak boleh digunakan pada 30 cm lapisan langsung di bawah bagian dasar perkerasan atau bahu Jalan atau tanah dasar bahu Jalan. Sebagai tambahan, timbunan untuk lapisan ini bila diuji dengan SNI 03-1744-1989, harus memiliki CBR setelah perendaman 4 hari bila dipadatkan 100 % kepadatan kering maksimum (MDD) seperti yang ditentukan oleh SNI 03-1742-1989.

c. Tanah sangat expansive yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25, atau derajat pengembangan yang diklasifikasikan oleh AASHTO T258 sebagai "very high" atau "extra high", tidak boleh digunakan sebagai bahan timbunan. Nilai aktif adalah perbandingan antara Indeks Plastisitas / PI - (SNI 03-1966-1989) dan persentase kadar lempung (SNI 03-3422-1994).

2.2.2 Timbunan Pilihan

a. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai "Timbunan Pilihan" bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud dimana timbunan pilihan telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh Direksi Pekerjaan. Seluruh timbunan lain yang digunakan harus dipandang sebagai timbunan biasa (atau drainase porous bila ditentukan atau disetujui sesuai dengan Seksi 2.4 dari Spesifikasi).

b. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau batu yang memenuhi semua ketentuan di atas untuk timbunan biasa dan sebagai tambahan harus memiliki sifat-sifat tertentu yang tergantung dari maksud penggunaannya, seperti diperintahkan atau disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Dalam segala hal, seluruh timbunan pilihan harus, bila diuji sesuai dengan SNI 03-1744-1989, memiliki CBR paling

sedikit 10.% setelah 4 hari perendaman bila dipadatkan sampai 100.% kepadatan kering maksimum sesuai dengan SNI 03-1742-1989.

c. Bahan timbunan pilihan yang akan digunakan bilamana pemadatan dalam keadaan jenuh atau banjir yang tidak dapat dihindari, haruslah pasir atau kerikil atau bahan berbutir bersih lainnya dengan Indeks Plastisitas maksimum 6 %.

d. Bahan timbunan pilihan yang digunakan pada lereng atau pekerjaan stabilisasi timbunan atau pada situasi lainnya yang memerlukan kuat geser yang cukup, bilamana dilaksanakan dengan pemadatan kering normal, maka timbunan pilihan dapat berupa timbunan batu atau kerikil lempungan bergradasi baik atau lempung pasiran atau lempung berplastisitas rendah. Jenis bahan yang dipilih, dan disetujui oleh Direksi Pekerjaan akan tergantung pada kecuraman dari lereng yang akan dibangun atau ditimbun, atau pada tekanan yang akan dipikul.

2.3. Metode Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah adalah kegiatan untuk mengetahui daya dukung, karakteristik dan kondisi geologi, seperti mengetahui susunan lapisan tanah/sifat tanah, kekuatan lapisan tanah, kepadatan dan korosivitas tanah.

Penyelidikan tanah harus dilakukan untuk mendapatkan informasi kondisi bawah tanah yang diperlukan untuk:

- a. Mengetahui karakteristik tanah timbunan (klasifikasi tanah)
- b. Menyediakan informasi untuk merancang timbunan
- c. Stabilitas area penggalian dan kondisi deformasi
- d. Pengendalian perpindahan tanah yang dapat diakibatkan dari pengaruh aliran air dan perilaku tanah.

Penyelidikan air tanah yang dilakukan di lapangan yaitu Sondir (DCP), Uji Penetrasi Standar (SPT), Pemboran Teknik dan lain-lain. Dari sample tanah yang diambil di lapangan untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik tanah maka dilakukan pengujian laboratorium.

2.3.1 Penyelidikan Lapangan

1. Pemboran Mesin (*Machine Drilling*)

Penyelidikan tanah di lapangan bertujuan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi geologi maupun kondisi lapisan tanah dan air tanah secara keseluruhan dari suatu lokasi penilitan. Dalam pemboran mesin dilakukan pengambilan contoh tanah, baik tanah terganggu (tanah tidak asli) maupun tanah tidak terganggu (tanah asli) untuk keperluan pengujian laboratorium.

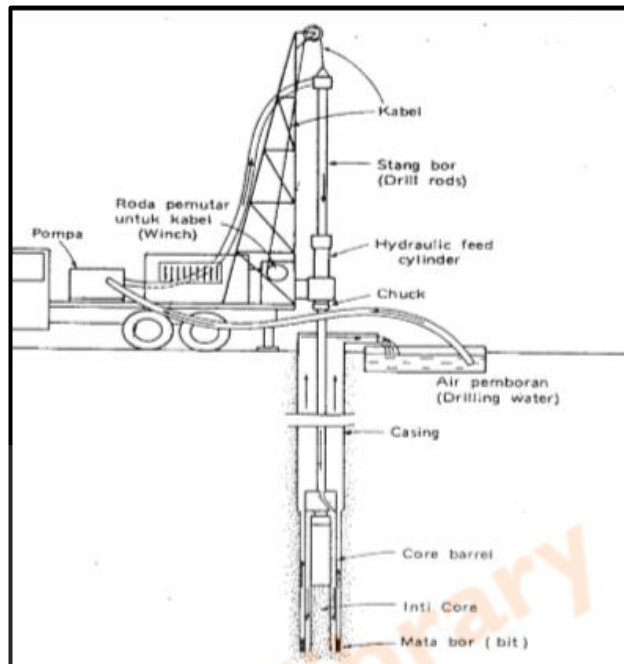
Pemboran mesin merupakan pengujian lapangan yang paling baik dan akurat untuk segala jenis tanah dan diperlukan untuk test-test yang lain, sedangkan pemboran mesin juga memiliki kerugian seperti mahal, berat (perlu alat angkat yang memadai), waktu pelaksanaan lama dan kurang cocok untuk bangunan sederhana. Setiap pelaksanaan test boring selalu diikuti dengan uji penetrasi baku (SPT).

Menurut L.D Wesley (1977), untuk bor yang dalam umumnya digunakan *rotary drilling machine*, dengan kedalaman dapat mencapai 100 meter. Motor penggerak alat bor pada umumnya terdiri dari bagian-bagian berikut:

- a. Alat dapat memutar stang-stang bor dengan kecepatan yang bisa di atur dan memberikan gaya kebawah.
- b. Pompa, untuk memompakan air pencuci (*wash water*) ke bawah melalui bagian dalam stang bor.
- c. Roda pemutar (*winches*) dan *derrick* atau tripod untuk menarik dan menurunkan stang-stang dan alat-alat bor kedalam lubang.

