

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi suatu kesatuan yang monolit yang menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpukan pondasi (K.Nakazawa,1983).

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat keatas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat yang dipengaruhi gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan-bangunan dermaga. Pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air (H.C.Hardiyatmo,2002).

Pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain:

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terledak diatas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.
2. Untuk meneruskan beban ketanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup

untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat keatas akibat tekanan hidrostatik atau momen pengguling.
4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang arahnya miring.
5. Untuk mendapatkan tanah pasi, sehingga kapasitas dukung tanah tanah tersebut bertambah.
6. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air (H.C.Hardiyatmo,2002).

B. Tanah

Tanah, di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kecocokan air. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut.

Istilah-istilah seperti krikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kandungan-kandungan terdapat pula kandungan bahan organik materialo campuranya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan belakang material unsur utamanya. Sebagai contoh pasir berlempung adalah pasir yang mengandung lempung,

dengan material utama pasir, lempung berlanau adalah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya.

1. Identifikasi Tanah

Tanah berbutir kasar dapat diidentifikasi berdasarkan ukurannya. Bergantung klasifikasi yang digunakan, jika dipakai *MIT nomenclature*, butiran yang berdiameter lebih dari 2mm, diidentifikasi sebagai kerikil. Jika butiran dapat dilihat oleh mata, tetapi ukurannya kurang dari 2mm₂, disebut pasir. Tanah pasir disebut pasir kasar jika diameter butiran berdiameter antara 2-0,6mm, pasir sedang jika diameternya antara 0,6-0,2mm, dan pasir halus bila diameternya antara 0,2-0,06mm.

Dalam ASTM D2487, pembagian klasifikasi tanah adalah sebagai berikut:

- a. *Cobble* adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 12 in (300 mm) dan tinggal dalam saringan 3 in (75 mm) (untuk saringan dengan lubang bujur sangkar standar Amerika).
- b. *Boulder* adalah partikel batuan yang tidak lolos saringan 12 in. (300 mm) (untuk saringan dengan lubang bujur sangkar standar Amerika).
- c. kerikil adalah partikel yang lolos saringan 3 in. (75mm) dan tertahan dalam saringan no.4 (4,75mm).
- d. Pasir adalah partikel yang lolos saringan no.4 (4,75mm) dan tinggal dalam saringan no.200 (0,075mm) dengan pembagian sebagai berikut:

- Pasir kasar lolos saringan no.4 (4,75mm) dan tahan dalam saringan no.10 (2mm).
 - Pasir sedang lolos saringan no.10 (25mm) dan tahan dalam saringan no.40 (0,425mm).
 - Pasir halus lolos saringan no.40 (0,425mm) dan tahan dalam saringan no.200 (0,075mm).
- e. Lanau adalah tanah yang lolos saringan no.200 (0,075mm). Untuk klasifikasi, lanau adalah tanah berbutir halus, atau fraksi halus dari tanah dengan indeks plastisitas kurang dari 4, atau jika dplot dalam grafik plastisitas letaknya dibawah garis miring yang memisahkan lanau dan lempung.
- f. Lempung adalah tanah berbutir halus dengan lolos saringan no.200 (0,075mm). Lempung mempunyai sifat plastis dalam kisaran kadar air tertentu, dan kekuatannya tinggi bila tanahnya kering udara.

Menurut peck et al. (1953), cara membedakan lanau dan lempung adalah dengan mengambil tanah basah dicetak dan dikeringkan, kemudian dipecah kedalam fragmen-fragmen kira-kira berukuran 1/8 in. (3,1mm) ditekan antara jari telunjuk dan ibu jari. Fragmen lempung hanya pecah jika dengan tekanan yang kuat, sedangkan fragmen lanau dapat dipecah dengan mudah.

2. Analisis Ukuran Butiran

Didalam tanah terdiri dari berbagai macam ukuran butiran, dari yang terbesar sampai yang terkecil. Dalam **Gambar 2.1** ditunjukkan pembagian nama jenis didasarkan ukuran butiran menurut *Unified Classification*

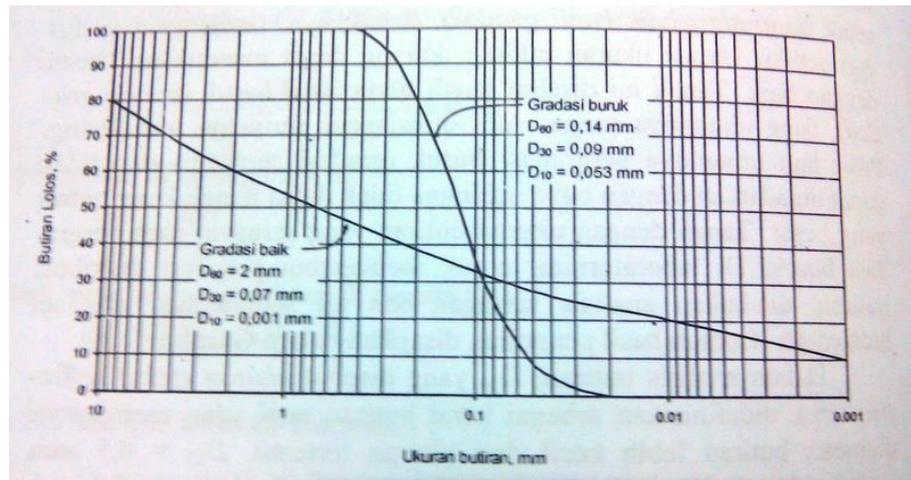
System, ASTM, MIT nomenclature dan International Nomenclature.

