

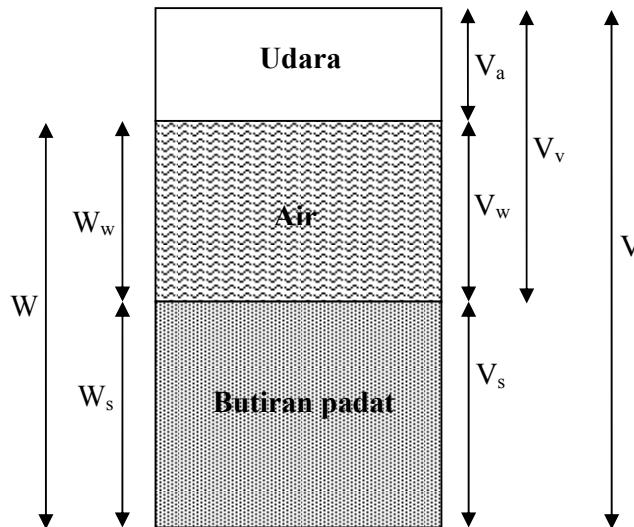
BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Komposisi Tanah

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

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



Gambar 2.1 Tiga fase elemen tanah

Hubungan volume-berat :

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

Dimana : V_s = volume butiran padat

V_v = volume pori

V_w = volume air di dalam pori

V_a = volume udara di dalam pori

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

$$W = W_s + W_w$$

Dimana : W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

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

1. Angka Pori

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

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

2. Porositas

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

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

3. Derajat Kejenuhan

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

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

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

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

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

4. Kadar Air

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

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

5. Berat Volume

Berat volume (γ) didefinisikan sebagai berat tanah per satuan volume.

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

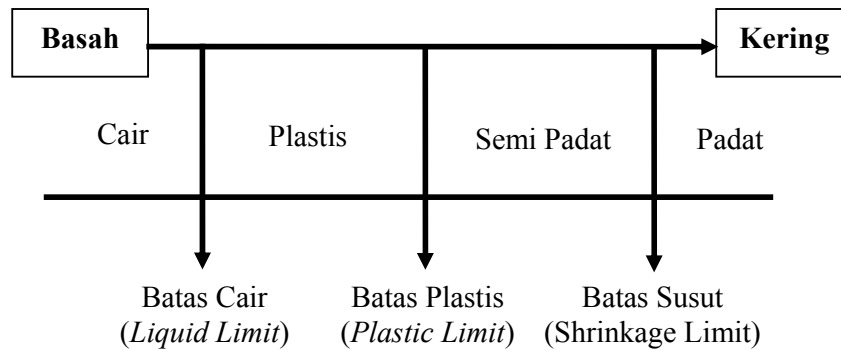
6. Berat spesifik

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

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

2.1.2 Batas Konsistensi Tanah

Atterberg adalah seorang ilmuwan dari Swedia yang berhasil mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, sehingga batas konsistensi tanah disebut *Atterberg Limits*. Kegunaan batas *atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pematatannya. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Batas-batas *Atterberg*

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

$$PI = LL - PL$$

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

Tabel 2.1. Hubungan nilai Indeks Plastisitas dengan jenis tanah menurut *Atterberg*

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

Sumber : Mekanika Tanah II, Ir. Indrastono DA, M.Ing

2.1.3 Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus *Young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara

empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Nilai perkiraan Modulus Elastisitas tanah (Bowles, 1977)

Jenis Tanah	Es (kg/cm ²)
Lempung	
Sangat lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

Sumber : Mekanika Tanah II, Tim Dosen Teknik Sipil Undip

2.1.4 *Poisson's Ratio*

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

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

Jenis Tanah	<i>Poisson's Ratio</i> (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 padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar (e= 0,4 – 0,7)	0,15
Pasir halus (e=0,4 – 0,7)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loses	0,1 – 0,3

Sumber : Mekanika Tanah II, Tim Dosen Teknik Sipil Undip

2.1.5 Sistem Klasifikasi Tanah

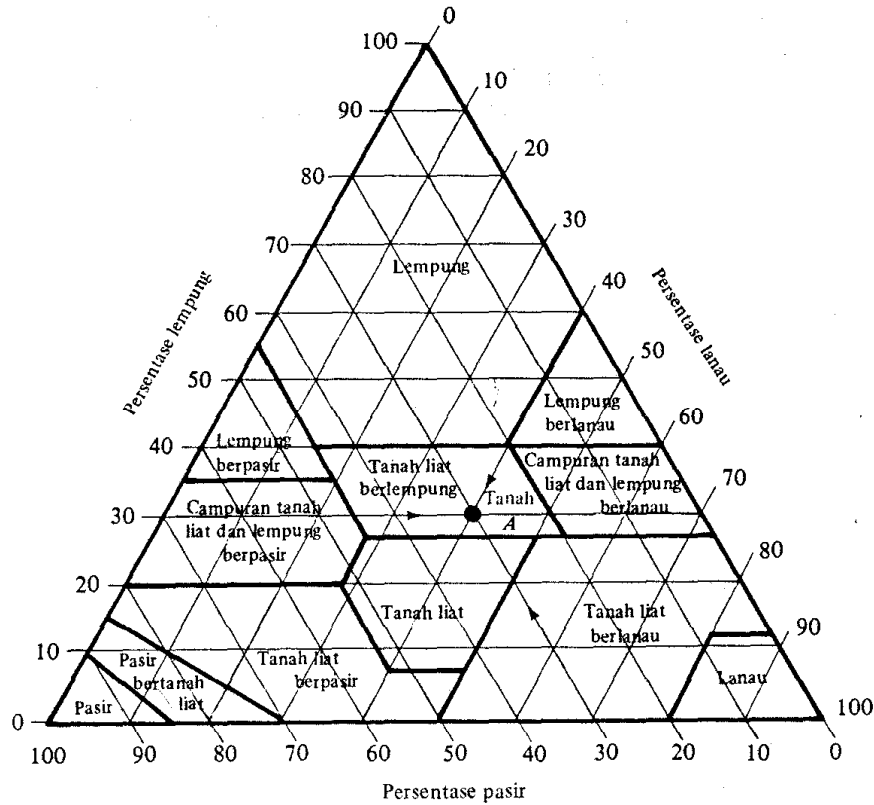
Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- ✚ Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- ✚ Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
- ✚ Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

A. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

Pengaruh daripada ukuran tiap-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 2.3.

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



Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M. Das

Gambar 2.3. Klasifikasi berdasar tekstur tanah

B. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

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

Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses 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 ini.

Tabel 2.4. Klasifikasi tanah sistem AASHTO

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

Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das

Tabel 2.5. 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
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)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M. Das

C. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Cassagrande* 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% bahannya 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 2.6. dan Tabel 2.7. dibawah ini.

Tabel 2.6. Klasifikasi tanah sistem UNIFIED

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

Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M. Das

Tabel 2.7. Klasifikasi tanah sistem UNIFIED

	Kriteria klasifikasi	
Klasifikasi Berdasarkan persentase Butir Halus 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 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60}/D_{10}$ 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

Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das

2.2 Pondasi

Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur/bangunan (*sub-structure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur/bangunan (*upper-structure*) ke lapisan tanah yang berada dibagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser dan penurunan (*settlement*) tanah/pondasi yang berlebihan (Rekayasa Pondasi I “Konstruksi Penahan Tanah”, Gunadarma).

Untuk tujuan itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain, dan tidak boleh terjadi penurunan pondasi setempat ataupun penurunan pondasi yang merata lebih dari batas tertentu.

Kegagalan fungsi pondasi dapat disebabkan karena "*base shear failure*" atau penurunan yang berlebihan, dan sebagai akibatnya dapat timbul kerusakan struktural pada kerangka bangunan atau kerusakan lain seperti tembok retak, lantai ubin pecah dan pintu jendela yang sukar dibuka.

Agar dapat dihindari kegagalan fungsi pondasi, maka pondasi bangunan harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras/padat serta kuat mendukung beban bangunan tanpa timbul penurunan yang berlebihan, dan untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dengan daya dukung yang cukup besar, maka perlu dilakukan penyelidikan tanah.

Pondasi bangunan biasanya dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Pondasi dalam, jika kedalaman pondasi dari muka tanah adalah lebih dari lima lebar pondasi ($D > 5B$)
2. Pondasi dangkal, jika kedalaman dasar pondasi dari muka tanah adalah kurang sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$).

2.2.1 Pondasi Dalam

Menurut *Dr.Ir.L.D.Wesley* dalam bukunya Mekanika Tanah 1, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang atau suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan

menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Pondasi tiang diperlukan bilamana lapisan-lapisan bagian atas tanah begitu lembek, dan kadang-kadang diketemukan keadaan tanah dimana lapisan keras sangat dalam sehingga pembuatan dan pemancangan tiang sampai lapisan tersebut sukar dilaksanakan. Dalam hal ini dapat dipergunakan *friction pile* yaitu tiang yang tertahan oleh perlekatan antara tiang dengan tanah, tiang semacam ini disebut juga dengan tiang terapung (*floating piles*).

Apabila tiang ini dimasukkan dalam lapisan lempung maka perlawanan ujung akan jauh lebih kecil daripada perlawanan akibat perlekatan antara tiang dan tanah.

2.2.1.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas daya dukung tiang dibedakan oleh daya dukung ujung dan daya dukung gesek (Rekayasa Pondasi II, pondasi dangkal dan pondasi dalam), maka akan didapat :

$$Q_{ult} = Q_e + Q_s$$

- Dimana :
- Q_{ult} = kapasitas daya dukung tiang pancang maksimum.
 - Q_e = kapasitas daya dukung ujung yang didapat dari tanah di bawah ujung pondasi.
 - Q_s = kapasitas daya dukung yang didapat dari gaya gesekan atau gaya adhesi antara tiang pancang dengan tanahnya.

a. Kapasitas daya dukung ujung pondasi tiang pancang

Berdasarkan data laboratorium kapasitas daya dukung ujung tanah dapat dihitung menurut beberapa rumus salah satunya dengan menggunakan rumus *Terzaghi*.

$$Q_e = A_p (q \cdot N_q \cdot a_q + \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot a_\gamma)$$

- Dimana :
- Q_e = kapasitas daya dukung ujung yang didapat dari tanah di bawah ujung pondasi.
 - A_p = luas penampang tiang.
 - q = *effective overburden pressure* = $\sum (\gamma_i \cdot h_i)$.