Tabung penginti (*Core barrel*) terdiri dari dua tabung yaitu, tabung dalam dan tabung luar. Tabung dalam merupakan tabung penginti (tidak berputar), sedangkan tabung luar berputar memutar pahat yang melakukan pemboran. Air dipompakan ke bawah melalui bagian dalam dari stang bor dan mengalir terus ke bawah diantara kedua tabung tersebut lewat pahat dan kembali ke atas melalui bagian luar tabung. Fungsi air, sebagai pelumas dan pendingin mata bor (*bit*) dan juga berfungsi untuk

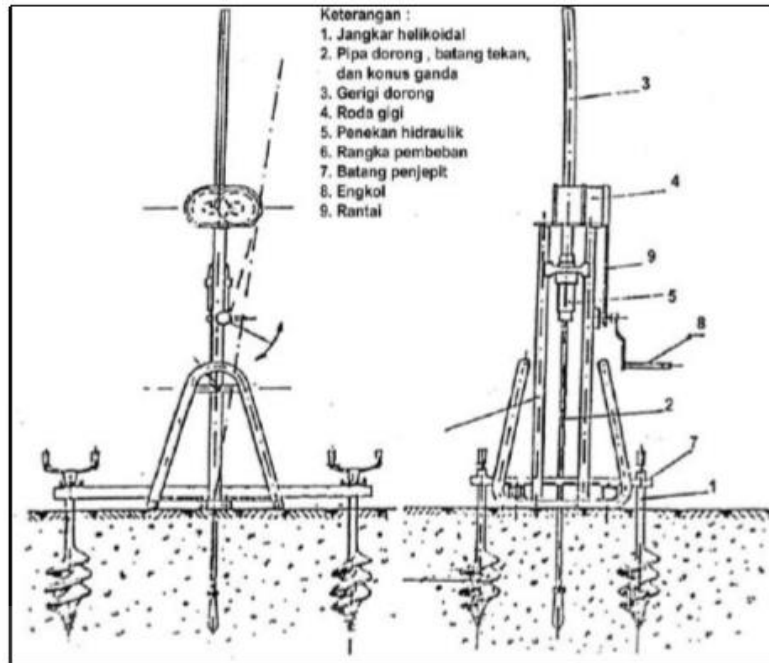
mengangkut potongan-potongan tanah ke atas permukaan tanah. Rangkaian alat *rotary core drilling* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Rotary Core Drill* (Sumber: L.D. Wesley, 1977)

Uji sondir adalah sebuah metode yang digunakan untuk menentukan property tanah (*geotechnical engineering*) dan menggambarkan grafik yang menunjukkan kekerasan dan kelekatan tanah (*stratigraphy*). Metode ini merupakan metode yang paling diterima dalam metode penyelidikan tanah (*soil investigation*) di seluruh dunia.

Metode pengujian terdiri dari penekanan ujung kerucut ke dalam tanah dengan kecepatan yang dikontrol 1,5 hingga 2,5 cm per detik. Ada dua macam ujung penetrometer yang bisa dipakai yaitu "*standard type*" (mantel konus) dan "*friction sleeve*" atau "*adhesion jacket type*" (bikonus). Hasil dari pengujian CPT ini adalah stratigrafi lapisan-lapisan tanah di bawah permukaan. Ujung kerucut yang digunakan pada umumnya memiliki luas 10 atau 15 cm² atau berdiameter 3,6 cm dan 4,4 cm. cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir terdapat pada SNI-2827-2008. Rangkaian alat sondir dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Rangkaian Alat Penetrasi Konus

(Sumber: SNI 2827-2008)

Tabel 2.3 Hubungan Antar Konsistensi dengan Tekanan Konus

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	<i>Undrain Cohesion</i> (T/m ²)
Very soft	< 2,5	< 1,25
Soft	2,5 – 5,0	1,25 – 2,5
Medium soft	5,0 – 10,0	2,5 – 5,0
Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
Very stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
Hard	> 40,0	> 20

(Sumber: Terzaghi et al, 1996)

2. Uji SPT (*Standard Penetration Test*)

SPT (*Standard penetration test*) adalah salah satu jenis uji tanah yang sering digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah selain CPT. SPT dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan

teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm (1 ft) vertikal. dilakukan dengan memukul sebuah tabung standar kedalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm, Yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah pukulan yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. Sewaktu melakukan pengeboran inti, jika kedalaman pengeboran telah mencapai lapisan tanah yang akan diuji, mata bor dilepas dan diganti dengan alat yang disebut tabung belah standar (Standar Split barrel sampler). Setelah tabung ini dipasang, bersama-sama dengan pipa bor, alat diturunkan sampai ujungnya menumpu lapisan tanah dasar, dan kemudian dipukul dari atas.

Dapat digunakan untuk mendapatkan parameter tanah secara kualitatif melalui korelasi empiris Keunggulan SPT Profil kekuatan tanah tidak merupakan Dalam sistem beban jatuh ini, digunakan palu dengan beban 140 lb (63,5 kg) yang dijatuhkan secara berulang dengan ketinggian 30 in (0,76 m). Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 6 in (150 mm) untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan /0,3 m atau pukulan per foot(ft)). Uji SPT dilakukan pada setiap 2m pengeboran dan dihentikan pada saat uji SPT N diatas 60 N berturut turut sebanyak 3 kali.

Standart Penetration Test (SPT) dilakukan untuk mengestimasi nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji. Untuk melakukan pengujian SPT dibutuhkan sebuah alat utama yang disebut Standard Split Barrel Sampler atau tabung belah standar. Alat ini dimasukkan ke dalam Bore Hole setelah dibor terlebih dahulu dengan alat bor. Alat ini diturunkan bersama-sama pipa bor dan diturunkan hingga ujungnya menumpu ke tanah dasar. Setelah menumpu alat ini kemudian dipukul (dengan alat pemukul yang beratnya 63,5 kg) dari atas.

Pada pemukulan pertama alat ini dipukul hingga sedalam 15 cm. Kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm dan dilanjutkan sedalam 45. Pukulan kedua dan ketiga inilah muncul nilai "N" yang merupakan manifestasi jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk membuat tabung standar mencapai kedalaman 45 cm.

Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m).

Teknik pemboran yang baik merupakan salah satu prasyarat untuk mendapatkan hasil uji SPT yang baik. Teknik pemboran yang umum digunakan adalah teknik bor bilas (wash boring), teknik bor inti (core drilling) dan bor ulir (auger boring). Peralatan yang digunakan pada masing-masing teknik pemboran harus mampu menghasilkan lubang bor yang bersih untuk memastikan bahwa uji SPT dilakukan pada tanah yang relatif tidak terganggu. Bila digunakan teknik bor bilas maka mata bor yang digunakan harus mempunyai jalan air melalui samping mata bor dan bukan melalui ujung mata bor.

Apa bila air yang dipompakan melalui batang pancang ke dasar lubang keluar dari ujung mata bor maka aliran air dari ujung mata bor tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pelunakan/gangguan pada dasar lubang bor, yang pada gilirannya akan menghasilkan nilai N yang lebih rendah dari pada yang seharusnya.

Peralatan

- 1) Mesin bor yang dilengkapi dengan peralatannya;
- 2) Mesin pompa yang dilengkapi dengan peralatannya;
- 3) Split barrel sampler

- 4) Palu dengan berat 63,5 kg dengan toleransi meleset $\pm 1\%$.
- 5) Alat penahan (tripod);
- 6) Rol meter;
- 7) Alat penyipat datar;
- 8) Kerekan;
- 10) Kunci-kunci pipa;
- 11) Tali yang cukup kuat untuk menarik palu;
- 12) Perlengkapan lain.