Pembagian nama jenis tanah, umumnya dapat dibagi menjadi sebagai berikut:

- Batuan adalah butiran yang berdiameter lebih besar dari 3".
- Kerikil adalah butiran yang tinggal dalam saringan berdiameter 2mm (no.10).
- Pasir adalah butiran yang tinggal dalam saringan berdiameter 0,075 mm (no.200 mm).
- Lanau dan lempung adalah butiran yang lolos saringan berdiameter 0,075 mm (no.200).

Unified Class system	1.7 mm	0.38	0.075								
	kasar	sedang	halus	Butiran halus (lanau dan lempung)							
	pasir										
ASTM	2.0 mm	0.42	0.075	0.005	0.001						
	pasir sedang		pasir halus		Lanau		Lempung		Lempung koloidal		
MIT nomenclature	2.0 mm	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002 mm		
	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
	pasir			Lanau			Lempung				
International nomenclature	2.0 mm	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002 mm
	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus
	pasir			Mo		Lanau		Lempung			

Gambar 2.1 Klasifikasi Butiran menurut Sistem Unifed, ASTM, MIT, International Nomenclature



Gambar 2.2 Distribusi Ukuran Butir Tanah

Variasi ukuran butir tanah dan proporsi distribusinya merupakan indikator yang sangat berguna untuk mengetahui perilaku tanah dalam mendukung beban pondasi. Dalam analisis butiran, D_{10} yang disebut ukuran efektif (*effective size*), didefinisikan sebagai berat butiran total yang mempunyai diameter butir lebih kecil dan ukuran tertentu. $D_{10}=0,5\text{mm}$, artinya 10% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,5 mm. Dengan cara yang sama, D_{30} dan D_{60} didefinisikan seperti cara tersebut.

Untuk pasir, tanah bergradasi baik, jika $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 4$. Kerikil bergradasi baik, jika $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 6$. Bila syaratnya C_c telah terpenuhi, dan nilai $C_u > 15$, Maka tanah termasuk bergradasi sangat baik.

Distribusi ukuran butir tanah berbutir kasar ditentukan dari analisis saringan. Ukuran saringan terkecil, umumnya, dipakai saringan nomor 200 standar Amerika atau ukuran diameter lubang 0,075 mm. Karena ukuran ini sangat dekat dengan batas ukuran butiran lanau dengan pasir, maka saringan nomor 200 sering dipakai untuk memisahkan antara material butiran kasar dan halus ketika hanya dipakai analisis saringan saja.

Butiran-butiran yang lolos saringan no.200 diuji dengan cara sedimentasi atau hidrometer.

3. Permeabilitas

Menurut Darcy (1856), kecepatan aliran air dalam tanah dinyatakan dengan persamaan:

$$v = ki \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

v = kecepatan rembesan (cm/det)

k = koefisien permeabilitas (cm/det)

$i = \Delta h/L =$ gradienn hidrolis

Δh = selisih tinggi energi total (m)

L = panjang lintasan aliran

Nilai koefisien permeabilitas (k) yang mempunyai satuan sama dengan kecepatan v , terutama bergantung pada macam bahan lolos air yang dilalui, berat volume dan kekuatan airnya. Bentuk ruang pori juga mempengaruhi nilai permeabilitas. Hazen mengusulkan hubungan nilai k sebagai berikut:

$$K=100(D_{10})^2 \dots\dots\dots(2.2a)$$

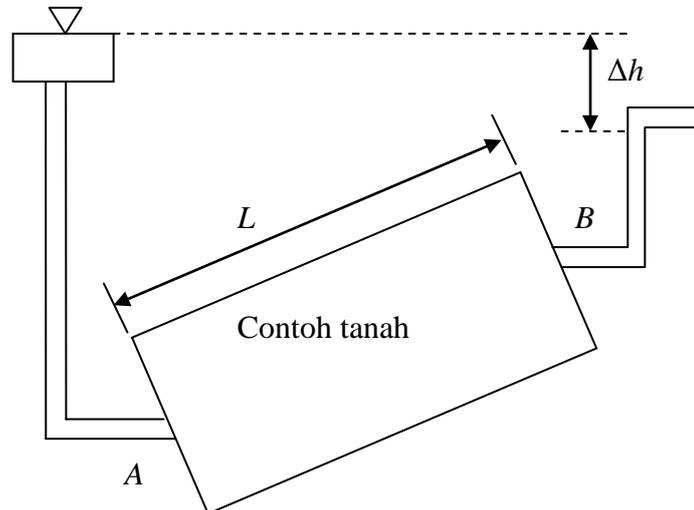
Dengan D_{10} dalam satuan cm dan k dalam cm/det. Telah diamati bahwa nilai k tanah granular mendekati sama dengan kuadrat nilai angka porinya (e), atau:

$$K \approx e^2 \dots\dots\dots(2.2b)$$

Kecepatan air merembes sebenarnya dinyatakan oleh:

$$v_s = v/n \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan n adalah porositas tanah