- B = dimensi penampang tiang.
 γ = berat isi tanah di bawah ujung tiang
 N_q, N_γ = faktor-faktor kapasitas daya dukung untuk tanah di bawah ujung tiang.
 a_q, q_γ = faktor penampang.
- penampang persegi dan bulat $a_q = 1,0$
 - penampang persegi $a_\gamma = 0,4$
 - penampang bulat $a_\gamma = 0,3$

b. Kapasitas daya dukung friksi pondasi tiang pancang

$$Q_f = p \cdot L \cdot (\gamma \cdot z + q) K \cdot \tan \emptyset$$

- Dimana :
- Q_f = kapasitas daya dukung friksi
 - p = keliling lingkaran
 - L = panjang tiang pancang
 - γ = berat isi tanah
 - z = kedalaman titik pusat gravitasi dari bagian tiang yang terbenam
 - q = beban yang bekerja dipermukaan
 - K = koefisien tegangan tanah lateral dapat diambil = 1,75

2.2.1.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok

Diasumsikan beberapa tiang pancang digabungkan pada bagian pelat yang disebut sungkup tiang pancang menjadi satu kelompok. Pada saat ini AASHTO *Bridge Specification* menyarankan untuk memakai persamaan efisiensi sebagai berikut :

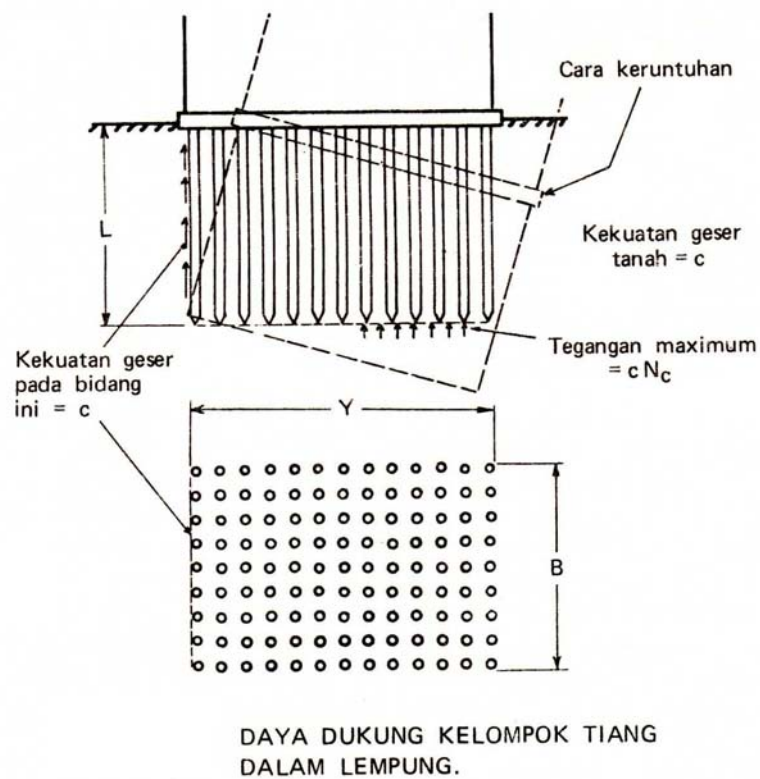
$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

- Dimana :
- m = Banyak kolom
 - n = Banyak baris
 - θ = $\tan^{-1} D / s$
 - D = Diameter bambu
 - s = Jarak antar bambu

Kapasitas daya dukung tiang kelompok (Q_{ult}) merupakan hasil perkalian jumlah tiang (n) dengan kapasitas daya dukung total tiang tunggal (P_u), kemudian dikalikan nilai efisiensi (E_g).

$$Q_{ult} = n \cdot P_u \cdot E_g$$

Dimana : Q_{ult} = daya dukung kelompok tiang
 n = jumlah tiang
 P_u = daya dukung untuk tiang tunggal
 E_g = Efisiensi tiang pancang kelompok



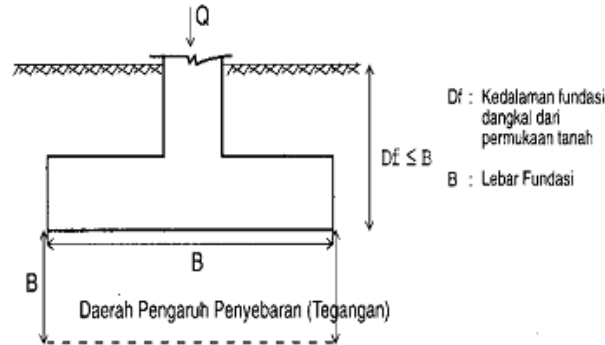
Gambar 2.4. Daya dukung kelompok tiang dalam lapisan lempung

2.2.2 Pondasi Dangkal

Terzaghi mendefinisikan pondasi dangkal sebagai berikut :

- Apabila kedalaman pondasi lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi, maka pondasi tersebut bisa dikatakan sebagai pondasi dangkal.

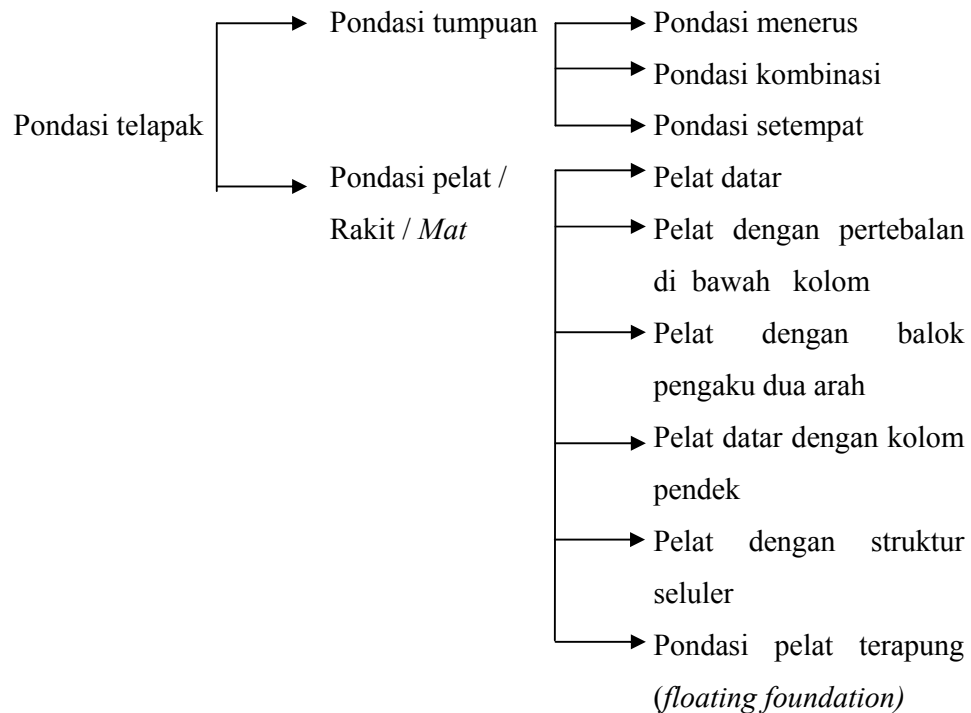
- Anggapan bahwa penyebaran tegangan pada struktur pondasi ke tanah dibawahnya yang berupa lapisan penyangga (*bearing stratum*) lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi.



Gambar 2.5. Pondasi dangkal

Pada umumnya pondasi dangkal berupa pondasi telapak yaitu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dan berkualitas baik yang mampu mendukung suatu bangunan pada permukaan tanah.

Pondasi telapak dapat dibedakan sebagai berikut :



Sumber : Rekayasa Fondasi II Fondasi Dangkal dan Fondasi Dalam, penerbit Gunadarma & Rekayasa Pondasi II, Ir. Indrastono Dwi Atmanto M.Eng

Gambar 2.6. Flow chart klasifikasi pondasi telapak

Daya Dukung Pondasi Dangkal

Untuk pondasi bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat biasa (*ordinary low-rise buildings*), karena berat bangunan relatif tidak besar maka biasanya cukup digunakan pondasi dangkal yang disebut pondasi langsung (*Spread Footing*), yaitu dengan memperlebar bagian bawah dan kolom atau dinding bangunan, sehingga beban bangunan disebar (Spread) menjadi desakan yang lebih kecil daripada daya dukung tanah yang diizinkan. Dimensi pondasi dihitung berdasarkan beban bangunan dan daya dukung tanah yang diizinkan.

$$A_f = \frac{\text{beban bangunan}}{\text{daya dukung tanah}}$$

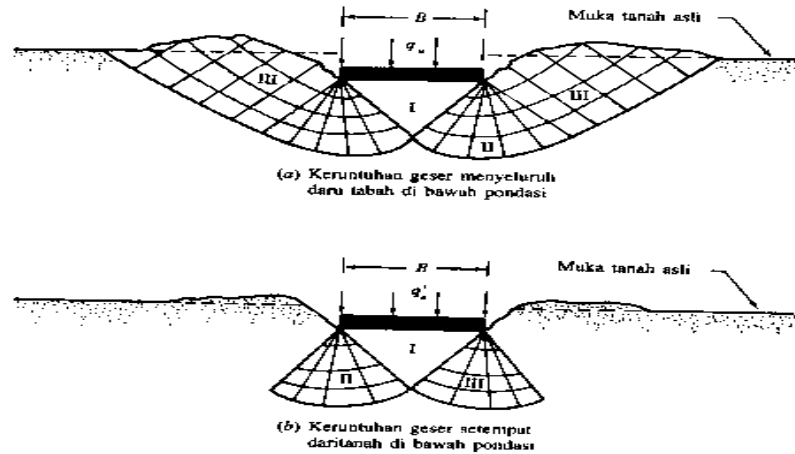
Dimana : A_f = luas pondasi

Kedalaman pondasi langsung makin dangkal akan semakin murah dan semakin mudah pelaksanaannya, tetapi ada beberapa faktor yang harus diperhatikan :

- a. Dasar pondasi harus terletak dibawah lapisan tanah teratas (*top soil*) yang mengandung humus/bahan organik/sisa tumbuh-tumbuhan.
- b. Kedalaman tanah urug (*sanitary land fill*) atau tanah lunak lain (*peat muck*).
- c. Kedalaman tanah yang dipengaruhi retak-retak atau kembang susut.
- d. Kedalaman muka air tanah.
- e. Letak dan kedalaman pondasi bangunan lama yang berdekatan.

Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, maka kedalaman dasar pondasi langsung di Indonesia biasanya diletakkan antara 0,60 m sampai 3,00 m dibawah muka tanah.

Keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*) merupakan karakteristik dari telapak pondasi yang sempit dengan kedalaman yang dangkal yang terletak pada tanah-tanah yang relatif padat dan relatif kuat yang relatif tidak kompresibel. Untuk tanah yang relatif lemah dan relatif kompresibel, dengan telapak yang relatif lebar dan relatif dalam, jenis keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser setempat (*local shear failure*).



Gambar 2.7. (a) Keruntuhan geser menyeluruh; (b) Keruntuhan geser setempat

Adapun persamaan daya dukung pondasi dangkal dengan dua asumsi menurut *Terzaghi*, yaitu :

1. Menganggap bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*). Persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh *Terzaghi* adalah sebagai berikut :

Pondasi menerus :

$$q_u = c N_c + q N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma$$

Pondasi bujur sangkar :

$$q_u = 1,3 c N_c + q N_q + 0,4 B \gamma N_\gamma$$

Pondasi lingkaran :

$$q_u = 1,3 c N_c + q N_q + 0,3 B \gamma N_\gamma$$

Dimana :

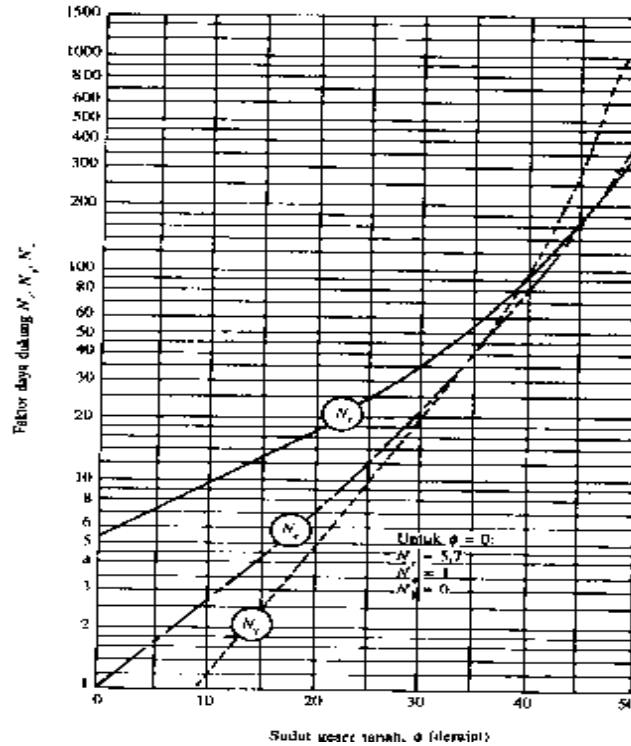
c = Kohesi (kg / m^2)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

B = Lebar alas pondasi (m)

q = $\gamma \cdot D_f$ = *Effective Overburden Pressure*

N_c, N_q, N_γ = faktor-faktor kapasitas daya dukung *Terzaghi*.