Prosedur Pengujian

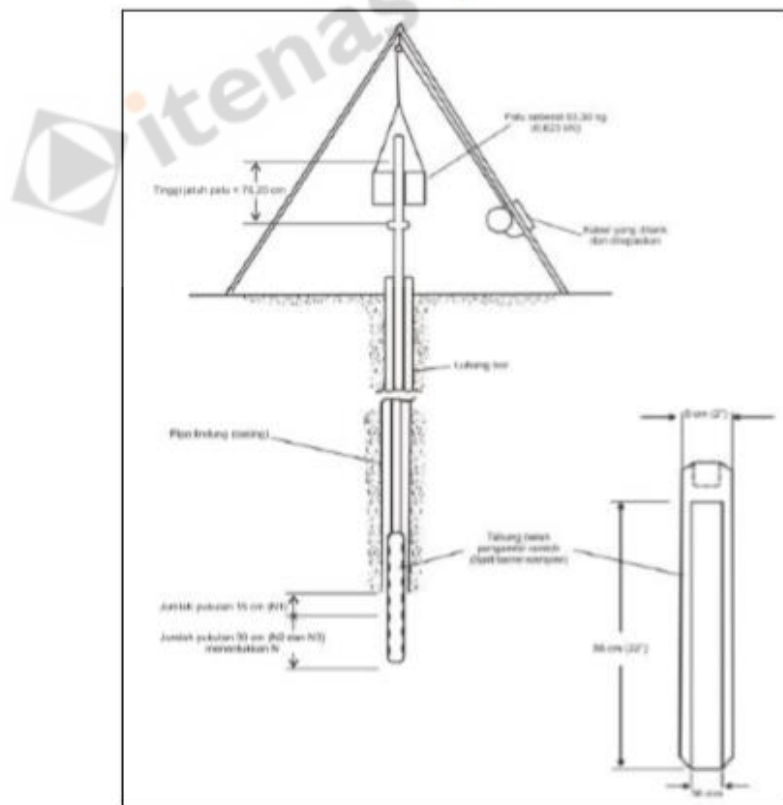
- 1) Lakukan persiapan pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut:
- 2) Pasang blok penahan (knocking block) pada pipa bor;
- 3) Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan;
- 4) Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas- bekas pengeboran;
- 5) Pasang split barrel sampler pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan;
- 6) Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan;
- 7) Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.

Prosedur pengujian

- 1) Lakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut:
- 2) Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan;
- 3) Tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm);
- 4) Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan
- 5) Ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm;

- 6) Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama;
- 7) Ulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga;
- 8) Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm:
 - 15 cm pertama dicatat N1
 - 15 cm ke-dua dicatat N2
 - 15 cm ke-tiga dicatat N3
 Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N2 + N3$. Nilai N1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran;
- 9) Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter;
- 10) Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.

Rangkaian alat SPT dapat dilihat pada Gambar 2.3. Adapun hubungan antara N-SPT dengan konsistensi tanah dapat dilihat pada Tabel 2.4.



Gambar 2. 3 Penetrasi dengan SPT

(Sumber: L.D. Wesley, 1977)

Tabel 2.4 Hubungan Nilai N-SPT dan Konsistensi Tanah

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

(Sumber: Terzaghi & Peck, 1967, Mayerhof, 1965)

2.4. Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng mempunyai banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan, banyaknya faktor tersebut yang membuat perhitungan tidak mudah. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain.

Analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor potensial, dimana stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan apakah tanah mampu menahan tekanan terhadap keruntuhan sesuai prosedur dari Bowles (1984), Dengan ketentuan:

$FK > 1.25$: Lereng dalam kondisi aman.

$FK < 1.07$: Lereng dalam kondisi tidak aman.

$1.07 < FK < 1.25$: Lereng dalam kondisi kritis.

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah dengan mencari nilai angka aman (FK) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja.

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

$$= \frac{R \cdot c \cdot L_{AC}}{W \cdot y} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

FK = Faktor Keamanan

W = Berat tanah yang akan longsor (kN)

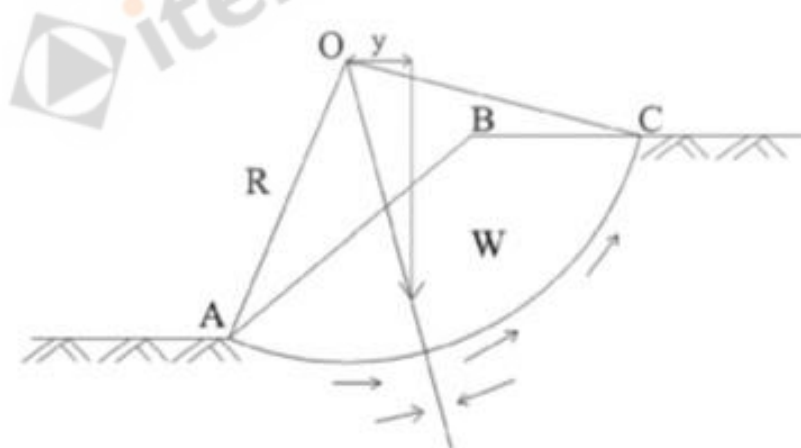
LAC = Panjang Lengkungan (m)

c = Kohesi (kN/m²)

R = Jari-jari bidang longsor yang ditinjau (m)

y = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

Angka keamanan lereng dapat diperoleh dengan melakukan “*Trial Error*” terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai F minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Analisis Stabilitas Lereng

2.5. Deformasi

Deformasi merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan

manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dapat terjadi jika suatu benda atau materi dikenai gaya (Force). Deformasi terbagi menjadi dua jenis yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh pemberian beban, dimana apabila beban dihilangkan maka bentuk dan ukuran akan kembali ke bentuk semula atau deformasi yang terjadi akan hilang. Daerah deformasi elastis berlaku hukum Hooke yaitu regangan akan sebanding dengan tegangan sesuai dengan modulus elastisitas. Sedangkan Deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang merupakan kelanjutan dari deformasi elastis yang bersifat permanen meskipun beban dihilangkan. Menurut Wayne C Teng (1992), penurunan izin maksimum untuk bangunan konvensional dan institutional sebesar 2,54 cm.

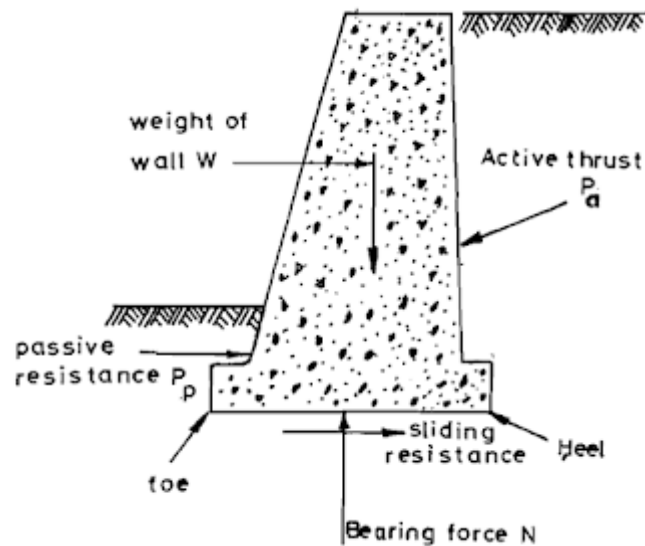
2.6. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dijamin oleh lereng tanah itu sendiri dan juga untuk menahan gaya tekanan aktif lateral suatu tanah maupun air. Pada prinsipnya dinding penahan tanah menerima gaya-gaya berupa momen guling, gaya berat sendiri, gaya lateral tanah/air aktif – pasif, gaya gelincir dan gaya angkat (*uplift*). Dinding penahan tanah harus dirancang sedemikian rupa agar bisa menahan gaya-gaya tersebut.