Gambar 2.8. Faktor daya dukung *Terzaghi* untuk keruntuhan geser menyeluruh

2. Menganggap bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser setempat (*local shear failure*)

Asumsi ini memberikan anggapan bahwa :

$$c' = \frac{2}{3} c \text{ dan } \phi' = \tan^{-1} \left(\frac{2}{3} \tan \phi \right)$$

sehingga persamaan daya dukung *Terzaghi* menjadi :

Pondasi menerus :

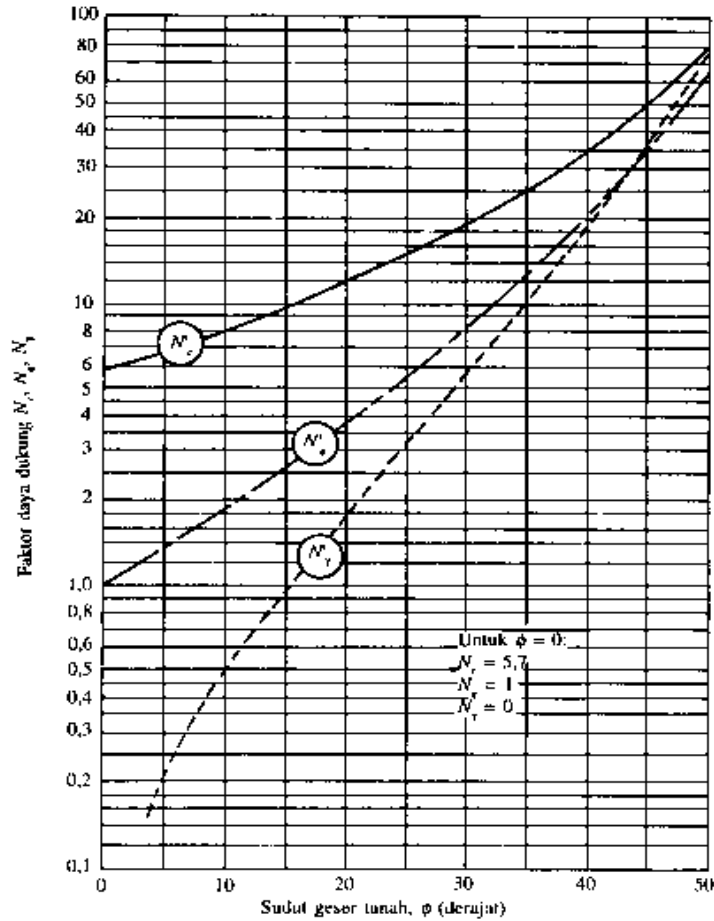
$$q_u' = c' N'_c + q N'_q + 0,5 B \gamma N'_\gamma$$

Pondasi bujur sangkar :

$$q_u' = 1,3 c' N'_c + q N'_q + 0,4 B \gamma N'_\gamma$$

Pondasi lingkaran :

$$q_u' = 1,3 c' N'_c + q N'_q + 0,3 B \gamma N'_\gamma$$



Gambar 2.9. Faktor daya dukung Terzaghi untuk keruntuhan geser setempat

Analisa Tegangan Tanah

Metode Fadum

Untuk menghitung tegangan vertikal pada kedalaman z di bawah sebuah sudut bidang persegi dengan dimensi mz dan nz yang memikul tekanan merata digunakan persamaan:

$$\sigma_z = q \cdot I_r$$

dengan, $m = a/z$ dan $n = b/z$

q = beban merata

I_r = faktor pengaruh Fadum (Gambar 2.11)

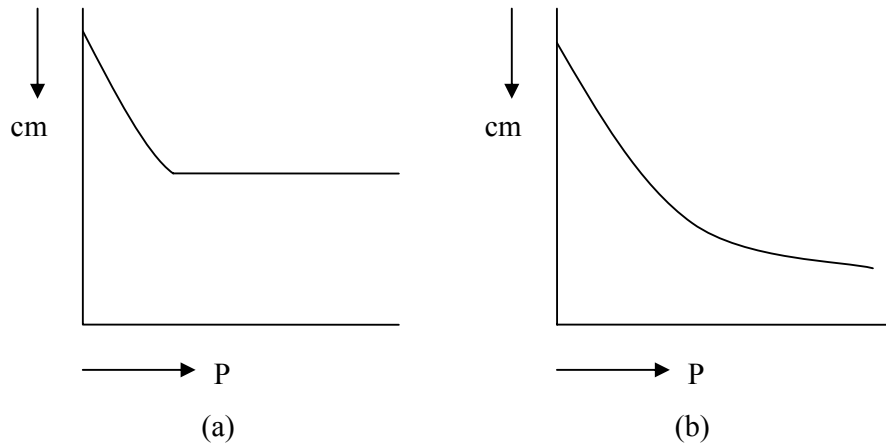
Nilai faktor pengaruh I_r dalam m dan n diberikan dalam bentuk bagan dari Fadum yang diperlihatkan pada gambar 2.10. Faktor-faktor m dan n dapat

2.4. Konsolidasi dan Penurunan

2.4.1. Konsolidasi

Konsolidasi dapat diartikan bahwa suatu peristiwa pemampatan (*compression*) karena mendapat beban dari atasnya secara tetap/kontinyu yang diakibatkan oleh suatu konstruksi atau timbunan tanah sehingga terjadi proses pengeluaran air dari pori-porinya. Keadaan ini bisa terjadi apabila tanah dalam keadaan jenuh atau hanya sebagian saja yang jenuh. (Mektan II, Ir.Roeswan Soediro).

Tanah butir kasar (*granular soil*) terutama pasir akan mengalami kejadian konsolidasi yang cepat dan penuh apabila mendapat tekanan (beban) sehingga grafiknya akan menurun tajam, akhirnya berhenti dan lurus horisontal (gambar 2.12).



Gambar 2.12. Grafik konsolidasi pada:
(a) Tanah butir kasar
(b) Tanah butir halus

Pada tanah berbutir halus (*fine granular soil*) terutama pasir akan mengalami penurunan yang lama (lamban) apabila mendapat beban sehingga akan berlangsung terus berkonsolidasi. Oleh karena penyelidikan konsolidasi diutamakan untuk tanah berbutir halus (*silt/lanau, clay/lempung*).

Tingkatan Proses Konsolidasi:

1. Konsolidasi Permulaan (*Initial Consolidation*)

Adalah pengurangan volume tanah yang tidak jenuh, pada waktu mendapat beban yang dipergunakan untuk mengeluarkan udara dari rongga udara.

2. Konsolidasi Pertama (*Primary Consolidation*)

Pengurangan terus terhadap volume tanah, untuk mengeluarkan air dari rongga yang disertai dengan penggantian beban sehingga menimbulkan tekanan air pori.

3. Konsolidasi Kedua (*Secondary Consolidation*)

Pemampatan tanah secara perlahan-lahan sesudah terjadi pengurangan tekanan pori sampai mencapai nol.

Pada kejadian permulaan konsolidasi mempunyai tenggang waktu yang relatif singkat antara konsolidasi pertama mencapai konsolidasi kedua. Dimana konsolidasi kedua adalah lebih memperhatikan kepada butir-butir tanah yang banyak gugusan tanah organik, demikian pula lempung organik dan lanau plastis. Untuk mendapatkan besaran yang dapat dipergunakan untuk menghitung besarnya penurunan (*settlement*), harus dilaksanakan penyelidikan penurunan.

Tes konsolidasi dilakukan untuk mendapatkan :

- a. Hubungan antar waktu dan prosentase konsolidasi
- b. Perubahan rongga udara dari tanah akibat penambahan beban
- c. Data *permeability* tanah yang merupakan hal penting di dalam mempertahankan stabilitas tanah

Di dalam penyelidikan konsolidasi :

- a. Besarnya *settlement* bergantung dari *compressibility* tanah tersebut
- b. Kecepatan *settlement* tergantung *permeability* dan *compressibility* dari tanah tersebut

Akibat penurunan pada tanah dibawah bangunan maka dalam bidang teknik sipil perlu dicari besaran-besaran :

1. Besar penurunan yang terjadi (δ)
2. Kecepatan penurunan (v)
3. Lamanya waktu yang terjadi (t)
4. Derajat konsolidasi (u)

2.4.2 Penurunan

Istilah penurunan menunjukkan amblesnya suatu bangunan akibat kompresi dan deformasi lapisan tanah dibawah bangunan. Penurunan (*settlement*) akan terjadi jika suatu lapisan tanah mengalami pembebanan. Penurunan juga

dipengaruhi oleh sebaran tanah lunak atau lempung yang terdapat dibawah permukaan pada dataran aluvial Semarang (Tigor L. Tobing (2002)).

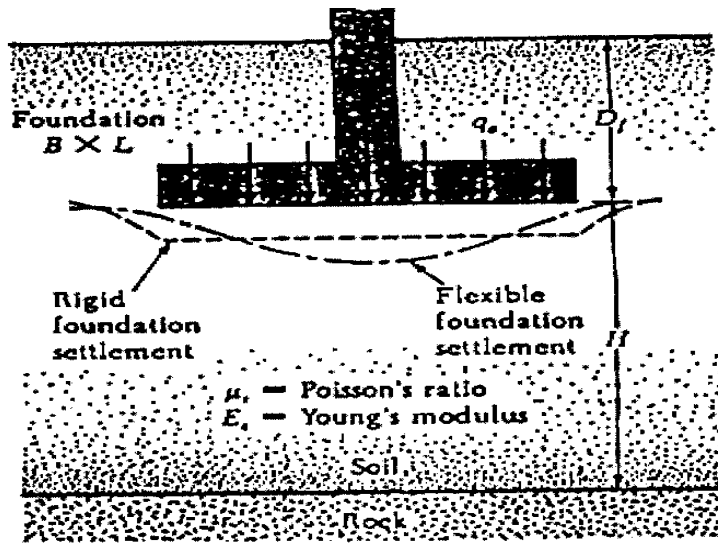
Berdasarkan hasil penelitian besarnya penurunan muka tanah antara tahun 2001-2003 berkisar antara 0 sampai kurang lebih 3 cm/th. Penurunan yang cukup besar terjadi dibagian utara yaitu di sekitar Pelabuhan Tanjung Emas, Pondok Hasanudin, Stasiun Poncol sampai selatan Stasiun Tawang, yang dapat diperlihatkan pada Gambar 2.13.

2.4.2.1. Penurunan pada Pondasi Dangkal

Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*Immediate Settlement*) dan penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*). Secara umum penurunan pada tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu :

a. Penurunan Seketika (*Immediately Settlement*)

Penurunan seketika adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan ($S_r \% < 90\%$).



Sumber : Rekayasa Pondasi II, Penerbit Gunadarma hal 48

Gambar 2.14. Penurunan seketika

Rumus penurunan seketika / *Immediately Settlement* dikembangkan berdasarkan teori elastis dari *Timoshenko* dan *Goodier* (1951), sebagai berikut :

$$S_i = q \cdot B \frac{1 - \mu^2}{E_s} \cdot I_w$$

Dimana:

q = besarnya tegangan kontak

B = lebar pondasi

I_w = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (tabel 2.8.)

μ = angka *poisson's ratio* (tabel 2.9.)

E_s = sifat elastisitas tanah (tabel 2.10.)

$$q_{ekstrim} = R/A \pm My/Wy + Mx/Wx + \gamma \times d$$

Dimana:

$q_{ekstrim}$ = besarnya tegangan

$R = \sum P$ = resultante beban vertikal

$A = B \times L$ = luas bidang pondasi

$My = \sum P \cdot x$ = momen total sejajar respektif terhadap sumbu y

$Mx = \sum P \cdot y$ = momen total sejajar respektif terhadap sumbu x

$Wy = 1/6 B L^3$ = momen inersia respektif terhadap sumbu y

$Wx = 1/6 L B^3$ = momen inersia respektif terhadap sumbu x

γ = berat isi beton

d = tebal plat pondasi

Dalam perhitungan penurunan seketika / *Immediately Settlement* diperlukan faktor pengaruh bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w), angka *poisson ratio* (μ), dan sifat elastisitas tanah (E_s), yang dapat dilihat pada Tabel 2.8., Tabel 2.9., dan Tabel 2.10.

Tabel 2.8. Faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w)

	Flexible			Rigid	
	Shape	Center	Average	I_w	I_m
Circle	1.0	0.04	0.85	0.88	6.0
Square	1.12	0.56	0.95	0.82	3.7
Rectangle :					
L/B = 0.2	-	-	-	-	2.29
0.5	-	-	-	-	3.33
1.5	1.36	0.68	1.15	1.06	4.12
2.0	1.53	0.77	1.30	1.20	4.38
5.0	2.10	1.05	1.83	1.70	4.82
10.0	2.54	1.27	2.25	2.10	4.93
100.0	4.01	2.00	3.69	3.40	5.00

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

Tabel 2.9. Angka *Poisson's Ratio* (μ) menurut jenis tanah

Type of soil	μ
Clay saturated	0.4 – 0.5
Clay unsaturated	0.1 – 0.3
Sandy clay	0.2 – 0.3
Silt	0.3 – 0.35
Sand (dense)	0.2 – 0.4
Coarse (void ratio = 0.4 - 0.7)	0.15
Fined - grained (void ratio = 0.4 – 0.7)	0.25
Rock	0.1 – 0.4 (depends somewhat on type of rock)
Loess	0.1 – 0.3
Ice	0.36
Conerate	0.15

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

Tabel 2.10. Nilai Sifat Elastisitas Tanah (E_s) menurut jenis tanah

	E_s	
	ksf	MPa
Clay		
Very soft	50 – 250	2 – 15
Soft	100 – 500	5 – 25
Medium	300 – 1000	15 – 50
Hard	1000 – 2000	50 – 100
Sandy	500 – 5000	25 – 250
Glacial till		
Loose	200 – 3200	10 – 153
Dense	3000 – 15000	144 – 720
Very dense	10000 – 30000	478 – 1440
Loess	300 – 1200	14 – 57
Sand		
Silty	150 – 450	7 – 21
Loose	200 – 500	10 – 24
Dense	1000 – 1700	48 – 81
Sand and Gravel		
Loose	1000 – 3000	48 – 144
Dense	2000 – 4000	96 – 192
Shale	3000 – 3000000	144 – 14400
Silt	40 - 400	2 - 20

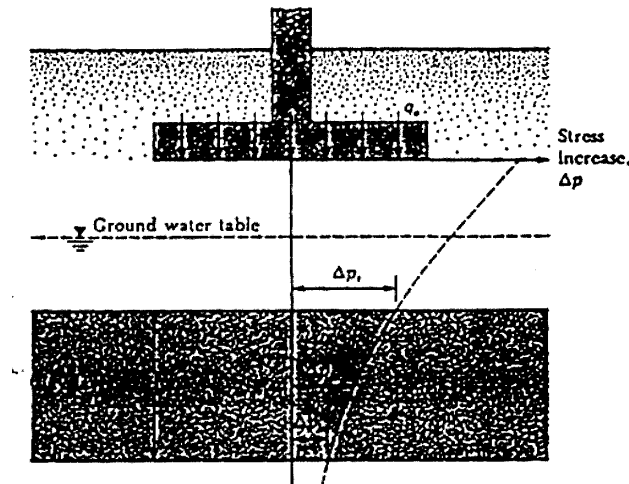
Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

b. Penurunan Konsolidasi / *Consolidation Settlement*

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi yang besarnya

ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ($S_r = 100\%$) atau yang mendekati jenuh ($S_r = 90\% - 100\%$) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga $K \leq 10^{-6}$ m/s.

Terzaghi (1925) memperkenalkan teori konsolidasi satu arah (*one way*) yang pertama kali untuk tanah lempung jenuh air. Teori ini menyajikan cara penentuan distribusi kelebihan tekanan hidrostatik dalam lapisan yang sedang mengalami konsolidasi pada sembarang waktu setelah bekerjanya beban. Beberapa asumsi dasar dalam analisis konsolidasi satu arah antara lain : tanah bersifat homogen, derajat kejenuhan tanah 100 % (jenuh sempurna), partikel/butiran tanah dan air bersifat inkompresibel (tak termampatkan), arah pemampatan dan aliran air pori terjadi hanya dalam arah vertikal. Ketebalan lapisan tanah yang diperhitungkan adalah setebal lapisan tanah lempung jenuh air yang ditinjau.



Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

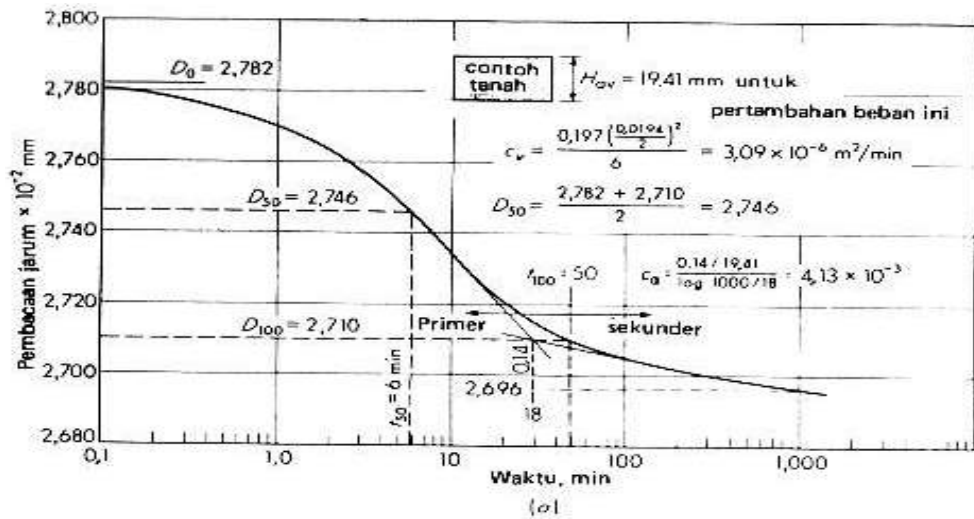
Gambar 2.15. Penurunan konsolidasi

Penurunan konsolidasi yang terjadi dibagi dua, yaitu :

- **Penurunan konsolidasi primer**

Penurunan konsolidasi primer terjadi ketika gradien tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan didalam stratum yang ditinjau. Pada akhir konsolidasi primer kelebihan tekanan pori mendekati nol dan perubahan tegangan telah beralih dari keadaan total ke keadaan efektif. Penurunan

tambahan ini disebut penurunan sekunder yang terus berlanjut untuk suatu waktu tertentu, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.16.



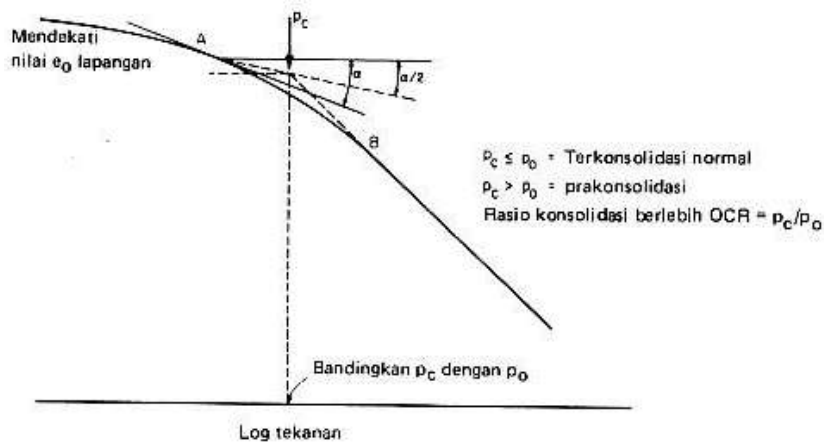
Sumber : Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Edisi kedua, Joseph E. Bowles

Gambar 2.16. Grafik penyajian penurunan konsolidasi primer dan sekunder

Penurunan konsolidasi primer dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

🚩 **Tanah normal konsolidasi**

Apabila lengkungan bertambah secara tajam (patah) mendekati tekanan tanah efektif akibat beban yang berada di atasnya (P_0), maka dapat dianggap bahwa tanah tersebut terkonsolidasi normal. Artinya struktur tanah terbentuk akibat akumulasi tekanan pada saat deposit yang ada bertambah dalam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat ada gambar 2.17. Tanah terkonsolidasi normal adalah tanah yang tidak pernah menderita beban tegangan efektif yang lebih besar dari tegangan yang ada sekarang.



Sumber : Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 2, Joseph E. Bowles

Gambar 2.17. Metode *Cassagrande* untuk menentukan jenis konsolidasi

Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan (*settlement*) pada kondisi tanah normal konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c \leq P_0$$

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \left(\log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right)$$

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} \cdot t_{\text{primer}}$$

$$T_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot U^2$$

Dimana:

S_{cp} = penurunan / *Settlement* (cm)

C_c = indeks kompresi tanah

e_0 = angka pori

$T_v = t_{\text{total}}$ = waktu perencanaan

t_{primer} = waktu terjadinya penurunan konsolidasi

H = tebal lapisan tanah

C_v = koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

U = derajat konsolidasi

ΔP = tambahan tegangan

P_o = *effective overburden layer*
 P_c = *preconsolidation pressure*

✚ Tanah over konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari P_o , maka dapat dianggap tanah tersebut mengalami *over konsolidasi*. Tanah over konsolidasi adalah tanah yang pernah menderita beban tekanan efektif yang lebih besar daripada tegangan yang sekarang. Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan (*settlement*) pada kondisi tanah *over konsolidasi*, adalah sebagai berikut :

$P_c > P_o$

$$S_{cp} = \frac{C_r \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

Dimana:

ΔP = tambahan tegangan

P_o = *effective overburden layer*

C_r = *compression index* pada kondisi *over konsolidasi*

H = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

P_c = *preconsolidation pressure*

- **Penurunan konsolidasi sekunder**

Penurunan sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi terjadi. Penurunan sekunder didefinisikan sebagai tekanan yang terjadi pada saat terdapatnya tekanan pori yang berlebih pada lapisan yang ditinjau (atau pada contoh di laboratorium). Pada tanah yang jenuh tidak akan mungkin terdapat pengurangan angka pori tanpa terbentuknya sejumlah tekanan pori yang berlebih. Tingkat penurunan sekunder biasanya sedemikian sangat rendah sehingga tekanan pori yang berlebih tidak dapat diukur. Tekanan sekunder merupakan penyesuaian kerangka tanah yang berlangsung untuk beberapa saat lamanya sesudah tekanan pori yang berlebih menghilang. Karena itu, penurunan sekunder tergantung pada

waktu dan dapat berlangsung untuk waktu yang lama bahkan sampai ratusan tahun.