2.6.1. Jenis – Jenis Dinding Penahan Tanah

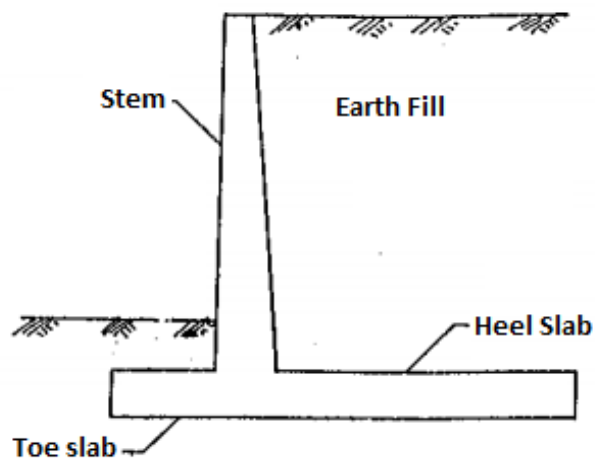
Adapun jenis-jenis konstruksi dinding penahan yang umumnya digunakan dalam praktek rekayasa konstruksi sipil antara lain:

1. Dinding Penahan Tanah Massa (*Gravity Retaining Wall*), jenis dinding penahan tanah ini banyak digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral pada timbunan tanah maupun pada tebing-tebing yang landai sampai terjal. Prinsip kerja dari dinding penahan ini cukup unik yaitu mengandalkan bobot massa dari badan konstruksinya dengan demikian kestabilan dari struktur dapat lebih stabil dikarenakan bobotnya yang berat dalam menahan tekanan tanah lateral. Material penyusun yang digunakan pada jenis konstruksi ini biasanya berupa material pasangan batu ataupun beton bertulang (*Reinforced Concrete*).



Gambar 2. 5 Dinding penahan tanah massa

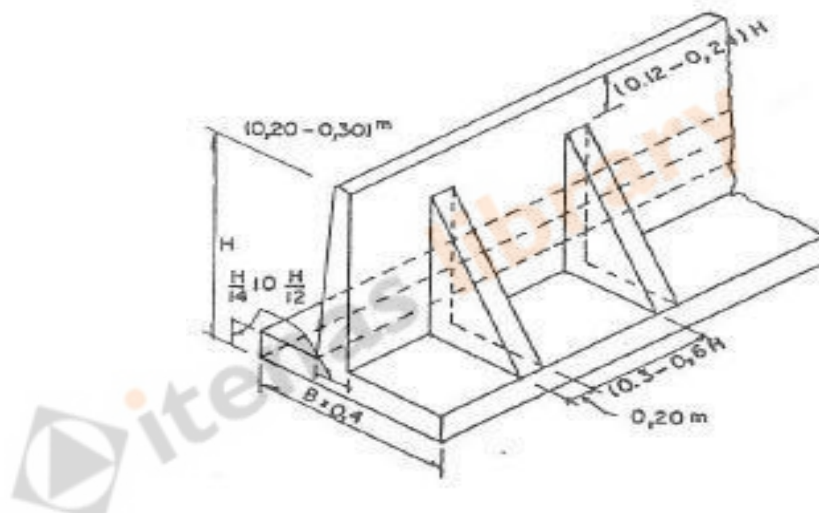
2. Dinding penahan Tanah Tipe Jepit (*Cantilever Retaining Wall*), Jenis konstruksi dinding penahan tanah tipe ini umumnya digunakan untuk menahan tekanan tanah pada timbunan maupun pada tebing. Prinsip kerja dari jenis dinding penahan jenis ini yaitu dengan mengandalkan daya jepit/*fixed* pada dasar tubuh strukturnya. Oleh karena itu ciri khas dari dinding penahan jenis kantilever yaitu berupa model telapak/*spread* memanjang pada dasar strukturnya yang bersifat jepit untuk menjaga kestabilan dari struktur penahan. Umumnya konstruksi dinding penahan tipe jepit dibuat dari pasangan batu maupun dengan konstruksi beton bertulang.



Gambar 2. 6 Dinding penahan tanah tipe jepit

3. Dinding Penahan Tanah Tipe *Counterfort*

Dinding ini terdiri dari dinding beton bertulang tipis yang di bagian dalam dinding pada jarak tertentu didukung oleh pelat/dinding vertikal yang disebut *counterfort* (dinding penguat). Ruang di atas pelat pondasi diisi dengan tanah urug. Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu disatukan. *Counterfort* berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interfal jarak tertentu. Dinding *counterfort* akan lebih ekonomis digunakan bila ketinggian dinding lebih dari 7 meter (Tanjung, 2016).

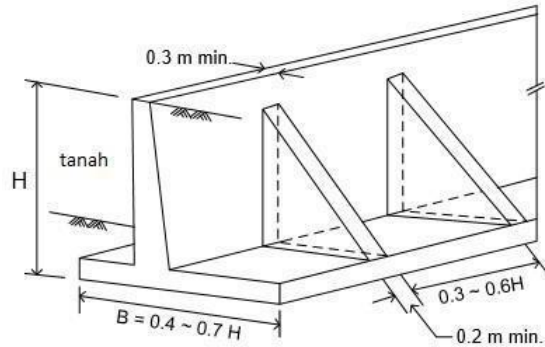


Gambar 2. 7 Dinding penahan tanah tipe *counterfort*. (Sumber: Hardiyatmo, 2016)

4. Dinding Penahan Tanah Tipe Buttress

Dinding *buttress* hampir sama dengan dinding *counterfort*, hanya bedanya bagian *counterfort* diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur *counterfort* berfungsi memikul tegangan tekan. Pada dinding ini, bagian tumit 10 lebih pendek dari pada bagian kaki. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit tapak. Dinding ini dibangun pada sisi dinding di bawah tertekan untuk memperkecil gaya irisan yang bekerja pada dinding memanjang dan pelat lantai. Dinding ini lebih ekonomis untuk ketinggian lebih dari 7 meter. Kelemahan dari

dinding ini adalah penahannya yang lebih sulit daripada jenis lainnya dan pemadatan dengan cara *rolling* pada tanah di bagian belakang adalah jauh lebih sulit (Tanjung, 2016).



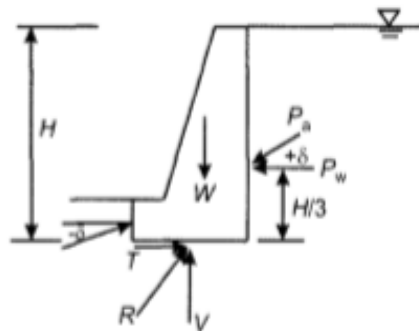
Gambar 2. 8 Dinding penahan tanah tipe *buttres*
(Sumber: Maulana, 2019)

2.6.2. Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Tekanan tanah dan gaya – gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah sangat mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah itu sendiri. Adapun gaya – gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah tersebut yaitu meliputi :

- 1) Berat sendiri (W)
- 2) Gaya tekanan tanah aktif total tanah urug (P_a)
- 3) Gaya tekanan tanah pasif total di depan dinding (P_p)
- 4) Tekanan air pori di dalam tanah (P_w)
- 5) Reaksi tanah dasar (R)

Gaya – gaya yang bekerja tersebut terlihat seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Gaya – Gaya yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, H. C, 2011)

Analisis stabilitas dinding penahan tanah Menurut Hardiyatmo (2011) ditinjau terhadap hal – hal sebagai berikut ini:

- 1) Harus mencukupi faktor aman terhadap penggeseran dan penggulingan.
- 2) Tekanan yang terjadi pada tanah dasar fondasi harus tidak boleh melebihi daya dukung tanah yang diijinkan.
- 3) Syarat stabilitas lereng harus dipenuhi secara keseluruhan.
- 4) Jika tanah dasar mudah mampat, penurunan tak seragam yang terjadi tidak boleh berlebihan.

Terdapat beberapa hal dalam stabilitas pada dinding tanah yang akan menyebabkan keruntuhan, antara lain :

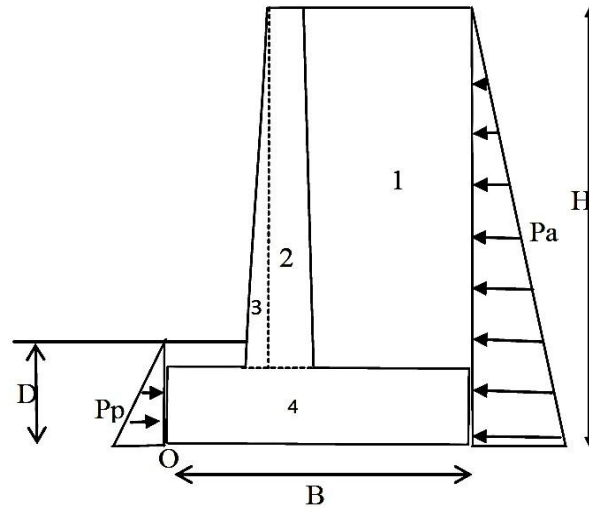
- 1) Momen Guling
- 2) Gaya Geser
- 3) Keruntuhan daya dukung

Maka dalam merencanakan dinding penahan tanah, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menetapkan dimensi dinding penahan untuk menjamin stabilitas dinding penahan. Dinding penahan harus stabil terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah.

2.4.2.1 Stabilitas terhadap Guling

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urugan dibelakang dinding penahan tanah, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pondasi. Momen guling ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas plat pondasi.

Pada **Gambar 2.10** dibawah ini, diperlihatkan diagram tekanan tanah pada dinding penahan tanah yang akan ditinjau, dalam hal ini adalah dinding penahan tanah tipe kantilever (asumsi tekanan tanah dihitung dengan rumus Rankine).



Gambar 2. 10 Diagram Tekanan Tanah (Tipe Kantilever)
(Sumber: Bowles, J. E, 2011)

Safety Factor terhadap guling didefinisikan sebagai (ditinjau dari titik kaki/titik O pada Gambar 2.13 diatas) :

$$FS_{\text{guling}} = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

$\sum M_R$ = Jumlah momen yang menahan guling terhadap titik O.

$\sum M_o$ = Jumlah momen dari gaya – gaya yang menyebabkan momen pada titik O

Momen yang menghasilkan guling :

$$\sum M_o = Ph \left(\frac{H}{3} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana tekanan tanah horizontal $Ph = Pa$, tekanan tanah aktif (apabila permukaan tanah datar). Momen yang menahan guling diperlihatkan seperti Tabel 2.5 dibawah ini.

Bagian	Luas	Berat per unit panjang	Jarak momen dari titik O	Momen terhadap titik O
1	A1	$W1 = \gamma_a * A1$	X1	M1
2	A2	$W1 = \gamma_b * A2$	X2	M2
3	A3	$W1 = \gamma_b * A3$	X3	M3
4	A4	$W1 = \gamma_b * A4$	X4	M4
		ΣV		ΣMR

Tabel 2.5 Prosedur Perhitungan Momen – Momen Dinding Penahan Tanah

Catatan: γ_a = berat vol. Tanah

γ_b = berat vol. Beton

Jadi, faktor keamanannya adalah:

$$FS_{\text{guling}} = \frac{M1 + M2 + M3 + M4}{Ph \left(\frac{H}{3}\right)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Faktor aman terhadap guling, bergantung pada jenis tanah, yaitu:

$\geq 1,5$ untuk tanah dasar berbutir

≥ 2 untuk tanah dasar kohesif.

2.4.2.2 Stabilitas terhadap Geser

Gaya – gaya geser yang terjadi pada *retaining wall* akan ditahan oleh :

- Tekanan tanah pasif didepan *retaining wall*
- Gesekan antara tanah dan dasar pondasi

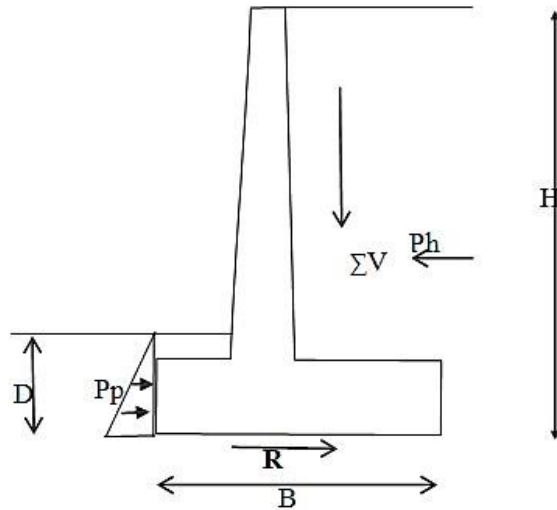
Faktor keamanan terhadap stabilitas geser dinyatakan dengan rumus :

$$FS_{\text{geser}} = \frac{\Sigma FR}{\Sigma Fd} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

ΣF_R = jumlah gaya – gaya yang menahan gaya – gaya horizontal

ΣF_d = jumlah gaya – gaya yang mendorong



Gambar 2.11 Kontrol Terhadap Geser Pada Dasar Dinding.