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{cs} = \frac{C_{\alpha} \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{t_{total} + t_{primer}}{t_{primer}} \right)$$

Dimana:

S_{cs} = penurunan / *Settlement* (cm)

e_o = angka pori

H = tebal lapisan tanah

C_{α} = indeks pemampatan sekunder

Jadi penurunan total (S_t) yang terjadi adalah :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs}$$

Dimana:

S_t = penurunan total

S_i = penurunan seketika

S_{cp} = penurunan konsolidasi primer

S_{cs} = penurunan konsolidasi sekunder

2.4.2.2. Penurunan pada Pondasi Dalam

Seperti pada tipe pondasi dangkal atau langsung (*shallow footing*), pada pondasi dalam (*deep footing*) ini penurunan (*settlement*) yang terjadi juga sama, yaitu dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$S_r = S_i + S_c$$

Dimana : S_r = penurunan total pondasi tiang

S_i = penurunan seketika pondasi tiang

S_c = penurunan konsolidasi pondasi tiang

a. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*) Pondasi Tiang.

Rumus umum untuk menghitung penurunan seketika (rumus didasarkan atas elastisitas tanah) adalah :

$$S_i = q_n \cdot 2B \cdot \frac{1 - \mu^2}{E_u} \cdot I_p$$

Dimana : S_i = *immediate settlement* pada pusat dari pondasi grup tiang.

q_n = tekanan neto pondasi.

B = lebar ekuivalen dari bentuk pondasi rakit yang *flexible (foundation flexible raft)*.

μ = angka poisson, untuk tanah lanau dapat diambil 0.35

sedangkan untuk tanah lempung berpasir dapat diambil 0.3

I_p = I_w = faktor pengaruh pada tabel 2.11.

E_u = E_s = modulus deformasi yang didapat dari keadaan pembebanan tak berdrainase (*undrained loading consolidation*)

I_p merupakan fungsi dari $\frac{H}{B}$ atau $\frac{L}{B}$

Dimana : H = kedalaman dari lapisan tanah yang mengalami *compressible* (pemampatan)

L = panjang dari grup tiang diperlihatkan pada tabel 2.11.

Tabel 2.11. Faktor Pengaruh $I_w = I_p$

Shape	Flexible			Rigid	
	Center	Corner	Average	I_w	I_p
Circle	1,00	0,64	0,85	0,88t	6,0
Square	1,12	0,56	0,95	0,82	3,7
Rectangle :					
LB = 0,2					2,29
0,5					3,33
1,5	1,36	0,68	1,15	1,06	4,12
2	1,53	0,77	1,30	1,20	4,38
5	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
10	2,54	1,27	2,25	2,10	4,93
100	4,01	2,00	3,69	3,40	5,06

- Harga E_u bisa didapat dari grafik *stress-strain*. Biasanya diambil dari sekan AC dari grafik *stress-strain*. Apabila ingin didapat harga E_u yang konservatif

diambil tangen AB yaitu bagian yang lurus (linier) dari grafik tegangan-regangan.

- Harga E_u dapat juga diperkirakan dari hasil tes dilapangan yaitu dari hasil SPT dan CPT ataupun hasil CPT, lihat tabel 2.12.

Tabel 2.12. Harga Modulus Elastisitas harga E_u didasarkan atas hasil SPT dan CPT

	SPT	CPT
<i>Sand</i>	$E = 500 (N + 15)$	$E = 2 \text{ to } 44$
	$E = 18000 + 750 N$	$E = 2 (1 + D^2)4$
	$E = (15200 \text{ to } 22000) \text{ in } N$	
<i>Clay sand</i>	$E = 320 (N + 15)$	$E = 3 \text{ to } 64$
<i>Silty sand</i>	$E = 300 (N + 6)$	$E = 1 \text{ to } 24$
<i>Gravelly sand</i>	$E = 1200 (N + 6)$	
<i>Soft clay</i>		$E = 6 \text{ to } 84$
<i>Using the undrained shear strength s in unit of S</i>		
<i>Clay</i>	$I > 30, \text{ or organic}$	$E = 100 \text{ to } 500s$
	$I < 30 \text{ stiff}$	$E = 500 \text{ to } 1500s$
	$I < OCR < 2$	$E = 800 \text{ to } 1200s$
	$OCR > 2$	$E = 1500 \text{ to } 2000s$

- Sedangkan menurut Buttler harga modulus elastisitas $E_u = 400 \text{ cu}$

b. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*) Pondasi Tiang.

Besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi dihitung didasarkan atas hasil tes konsolidasi yang biasanya dilakukan untuk tanah berbutir halus (*c-soils*) atau tanah pada umumnya (*c- ϕ soils*). Besarnya penurunan konsolidasi dihitung dengan rumus :

$$S_c = \mu_g \cdot S_{oed}$$

$$S_{oed} = \mu_d \cdot m_v \cdot \sigma_z \cdot H$$

$$m_v = \frac{e_1 - e_2}{(1 + e_1) \cdot p}$$

Dimana :

- e_1 = *void ratio* yang berhubungan dengan *effective overburden pressure* p_o
- e_2 = *void ratio* yang berhubungan dengan kenaikan pertambahan tekanan Δp .
- p = kenaikan atau pertambahan tekanan.
- Soed = penurunan berdasarkan percobaan konsolidasi.
- μ_d = faktor kedalaman yang diberikan oleh *fox*.
- σ_z = tegangan vertikal rata-rata.
- H = tebal lapis tanah
- μ_g = faktor geologi dari *Skempton* dan *Bjerrum* yang dihubungkan dengan koefisien tekanan air pori (*pore pressure coefficient*) didapat dari hasil *triaxial test*, dapat dilihat dari tabel 2.13.

Tabel 2.13. Harga faktor geologi μ_g

Type of Clay	μ_g Value
Very sensitive clays (soft alluvial, estuarine and marine clay)	1,0 – 1,2
Normally - consolidated clays	0,7 – 1,0
Over-consolidated clays (London clay, Weald, Kimmerldge, Oxfor, and Lias clays)	0,5 – 0,7
Heavily over-consolidated clays (unweathered glacial fill, Keuper Marl)	

2.5. Perbaikan Tanah Dengan Metode *Grouting*

Menurut *Bowles*, dalam bukunya yang berjudul "*Geotechnical Analysis*" (hal. 78), yang dimaksud dengan *Grouting* (sementasi) adalah proses dimana material-material cair, baik dalam bentuk suspensi ataupun larutan yang dimasukkan ke bawah permukaan tanah ataupun batu yang bertujuan untuk mengurangi permeabilitas (penyebaran), meningkatkan kekuatan geser, dan mengurangi kompresibilitas (penekanan).

Maksud dan tujuan *Grouting* adalah untuk menyuntikkan bahan berupa campuran semen atau bahan kimia lain dan air ke dalam lapisan tanah dengan tujuan untuk memperbaiki kekuatan dan daya dukung lapisan tanah di bawah

pondasi, juga untuk menurunkan harga koefisien permeabilitas tanah sehingga pergerakan tanah dapat diatasi. Bahan suspensi *grouting* umumnya menggunakan material berupa : betonit, semen, kapur, aspal, serta bahan larutan lain berupa bahan kimiawi.

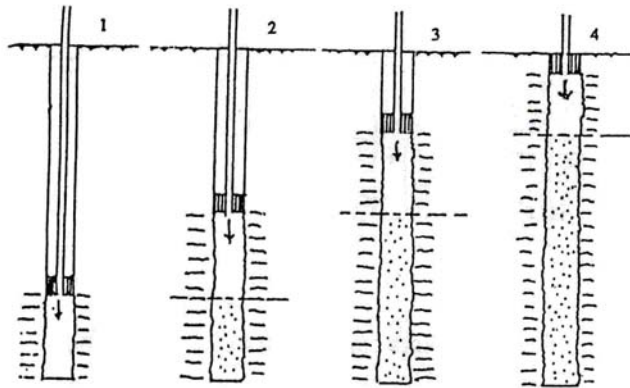
2.5.1. Metode Pelaksanaan *Grouting*

Berdasarkan cara pelaksanaannya, *grouting* dibagi menjadi 2 cara, yaitu : *grouting* dari bawah ke atas dan *grouting* dari atas ke bawah. Cara yang akan dipakai tergantung dengan keadaan geologi dari batuan yang dapat dilihat dari pengeboran (*boring log*), pengujian kelulusan air, dan pengujian (tes *grouting*).

1. *Grouting* dari bawah ke atas (*packer grouting, ascending grouting, atau upstage grouting*).

Adapun tahap-tahap pelaksanaan *grouting* dari bawah ke atas sebagai berikut:

- Lubang *grouting* dibor sampai mencapai kedalaman yang telah ditetapkan.
- Kemudian dipasang alat *packer* di dalam lubang bor. Alat *packer* digunakan untuk menutup lubang agar campuran semen tidak kembali ke atas dan dapat masuk ke tanah samping.
- Setelah *packer* dipasang maka *grouting* dapat dilaksanakan dengan tekanan yang cukup tinggi (bagian 1)
- Sesudah selesai bagian pertama, *packer* ditarik ke atas kemudian *grouting* dilaksanakan lagi sehingga bagian 2 penuh dengan pasta semen.
- Kemudian *packer* ditarik lagi dan dilakukan sementasi lagi sehingga seluruh bagian penuh terisi campuran semen (bagian 1,2,3, dan seterusnya). *Grouting* dilaksanakan setiap jarak 5 m, dengan maksud untuk mendapatkan hasil yang baik, dapat dilihat pada gambar 2.18.



(Sumber buku Teknik Bendungan, Ir. Sudibyo)

Gambar 2.18. *Grouting* dari Bawah ke Atas

Keuntungannya :

- Karena pengeboran dilakukan pada seluruh kedalaman, maka pelaksanaannya cepat.
- Mengurangi kesulitan pemindahan dan pemasangan kembali mesin pengeboran.
- Hasil pengeboran dapat diambil dan diteliti jenis batuan, dengan demikian dapat diperkirakan lebih tepat campuran dan tekanan *grouting*.
- Lebih mudah mengadakan pemeriksaan terhadap rembesan yang keluar melalui celah-celah yang ada.

Kerugiannya :

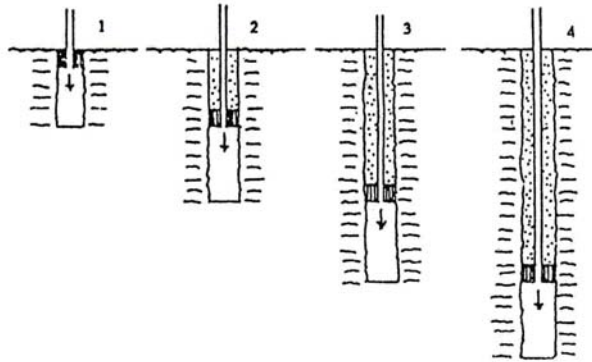
- Karena pelaksanaan *grouting* dari bawah, apabila terdapat banyak lubang di sebelah atas akan lebih sukar melaksanakannya.