(Sumber: Bowles, J. E, 2011)

Dari **Gambar 2.11** diatas, kekuatan geser tanah pada bagian dasar dinding dirumuskan:

$$S = \sigma \tan \delta + c_a \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

δ = sudut geser antara tanah dengan dasar dinding

c_a = adhesi antara tanah dengan dasar dinding

Gaya yang menahan pada bagian dasar dinding :

$$R = s (\text{luas penampang alas}) = s (B \times 1) = B \sigma \tan \delta + B c_a$$

$$B \sigma = \text{jumlah gaya – gaya vertical} = \Sigma V \text{ (table 2.4)}$$

$$\text{Jadi, } R = (\Sigma V) \tan \delta + B c_a$$

Pada Gambar 2.14 menunjukkan bahwa P_p juga merupakan gaya menahan horizontal, sehingga :

$$\Sigma F_R = (\Sigma V) \tan \delta + B c_a + P_p \text{ dan}$$

$$\Sigma F_d = P_h$$

$$FS_{\text{geser}} = \frac{(\sum V) \tan \delta + Bc_a + P_p}{P_h} \dots\dots\dots(2.18)$$

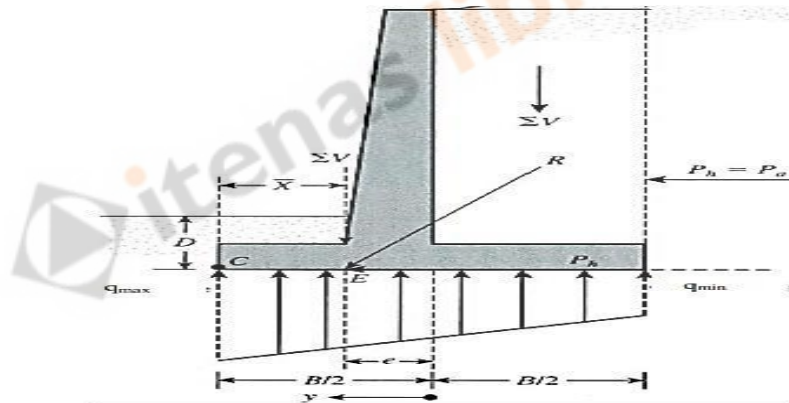
Batas minimum yang diizinkan untuk factor keamanan geser adalah 1,5. Pada banyak kasus, nilai P_p digunakan untuk menghitung factor keamanan terhadap geser, dimana sudut geser (ϕ) dan kohesi (c) juga direduksi $k_1 = 1/2 \phi - 2/3 \phi$ dan $k_2 = 1/2 c - 2/3 c$.

$\delta = k_1 \phi$ & $c_a = k_2 c$, sehingga:

$$FS_{\text{geser}} = \frac{(\sum V) \tan k_1 \phi + Bk_2 c + P_p}{P_h} \dots\dots\dots(2.19)$$

2.6.2 Stabilitas Daya Dukung Tanah

Stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung yaitu diperoleh dari gaya – gaya yang menahan dikurangi oleh gaya – gaya yang meruntuhkan. Gaya – gaya tersebut terdapat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2. 12 Kontrol Terhadap Keruntuhan Daya Dukung

(Sumber: Bowles, J. E, 2011)

Momen pada titik C:

$$M_{\text{net}} = \sum M_R - \sum M_O \quad (\sum M_R \text{ dan } \sum M_O \text{ diperoleh dari stabilitas guling})$$

Jika resultan pada dasar dinding berada pada titik E, maka:

$$CE = X = \frac{M_{\text{net}}}{\sum V} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Eksenrisitas dapat diperoleh dari:

$$e = \frac{B}{2} - CE \dots\dots\dots(2.21)$$

atau,

$$e = \frac{B}{2} \frac{\sum MR - \sum MO}{\sum V} \dots\dots\dots(2.22)$$

- Distribusi tekanan dasar pada *retaining wall* dapat dihitung dari persamaan:

$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{net} y}{I} \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana:

$$M_{net} = (\sum V) e$$

$$I = \left(\frac{1}{12}\right) (1) (B^3)$$

- Untuk nilai maksimum dan minimum, $y = \frac{B}{2}$:

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots(2.24)$$

dan,

$$q_{min} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots(2.25)$$

- Kapasitas dukung tanah dihitung dengan menggunakan persamaan hansen :

$$q_u = c * N_c * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qd} * F_{qi} + 0,5 * \gamma * B' * N_\gamma * F_{\gamma d} * F_{\gamma i} \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana:

$$q = \gamma \times D$$

$$B' = B - 2e$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \left(\frac{D}{B'} \right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \Phi \left(1 \sin \Phi \right)^2 \left(\frac{D}{B'} \right)$$

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

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi}{90} \right)^2$$

$$\Psi = \tan^{-1} \times \left(\frac{\Sigma Pa}{\Sigma V} \right)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi}{\Phi 2} \right)^2$$

Catatan: Nilai N_c , N_q dan N_γ didapatkan dari korelasi Φ_2 berdasarkan daya dukung Meyerhof (1963) yang diperlihatkan seperti Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Daya Dukung Tanah Meyerhof

Meyerhof			
Φ (derajat)	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0,00
1	5,38	1,09	0,07
2	5,63	1,20	0,15
3	5,90	1,31	0,24
4	6,19	1,43	0,34
5	6,49	1,57	0,45
6	6,81	1,72	0,57
7	7,16	1,88	0,71
8	7,53	2,06	0,86
9	7,92	2,25	1,03
10	8,35	2,47	1,22
11	8,80	2,71	1,44
12	9,28	2,97	1,69

13	9,81	3,26	1,97
14	10,37	3,59	2,29
15	10,98	3,94	2,65

- Faktor keamanan terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{qu}{q_{max}} \geq 3 \dots\dots\dots(2.27)$$

Apabila stabilitas dinding penahan tanah masih kurang dari faktor kewanaman yang disyaratkan, maka perlu dilakukan perkuatan salah satunya dengan pemasangan fondasi bored pile. Dalam memperhitungkan daya dukung fondasi tiang tunggal, ada beberapa metode perhitungan yang digunakan, diantaranya yaitu metode statik dimana fondasi masih dalam tahap perencanaan. Menurut Djuwadi (2010:7) dalam Buku Bahan Ajar Rekayasa Fondasi, akurasi hasil perhitungan daya dukung menggunakan metode statik ini masih sangat kasar karena tergantung dari tingkat akurasi data tanah yang sering kali berbeda dengan kondisi aktual. Formula metode ini sangat tergantung dari data tanah yang tersedia.

Tanah yang berada di sekitar lokasi pembangunan dinding penahan tanah pada Gedung Pabrik Farmasi tersebut umumnya adalah kohesif. Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif adalah jumlah tahanan gesek tiang dan tahanan ujungnya. Berikut adalah persamaan kapasitas dukung tiang pancang.

➤ Tahanan Ujung Ultimit

$$Q_b = A_b(c_b \times N_c + p_b) \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana:

Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)

A_b = Luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

c_b = Kohesi pada kondisi tak terdrainase (*undrained*) tanah yang terletak di bawah ujung tiang (kN/m^2)

N_c = Faktor kapasitas dukung (umumnya diambil = 9)

p_b = Tekanan overburden ujung bawah tiang (kN/m^2)

➤ Tahanan Gesek Dinding Ultimit

$$Q_s = c_d \times A_s \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana:

Q_s = Tahanan gesek dinding ultimit (kN)

c_d = Adhesi antara dinding tiang dan tanah disekitarnya ($c_d = a_d \times c_u$) (kN/m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

Estimasi adhesi ultimit (a_d) untuk tiang tiang yang dipancang, yang dipancang dalam tanah lempung menurut Tomlinson (1963), ditunjukkan dalam Tabel 2.7 berikut.

Bahan Tiang	Kohesi (c_u) (k/ft ²)	Adhesi Ultimit (c_d) (k/ft ²)
Beton dan Kayu	0 – 0,75	0 – 0,7
	0,75 – 1,5	0,7 – 1
	1,5 - 3	1 – 1,3

Tabel 2.7 Adhesi Ultimit (c_d) untuk Tiang Pancang dalam Tanah Lempung

Sumber: Tomlinson, 1963

Catatan: 1 k/ft² = 47,8 kN/m²

Menurut Tomlinson (1977) Faktor adhesi tiang pancang (a_d) dalam tanah lempung diperlihatkan seperti Gambar 2.13 berikut.