2. *grouting* dari atas ke bawah (*stage grouting, descending grouting, downstage grouting*)

tahap-tahap pelaksanaan *grouting* dari atas ke bawah adalah sebagai berikut :

- Lubang *grouting* dibor lebih dulu setiap 5 m, kemudian diadakan pembersihan lubang dengan air sampai bersih. Setelah itu diadakan *grouting* sepanjang 5 m tadi sampai selesai.

- Setelah bagian 1 selesai digrouting, mesin pengeboran diletakkan di tempat semula, lalu diadakan pengeboran lagi (*redrilling*) sampai kedalaman 10 m.
- Pelaksanaan ini diulang kembali dari kedalaman 5 m sampai 10 m. Agar hasilnya baik, waktu setiap tahap pelaksanaan *grouting* sekurang-kurangnya 12 jam sehingga campurannya dapat mengeras, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.19.



(Sumber buku Teknik Bendungan, Ir. Sudibyo)

Gambar 2.19. *Grouting* dari Atas ke Bawah

Keuntungannya :

- Peralatannya lebih sederhana karena tidak menggunakan alat *packer* sehingga tidak ada masalah jika rembesan melewati alat ini.
- Tekanan *grouting* (sementasi) dapat dibuat lebih tinggi karena kebocoran di dalam batuan di atasnya telah diatasi.
- Dihasilkan *grouting* yang baik dan efisien terutama untuk pondasi batuan yang lulus air.

Kerugiannya :

- Karena mobilitas mesin pengeboran yang membutuhkan waktu yang sangat lama.
- Dengan adanya pemindahan dan pemasangan kembali mesin pengeboran serta membutuhkan waktu yang lama menyebabkan biaya yang relatif lebih mahal karena pekerjaannya lebih dari 1 kali.

2.6. Perbaikan Tanah Menggunakan Cerucuk Bambu

Lapisan tanah lunak adalah lapisan tanah yang mengandung lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga pengujian standar (*Standard Penetration Test-N*) lebih kecil dari 4 atau tanah organis seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi dan lapisan tanah berpasir yang dalam keadaan lepas mempunyai harga N yang kurang dari 10. Sifat lapisan tanah yang lunak antara lain gaya gesernya kecil, kemampuan besar dan koefisien permeabilitasnya kecil. Jadi, bila pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritis, maka akan terjadi kerusakan tanah pondasi. Untuk mengantisipasi kerusakan yang lebih besar dari bangunan, diperlukan usaha perbaikan tanah pondasi pada tanah lunak tersebut. Salah satu usaha perbaikan tanah yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan cerucuk bambu.

Cerucuk bambu banyak dipakai untuk meningkatkan daya dukung pondasi dan mengurangi penurunan yang akan terjadi. Untuk mengetahui perilaku pondasi dengan cerucuk tersebut, telah dilakukan penelitian berupa test pembebanan pada suatu model pondasi dengan menggunakan “biting” bambu sebagai cerucuk. Tiga macam pemasangan cerucuk yaitu tegak, miring dan kombinasi tegak miring dilakukan pada tes tersebut. Hasil percobaan menunjukkan adanya peningkatan daya dukung tanah sebesar 60% oleh cerucuk miring, 37% oleh cerucuk tegak dan 33% bila dipakai kombinasi tegak miring (sumber internet).

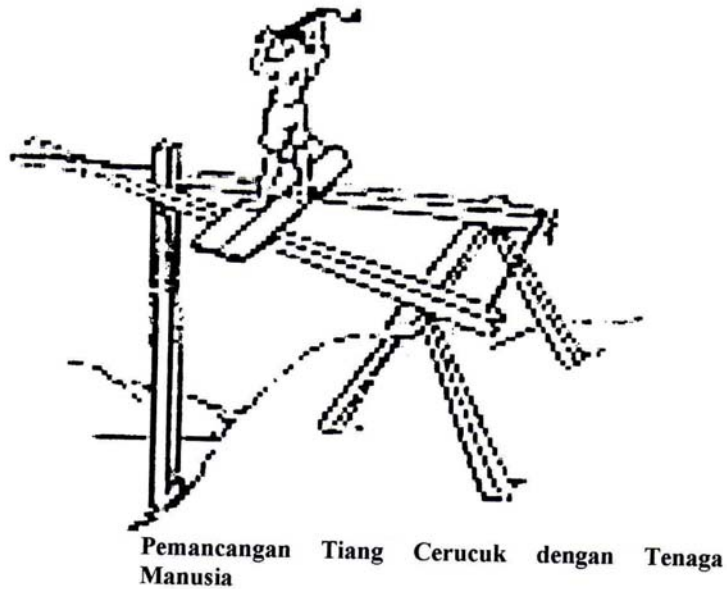
2.6.1 Metode Pelaksanaan Cerucuk Bambu

Ada beberapa cara pemasangan cerucuk bambu antara lain konvensional, alat pancang cerucuk, dan dengan *back hoe*. Jika lantai kerja, dengan muka air tinggi, maka lokasi pemancangan cerucuk dapat diurug terlebih dahulu dengan material setempat. Bila menggunakan alat pancang cerucuk harus diberi landasan dari balok atau papan kayu. Pada cerucuk bambu di atasnya diberi kepala tiang yang selanjutnya dibentuk timbunan. Pemasangan dan pelaksanaan cerucuk bambu dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pemancangan Cerucuk Bambu Secara Konvensional

- Runcingkan bagian ujung bawah cerucuk bambu agar mudah menembus ke dalam tanah.

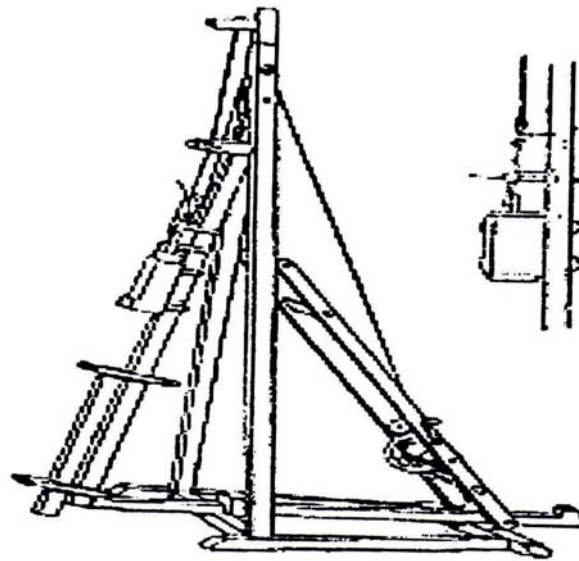
- Pasang perancah atau *platform* sedemikian rupa sehingga orang dapat dengan mudah memukul kepala tiang pada ketinggian tertentu (lihat Gambar 2.20.)
- Ratakan bagian ujung tiang yang akan dipukul dan beri topi tiang.
- Tegakkan tiang cerucuk dan masukkan sedikit ke dalam tanah agar dapat dipukul dengan stabil dan tetap tegak lurus.
- Pukul tiang dengan palu pemukul pada ujung atas cerucuk yang sudah diberi topi sampai kedalaman rencana.



Gambar 2.20. Pemancangan Tiang Cerucuk Bambu Secara konvensional

2. Pemancangan Cerucuk Bambu dengan Alat Pancang

- Siapkan alat pancang tiang cerucuk bambu dengan kedudukan yang dapat menjangkau pekerjaan pemancangan seefektif mungkin.
- Siapkan tiang cerucuk bambu pada kedudukan rencana.
- Pasang tiang cerucuk bambu berikut topi pemukulnya pada alat pancang, dan pastikan tiang berdiri tegak lurus.
- Catat penurunan pemancangan sampai kedalaman rencana minimum 1 tiang untuk setiap 5 m kearah memanjang jalan.



Pemancangan Cerucuk dengan Alat Pancang

Gambar 2.21. Pemancangan Cerucuk Bambu dengan Alat Pancang

3. Pemancangan Cerucuk Bambu dengan *Back Hoe*

- Siapkan rantai keja yang terdiri atas balok-balok kayu atau papan untuk operasional *back hoe*.
- Siapkan sejumlah tiang yang akan dipancang pada tempat kedudukannya.
- Tegakkan tiang pada posisi kedudukan rencana dengan bantuan tenaga manusia.
- Operasikan *back hoe* dan pastikan bagian mangkok (*bucket*) akan menekan tiang secara tegak lurus.
- Tekan tiang dengan *bucket* sampai masuk tanah sesuai dengan kedalaman rencana

2.7. PLAXIS V.8

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

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

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

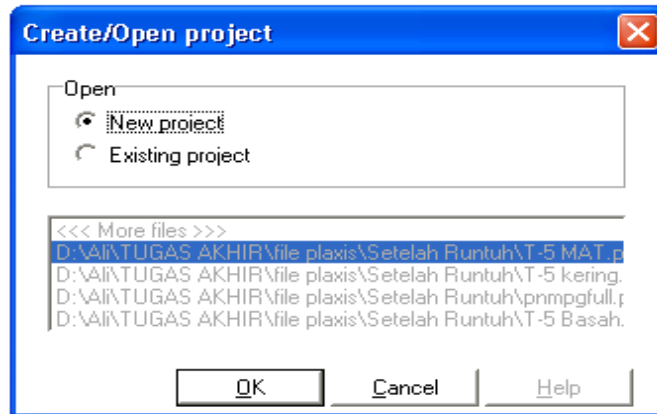
Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodal atau 15 nodal. Pada analisis ini digunakan elemen segitiga dengan 15 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan menggunakan turunan berderajat dua. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisis sudah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

PLAXIS terdiri dari 4 program :

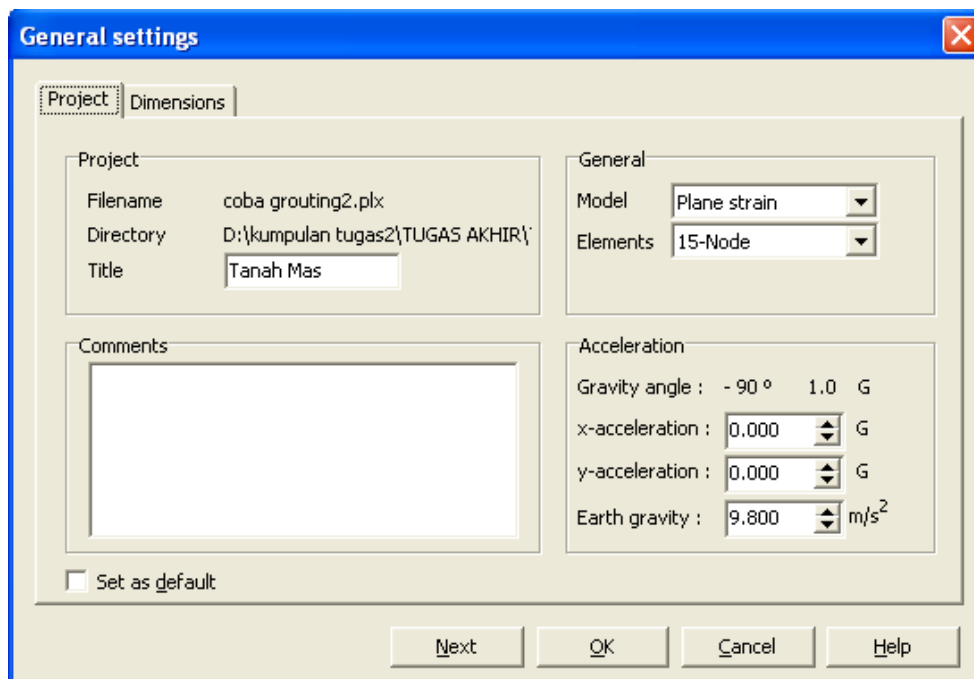
1. *Input* program
2. *Calculation* program
3. *Output* program
4. *Curve* program

2.7.1 Input

Memulai program PLAXIS V.8 dari *start* kemudian program, pilih PLAXIS V.8 *Dialog Box A Create / Open Project* akan timbul jika program PLAXIS V.8 dipilih. Pilih *New Project* dan klik <OK>, window *General Setting* akan muncul yang terdiri dari dua *tab sheet Project* dan *Dimensions* (lihat Gambar 2.22. dan gambar 2.23.).



Gambar 2.22. *Dialog box Create/Open project*



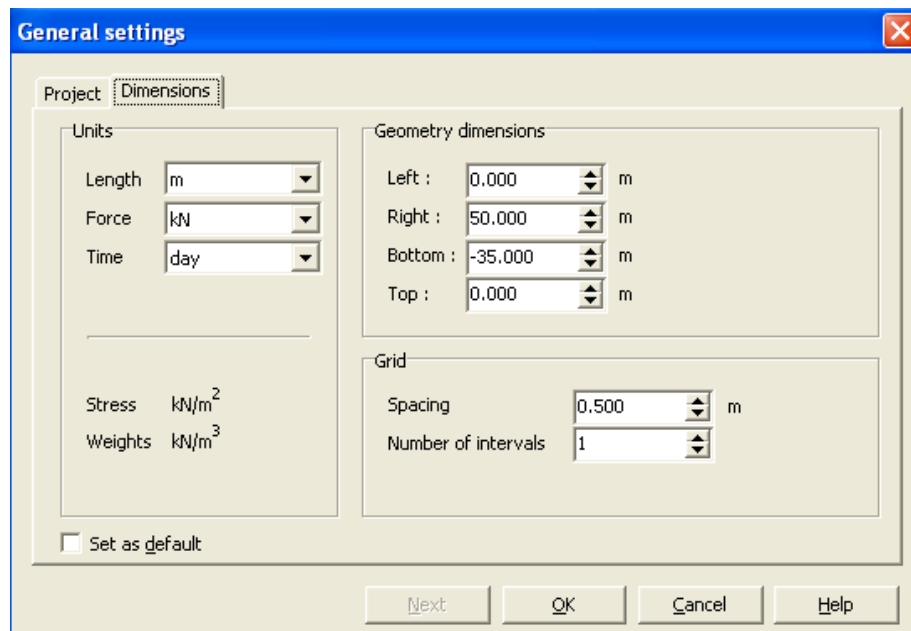
Gambar 2.23. *Tab sheet Project dari windows General Settings*

General Settings

Langkah paling awal dari setiap analisis adalah membuat parameter dasar dari metode elemen hingga. Tahap ini dilakukan pada *windows General Setting* yang mencantumkan tipe analisis, tipe elemen, *basic unit* dan ukuran bidang gambar. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Berikan judul proyek pada *box Title* dan keterangan pada *box Comments*.


- Spesifikasikan pada *box General* tipe analisis dan tipe elemen. Untuk kasus ini dipilih model *Plane Strain* dan tipe elemen memakai 15 nodal (*15 noded*).
- *Box Accelerations* memberi nilai sudut gravitasi -90^0 yang menunjukkan arah ke bawah. Nilai-nilai pada *box Accelerations* dibiarkan nol, karena pemberian nilai-nilai pada *box* tersebut hanya untuk analisa *Pseudo-dinamis*.
- Nilai-nilai pada *tab sheet Dimension* dibiarkan sesuai dengan *defaultnya* di *box Unit* (*Length = m: Force = kN: Time = day*)
- Masukkan nilai yang diperlukan pada *box Geometry Dimensions*.
- Masukkan nilai untuk *Spacing* (besar kecilnya *spacing* bergantung pada nilai ketelitian berapa angka dibelakang koma yang diinginkan, dan 1 untuk *Intervals*).
- Tekan <OK> untuk konfirmasi penyetingan.



Gambar 2.24. *Tab sheet Dimensions* dari *windows General Setting*

Geometry Contour



Apabila tahap pengisian *General settings* telah selesai maka bidang gambar akan muncul dengan sumbu x dan y. sumbu x menuju arah kanan dan sumbu y ke arah atas. Untuk membuat objek gambar dapat dipilih dari tombol ikon pada *toolbar* atau dari menu *Geometry*. Langkah-langkah pembuatan sebagai berikut:

-  Pilih *Geometry Line*.
- Klik tombol *mouse* sebelah kiri pada titik-titik geometri sampai terbentuk sebuah *cluster* dengan kembali pada titik asal
- Untuk membuat *cluster* baru, ulangi langkah yang sama agar terbentuk *cluster-cluster* yang diinginkan.
- Klik tombol kanan pada *mouse* untuk berhenti menggambar

Boundary Conditions


Ikons *Boundary Condition* bisa dicari di bagian tengah *toolbar* atau di menu *Loads*. Prinsipnya, semua batas harus mempunyai satu kondisi batas (*boundary conditions*) pada tiap arah. Jika suatu model tidak diberi *boundary conditions* maka kondisi alamiah akan terjadi di mana gaya yang ditentukan sama dengan nol dan terjadi *free displacement*.

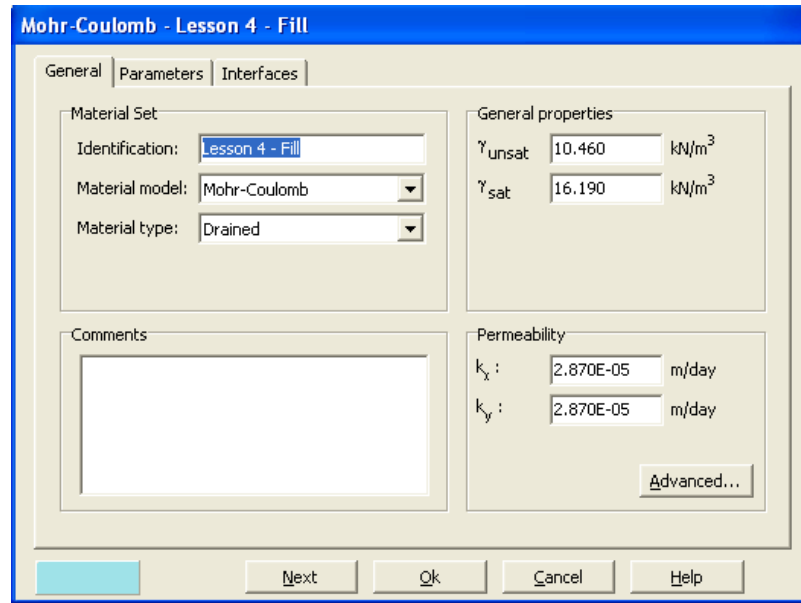
Tahapan pembuatannya dilakukan sebagai berikut:

-  Tekan ikon *Standard Fixities* pada *toolbar* atau pilih *Standard Fixities* dari menu *Loads* untuk memilih *standard boundary conditions*.
- Program Plaxis akan membentuk jepit pada dasar geometri dan kondisi nol pada dasar geometri ($U_x = 0$; $U_y = free$).
-  Pilih *Prescribed Displacements* dari *toolbar* atau pilih dari menu *Loads*. *Traction-Load System A* digunakan untuk memodelkan beban merata yang bekerja pada permukaan.

Material Data Set

Simulasi sifat tanah pada geometri perlu dilakukan agar dapat dilakukan analisis elemen hingga. Program Plaxis V.8 dilengkapi dengan *database* mengenai material tanah dan struktur (*beam*, *anchors* dan *geotextile*), namun pengguna program ini dapat juga memasukkan *database* sesuai kebutuhan. Tahapan pendefinisian material tanah dilakukan setelah tahap pemberian *boundary conditions*. Sebelum dilakukan *meshing* pada geometri, *cluster-cluster* pada geometri sudah didefinisikan jenis materialnya. Tahapan untuk memasukkan data tanah dapat dilihat pada halaman berikutnya :

-  Pilih ikon *material sets* pada *toolbar*.
- Klik tombol *<New>* di bagian bawah *window* dari *material sets*. *Dialog box* yang baru akan muncul dengan tiga buah *tab sheet*: *General*, *Parameter* dan *Interface* (lihat **gambar 2.25**. dan **2.26**.).



Gambar 2.25. *Tab sheet General* dari *windows Soil and interfaces data sets*

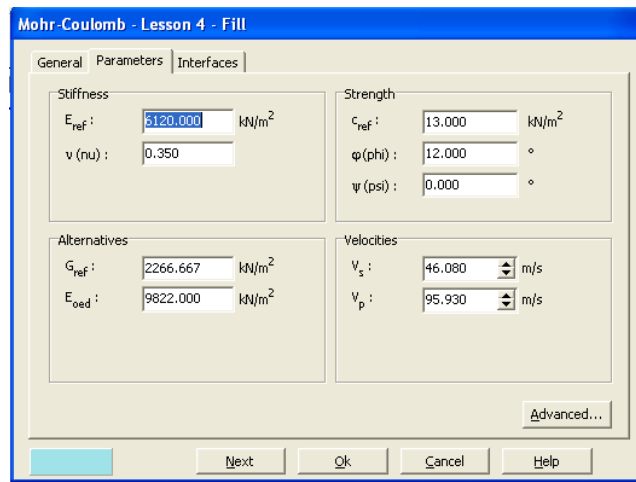
- Ketikkan nama material *box Identification*.
- Pilih model material pada kombo boks *material model* dan tipe material pada kombo boks *material type*.

Perilaku tanah dan batuan di bawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, diantaranya model *Mohr-Coulomb*, *Linear Elastic Model*, *Hardening Soil Model*, *Soft Soil Model*, dan *Soft Soil Creep Model*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter yaitu modulus elastisitas (E), *Poisson's Ratio* (ν), kohesi (c), sudut geser tanah (ϕ), dan sudut dilatasi (ψ). Dipilih metode *Mohr-Coloumb* karena metode ini berdasarkan parameter-parameter tanah yang ada paling mendekati dengan sifat tanah di lokasi.

Material Type menggambarkan hubungan antara air dan sifat tanah, di mana tanah dibedakan menjadi 3, yaitu : *Drained*, yaitu tanah yang diijinkan adanya *excess pore pressure*, contoh pada kasus *full drainage* pada tanah

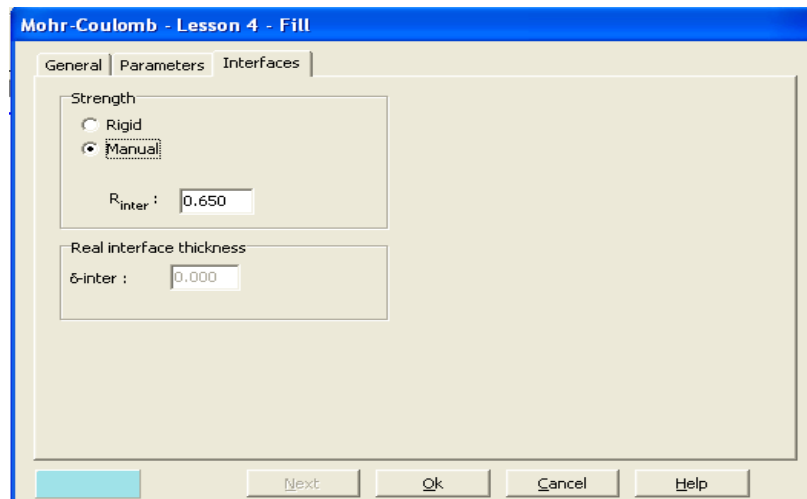
permeabilitas tinggi dan atau dengan beban rendah. Pada umumnya tanah lempung adalah *undrained*, di mana digunakan adanya *excess pore pressure* dengan permeabilitas yang rendah dan beban yang berat. *non-porous behaviour*, digunakan dalam analisa batuan.