➤ Kapasitas Ultimit Tiang

Persamaan kapasitas ultimit untuk tiang dalam tanah kohesif didasarkan atas persamaan:

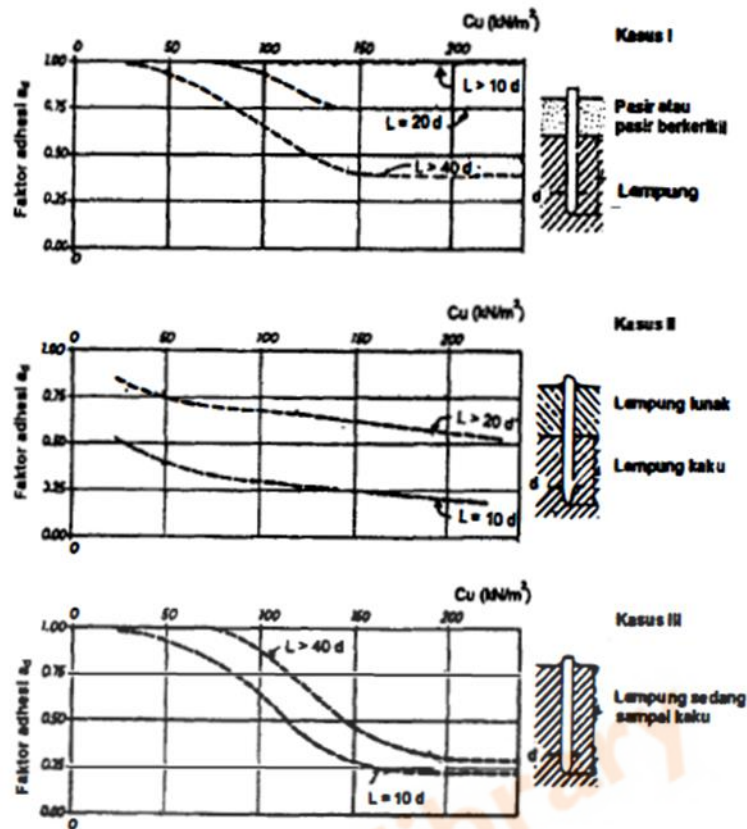
$$Q_u = A_b(c_b \times N_c + p_b) + F_w \times a_d \times c_u \times A_s - W_p \dots\dots\dots(2.31)$$

Karena berat sendiri tiang (W_p) mendekati sama dengan berat tanah yang dipindahkan akibat adanya tiang, maka nilai A_b dan p_b dapat dianggap sama dengan W_p . Oleh karena itu persamaan (2.31) menjadi:

$$Q_u = A_b \times c_b \times N_c + F_w \times a_d \times c_u \times A_s \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana:

F_w = Faktor bentuk tiang (nilainya = 1 untuk diameter seragam)



Gambar 2. 13 Hubungan Antara Faktor Adhesi dan Kohesi Untuk Tiang Pancang Dalam Tanah Lempung

(Sumber: Tomlinson, 1997)

2.7. Bored Pile

Pondasi bored pile adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hary Christady Hardiyatmo, 2010). Pemasangan pondasi bored pile ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan temporary casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bored pile jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.

2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (pile cap). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak bored pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. Bored pile dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

Kerugian menggunakan pondasi bored pile yaitu:

1. Pengecoran bored pile dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan bored pile mengurangi kapasitas dukung bored pile, terutama bila bored pile cukup dalam.
4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
6. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang temporary casing untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

2.7.1. Metode Pelaksanaan Bored Pile

Pada dasarnya pelaksanaan bored pile pada tanah yang tidak mudah longsor adalah:

1. Tanah digali dengan mesin bor sampai kedalaman yang dikehendaki.
2. Dasar lubang bor dibersihkan.
3. Tulangan yang telah dirakit dimasukkan ke dalam lubang bor.
4. Lubang bor diisi atau dicor beton.

2.8. PLAXIS 2D

2.8.1. Simulasi Model

Pemodelan PLAXIS 2D menggunakan Parameter dasar Mohr-Coulomb dimana terdapat beberapa stage construction pada simulasi model analisis dinding penahan tanah pada proyek pabrik yaitu :

Tahapan simulasi model menggunakan PLAXIS 2D :

1. *Initial Phase*
2. Aktif Tiang Bor
3. Aktif Dinding Penahan Tanah
4. Aktif timbunan bertahap per 1,5 m
5. Aktif beban merata
6. Kondisi muka air banjir
7. Kondisi muka air surut seketika (*rapid drawdown*)
8. Kondisi muka air normal

Dimana pada simulasi model ini tidak memperhitungkan gempa dan parameter beton untuk dinding penahan tanah menggunakan material model *linear elastic*, tipe material *non-porous*, dengan berat jenis beton 24 kN/m^3 , dan mutu beton $f_c' = 30 \text{ Mpa}$.

2.8.2. Parameter Material Berdasarkan Model Mohr-Coulomb

Pemodelan dengan menggunakan model material Mohr-Coulomb yang mampu menganalisis perilaku tegangan-rengangan yang non-linear pada tanah dipilih karena merupakan model yang lebih sederhana dan sering digunakan dalam analisis geoteknik dibandingkan parameter model lainnya seperti *hardening soil*, *soft soil*.

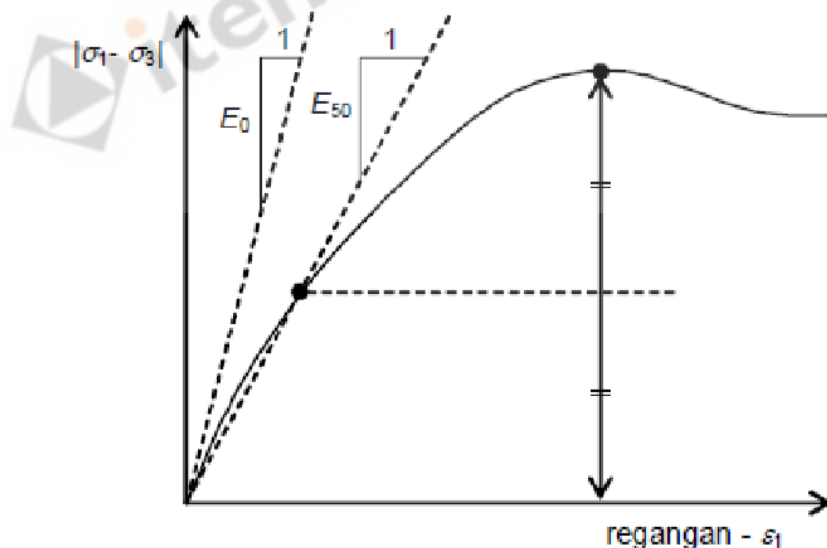
Parameter dasar Mohr-Coulomb yang digunakan dalam analisis rembesan dan stabilitas dengan metode elemen hingga pada PLAXIS adalah sebagai berikut :

1. Modulus Young (E)

PLAXIS menggunakan modulus Young sebagai modulus kekakuan dasar dalam model elastis dan model Mohr-Coulomb, tetapi beberapa modulus alternatif juga ditampilkan. Nilai dari parameter kekakuan yang digunakan dalam suatu perhitungan memerlukan perhatian khusus karena pada umumnya material tanah menunjukkan perilaku yang non-linear dari awal pembebanan. Modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada suatu tanah.

$$E = \frac{\text{Perubahan Tegangan}}{\text{Perubahan Regangan}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dalam mekanika tanah, terdapat dua metode yang digunakan untuk menghitung modulus elastisitas atau modulus tegangan-regangan yang dilihat dari grafik hubungan antara regangan dan tegangan non-linear (Gambar 2.7). Metode yang pertama disebut Modulus Tangen (E_0) yang merupakan garis kemiringan awal pada kurva tegangan- regangan dan metode kedua disebut Modulus Sekan (*secant modulus*) pada 50% kekuatan disebut sebagai E_{50} , dimana garis akan memotong kurva tegangan-regangan pada dua titik.