- Masukkan nilai – nilai yang sesuai dari data yang didapatkan
- Tekan tombol <Next> atau langsung tombol *parameters* untuk masuk ke *tab Parameters* sesuai dengan model yang dipilih pada *tab General*.



Gambar 2.26. *Tab Sheet Parameters*

- Masukkan nilai – nilai yang terdapat pada data, sesuai dengan nama boks yang ada pada *tab sheet parameters*. Biarkan *tab sheet interfaces* sesuai kondisi *defaultnya*




Gambar 2.27. *Tab sheet interfaces*

- Proses di atas diulang untuk material yang lain

Mesh Generation

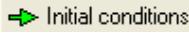

Program Plaxis V.8 dapat membangun jaring (*mesh*) secara otomatis, di mana jaring – jaring tersebut membagi geometri menjadi beberapa elemen. Pembuatan jaring elemen berdasarkan prinsip triangulasi yang akan membentuk jaringan yang kokoh dan jaringan tersebut bentuknya tidak teratur (*unstructured mesh*). Untuk melakukan *mesh* dilakukan tahap :

-  Tekan tombol ikon *Mesh generations* pada *toolbar* atau pilih lewat opsi *Generate* dari menu *Mesh*. Sebuah *window* baru akan muncul dan memperlihatkan bentuk *mesh* dari model.
- Tekan tombol <Update> untuk kembali ke model *Geometry input*.

Initial Condition (Kondisi Awal)

Initial condition berfungsi untuk mendefinisikan keadaan awal geometri sebelum dilakukan tahap perhitungan. Keadaan awal meliputi kondisi air tanah awal (*Initial ground water condition*), konfigurasi awal dari geometri dan keadaan awal tegangan efektif. Pengaktifan tegangan awal dengan cara *Gravity loading* tidak dapat dilakukan melalui menu *Initial conditions*. Pengaktifan dilakukan di tahap perhitungan.

Langkah-langkahnya sebagai berikut :

-  Tekan tombol *Initial conditions* pada *toolbar* atau pilih opsi *Initial conditions* dari menu *Initial*
- Akan muncul *windows* yang menunjukkan nilai *default* untuk berat jenis air 10 kN/m^3 . tekan <OK> untuk menerima nilai *default* tersebut, setelah itu muncul mode *Ground water conditions*. Dalam data tanah tidak ditemukan adanya muka air tanah.
-  Kliklah tombol *Generate water pressures* pada *toolbar* sehingga *window Water pressure generation* terlihat. Pilih *Phreatic line* pada kotak *Generate by* lalu klik <OK>

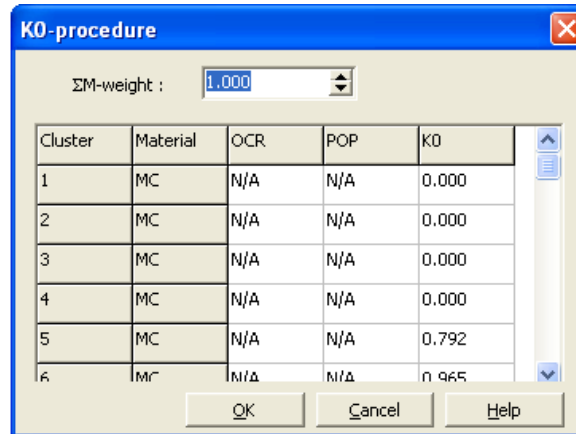
- Hasilnya ditampilkan dalam *output window*. Klik *<Update>* untuk kembali ke model *groundwater conditions*.



- Tekan tombol *switch* untuk menuju kodel *Geometry configuration*.



- Tekan tombol *Generate Initial Procedure* untuk mengaktifkan *K₀-Procedure*.



Gambar 2.28. Harga *K₀-procedure*

2.7.2 Calculation

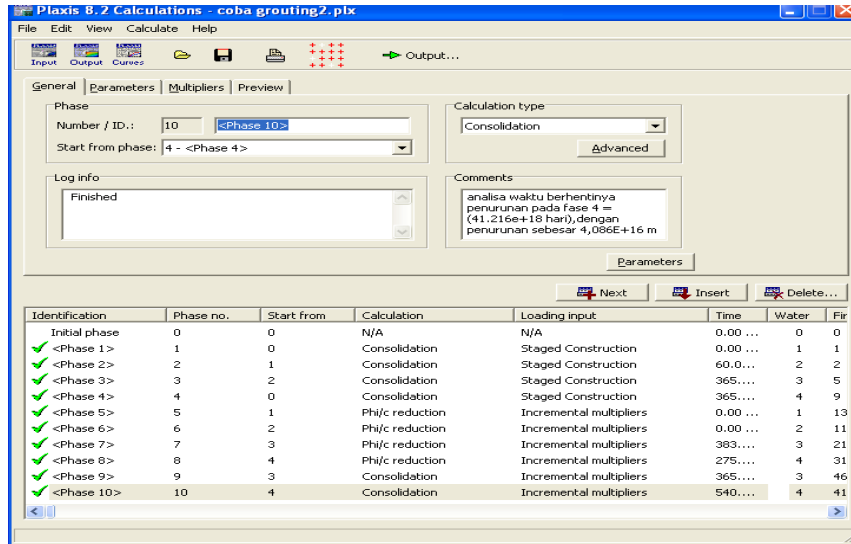
Tahapan Perhitungan dimulai setelah menekan tombol *<Calculate>* dan menyimpan data input pada tahap memasukkan data. Program penghitungan digunakan untuk mendefinisikan dan mengeksekusikan fasa-fasa perhitungan. Simulasi pemodelan dapat dibagi menjadi beberapa tahap / fasa perhitungan,

- Pada *tab sheet General* pilih *Plastic* pada *combo box* pertama dari *Calculation type* dan *Load adv. ultimate level* pada *combo box* kedua.
- Pada kotak *Number/ID* beri nama *phase 1* dengan *Gravity loading*.

Tahap awal dari analisis digunakan untuk menghitung tegangan-tegangan awal akibat berat sendiri massa tanah dan tegangan horizontal. Permukaan potongan melintang model yang dianalisa, bentuknya tidak horizontal (*non-horizontal surface*) sehingga untuk mencari tegangan dan regangan awalnya digunakan cara *Gravity Loading*. Metode ini digunakan untuk menghitung tegangan awal dengan cara memasukkan beban tanah pada tahap perhitungan, oleh karena itu *default* dari program yang memakai persamaan *Jaky* ($K_0 = 1 - \sin$

ϕ) tidak diperlukan dalam mencari regangan dan tegangan awal dari model elemen hingga.

- Tekan tombol *<Parameter>*, pada *tab sheet* ini terdapat parameter-parameter untuk mengontrol perhitungan. Berikan nilai default pada *combo box* dengan angka *maximum* dari *Additional step* =250.
- Pada kotak *Loading input* pilih *Total multipliers*, kemudian tekan tombol *Define*
- *Tab sheet multiplier* akan terpilih setelah menekan tombol *Define*. Pada *tab sheet* ini terdapat banyak tingkat variasi pembebanan.
- Pengaktifan *Gravity loading* dengan memasukkan nilai 1 pada kotak *Total Multipliers* Σ - M_{weight} , kemudian tekan *<Next>*
- Jika ada beban yang bekerja dapat diaktifkan bersama-sama pada tahap perhitungan ini, caranya dengan memasukkan nilai beban pada kotak Σ -*Mload* -*A*, lalu tekan tombol *<Next>*
- Nilai faktor keamanan dari fasa *Gravity loading* dicari dengan metode *Phi-c reduction*, beri nama fase tersebut sebagai *Safety factor analysis 1*.
- Pada *Calculation type combo box* pilih *Load Adv. Number of Steps*. Periksa pada *combo box Start from phase* harus dimulai dari fase 1- *Gravity loading*.
- Tekan tombol *Parameters*, pada *Additional steps* untuk memberikan gambaran detail pada *output* berikan nilai yang lebih rendah dari nilai *default*. Untuk memberikan gambaran umum berikan nilai *default*, yaitu 30. Beri tanda centang pada *Reset displacement to zero* dan *Delete intermediate step*. Pilih *Phi-c reduction* pada *Loading input*, lalu tekan *<Define>*
- Pada *tab sheet multipliers* biarkan semua nilai *default* yang ada. Nilai *Msf* pada *Incremental loading* = 0.1
- Tekan tombol; *<Calculate>* untuk memulai perhitungan fase-fase tersebut. Fase-fase yang akan dihitung diberi tanda anak panah biru di depan tulisan *Phase*, yang akan menjadi centang hijau apabila perhitungan sukses dilakukan.



Gambar 2.29. Tahap perhitungan

2.7.3 Output

Apabila proses perhitungan telah selesai kita bisa melihat hasil berupa gambar dan nilai-nilai hasil proses perhitungan dengan menekan tombol *output*

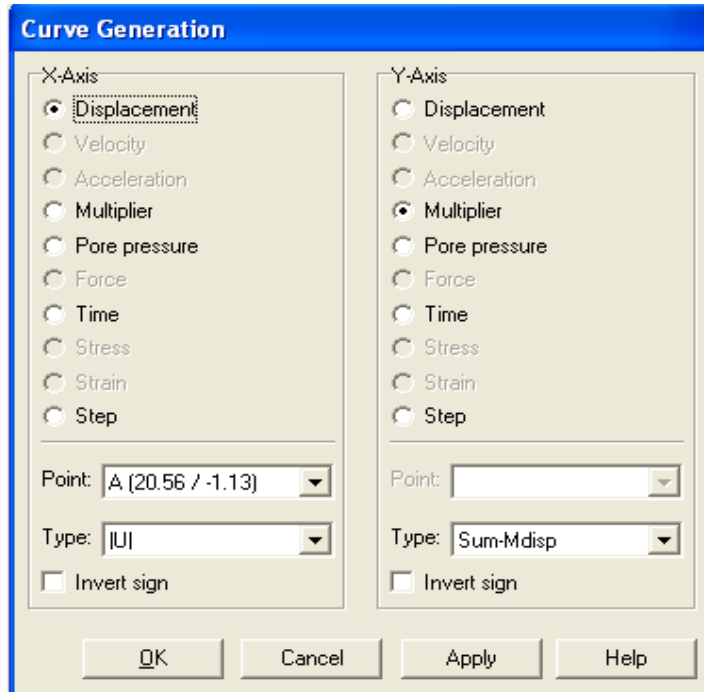
- Klik tombol *open file* dan buka *file* yang ingin dilihat *output* hasil perhitungannya
- Kita bisa melihat gambar *output* berupa, deformasi, *incremental* atau diagram momen, geser dan *axial* pada *beam*
- Dengan mengubah *arrows* ke *shading* pada gambar *incremental displacement* kita bisa mendapatkan gambaran informasi mengenai bidang gelincir yang bisa diaplikasikan pada geometri.

2.7.4 Curve

Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada titik titik yang ditinjau tekan tombol *Curve*.

- Klik tombol *new* untuk *file* yang baru atau *open file* pada grafik yang telah disimpan
- Untuk sumbu X biarkan sebagai nilai *displacement*, sumbu y sebagai *multiplier* atau *Sum-Msf* untuk analisa faktor keamanan
- Pilih titik yang ingin ditinjau pada kombo boks *point*.

- Klik OK



Gambar 2.30. *Curve generation windows*