Gambar 2. 14 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (E_0 dan E_{50})

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai modulus mengalami peningkatan sejalan dengan meningkatnya tekanan di sekeliling tanah

atau dengan kata lainnya semakin besar kedalaman tanah, maka nilai kekakuan akan semakin besar pula dibandingkan tanah yang berada pada kedalaman dangkal/permukaan. Nilai kekakuan atau modulus elastisitas suatu tanah dapat dilihat pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Nilai Kekakuan Tanah (Bowles,1996)

Soil		Es, Mpa
Clay	<i>Very Soft</i>	2--15
	<i>Soft</i>	5--25
	<i>Medium</i>	15 - 50
	<i>Hard</i>	50 - 100
	<i>Sandy</i>	25 - 250
Glacial Till	<i>Loose</i>	10 - 150
	<i>Dense</i>	150 - 720
	<i>Very Dense</i>	500 - 1440
	<i>Loess</i>	15 - 60
Sand	<i>Silty</i>	5--20
	<i>Loose</i>	10--25
	<i>Dense</i>	50-81
Sand and Gravel	<i>Loose</i>	50-150
	<i>Dense</i>	100-200
	<i>Shale</i>	150 - 5000
	<i>Silty</i>	2--20

2. Poisson Ratio (ν)

Uji triaksial terdrainase dapat menghasilkan perubahan volume yang signifikan pada awal pemberian beban aksial, yang menghasilkan konsekuensi berupa angka Poisson awal (ν_0) yang rendah. Pada beberapa kasus, terutama pada masalah pengurangan beban, mungkin realistis untuk menggunakan nilai awal yang rendah, tetapi pada penggunaan model Mohr-Coulomb, secara umum direkomendasikan menggunakan nilai yang tinggi. Nilai akhir dari K_0 sangat bergantung dari asumsi angka Poisson, karena itu penting untuk menentukan angka Poisson yang dapat menghasilkan nilai K_0 yang realistis. Hubungan K_0 dan angka Poisson ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$v = \frac{K_0}{(1 + K_0)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

K₀ = Koefisien tekanan tanah lateral kondisi *at rest*

Dalam banyak kasus akan diperoleh nilai *v* yang berkisar antara 0,3 dan 0,4. Umumnya nilai tersebut tidak hanya digunakan pada kompresi satu dimensi, tetapi juga dapat digunakan untuk kondisi pembebanan lainnya. Namun untuk kasus pengurangan beban, lebih umum digunakan nilai 0,15 dan 0,25. Angka poisson *ratio* untuk berbagai jenis tanah yang berbeda dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9 Rentang Nilai Poisson's *Ratio*, *v* (Bowles, 1996)

<i>Type of Soil</i>	<i>v</i>
<i>Clay, saturated</i>	0.4 - 0.5
<i>Clay, unsaturated</i>	0.1 - 0.3
<i>Sandy clay</i>	0.2 - 0.3
<i>Silt</i>	0.3 - 0.35
<i>Sand, gravelly sand</i>	min 1 - 1.00
<i>commonly used</i>	0.3 - 0.4
<i>Rock</i>	0.1 - 0.4 (<i>depends somewhat on type of rock</i>)
<i>Loess</i>	0.1 - 0.3
<i>Ice</i>	0.36
<i>Concrete</i>	0.15
<i>Steel</i>	0.33

3. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar, nilai kohesi diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung dan pengujian triaksial. PLAXIS dapat menangani pasir non-kohesif (*c* = 0), namun beberapa

pilihan tidak akan berjalan dengan baik. Untuk menghindari hal ini, pengguna yang belum berpengalaman disarankan untuk memasukkan nilai yang kecil untuk kohesi ($c > 0,2 \text{ kN/m}^2$).

4. Sudut geser dalam (ϕ)

Sudut geser dalam adalah parameter yang menentukan kuat geser dari tanah. Sudut geser dalam yang tinggi, seperti pada pasir padat, akan mengakibatkan peningkatan beban komputasi plastis. Waktu komputasi akan meningkat secara eksponensial terhadap sudut geser. Karena itu, sudut geser tanah yang tinggi sebaiknya dihindari saat melakukan perhitungan awal untuk suatu proyek tertentu. Waktu komputasi cenderung menjadi semakin panjang untuk penggunaan sudut geser tanah yang lebih besar dari 35° . Berikut nilai sudut geser tanah diberikan dalam Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2.10 Nilai Sudut Geser Tanah Lempung (Braja M. Das)

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Lempung Kelanauan	25 – 30
Lempung	20 – 25

Tabel 2.11 Nilai Sudut Geser Tanah Pasir (Braja M. Das)

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Pasir: Butiran Bulat	
Renggang/lepas	27-30
Menengah	30-35
Padat	35-38
Pasir: Butiran Bersudut	
Renggang/lepas	30-35
Menengah	35-40
Padat	40-45
Kerikil Bercampur Pasir	34-48
Lanau	26-35

5. Sudut Dilatasi (ψ)

Sudut dilatasi dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali ($\psi = 0^\circ$). Dilatasi dari tanah pasir bergantung pada kepadatan serta sudut gesernya. Untuk pasir kwarsa besarnya dilatasi kurang lebih adalah $\psi = \phi - 30^\circ$. Walaupun demikian, banyak kasus sudut dilatasi adalah 0° untuk nilai ϕ kurang dari 30° .

6. Permeabilitas (k)

Koefisien permeabilitas (*coefficient of permeability*) mempunyai satuan yang sama seperti kecepatan. Istilah koefisien rembesan sebagian besar digunakan oleh para ahli teknik tanah (geoteknik), para ahli geologi menyebutnya sebagai konduktivitas hidrolis (*hydraulic conductivity*).

Nilai koefisien permeabilitas tergantung pada beberapa faktor, yaitu: kekentalan cairan, distribusi ukuran-pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung, struktur tanah memegang peranan penting dalam menentukan koefisien rembesan.

Nilai koefisien permeabilitas (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa nilai koefisien permeabilitas diberikan dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Nilai Koefisien Permeabilitas (Braja M. Das)

Jenis tanah	k	
	cm/detik	ft/menit
Kerikil bersih	1,0 - 100	2,0 - 200
Pasir kasar	0,01 - 1,0	0,02 - 2,0
Pasir halus	0,01 - 0,001	0,02 - 0,002
Lanau	0,001 - 0,00001	0,002 - 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002