Gambar 2.3 Rembesan didalam tanah

4. Sifat-sifat teknis Tanah

Berikut ini diberikan penjelasan secara umum dari sifat-sifat teknis berbagai jenis tanah.

a. Tanah Granuler

Tanah granuler, seperti pasir, kerikil, batuan, dan campurannya, mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik. Sifat-sifat tersebut, antara lain:

- 1) Merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan perkerasan jalan, karena mempunyai kapasitas dukung yang tinggi dan penurunan kecil, asalkan tanahnya padat.

- 2) Merupakan material yang baik untuk tanah urug pada dinding penahan tanah dan lain-lain karena menghasilkan tekanan lateral yang kecil.
- 3) Tanah yang baik untuk urugan, karena mudah didapatkan dan mempunyai kuat geser yang tinggi. Bila tidak dicampur dengan material kohesif, tidak dapat digunakan sebagai bahan tanggul, bendungan, kolam, dan lain-lain, karena permeabilitasnya besar.

- Kerapatan Relatif

Kuat geser dan kompresibilitas tanah granuler tergantung dari kepadatan butiran yang biasanya dinyatakan dalam kerapatan relatif (D_r). Jika tanah granuler dipakai sebagai bahan urugan, kepadatannya dinyatakan dalam persen kepadatan atau kepadatan relatif (R_c). Dalam praktek, kerapatan relatif dapat ditentukan dari uji penetrasi, contohnya alat uji penetrasi standar (SPT).

- Bentuk dan Ukuran Butiran

Semakin besar dan kasar permukaan butiran, semakin besar kuat gesernya. Demikian pula mengenai gradasinya, jika gradasi semakin baik, semakin besar kuat gesernya.

- Kapasitas Dukung

Kerikil adalah material granuler yang dalam endapan alluvial biasanya bercampur dengan pasir, sering disebut juga sirtu (pasir-batu). Tanah pasir yang juga merupakan material granuler, mempunyai kapasitas dukung dan kompresibilitas yang sama seperti kerikil.

b. Tanah Kohesif

Tanah kohesif seperti lempung, lempung berlanau, lempung berpasir atau berkerikil yang sebagian besar butiran tanahnya terdiri dari butiran halus.

Tanah kohesif mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- 1) Kuat geser rendah, terutama bila kadar air tinggi atau jenuh.
- 2) Berkurang kuat gesernya, bila kadar air bertambah.
- 3) Berkurang kuat gesernya, bila struktur tanahnya terganggu.
- 4) Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
- 5) Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
- 6) Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan (creep) pada beban yang konstan.
- 7) Merupakan material kedap air.

- Kuat Geser

Pada uji tekan-bebas, kuat geser lempung jenuh ditentukan pada kondisi $\phi = 0$, dengan kuat geser tanah dinyatakan dalam persamaan:

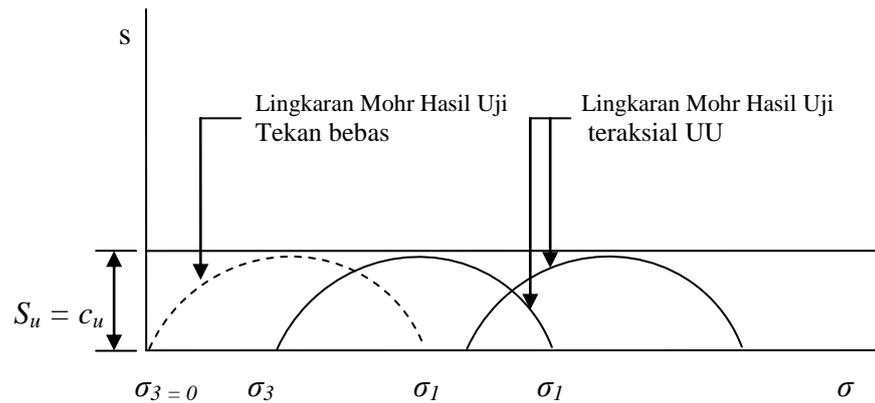
$$c_u = s_u = \frac{1}{2} q_u \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan q_u adalah tekanan aksialmaksimum tanah pada saat pengujian atau disebut kuat *tekan-bebas* (*unconfined compression strength*). Kuat geser lempung pada kondisi *tak terdrainase* ditentukan dari uji triaksial UU (*Unconsolidated Undrainase*).

Kuat geser tak terdrainase ditentukan dalam persamaan:

$$c_u = s_u = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \dots\dots\dots (2.5)$$

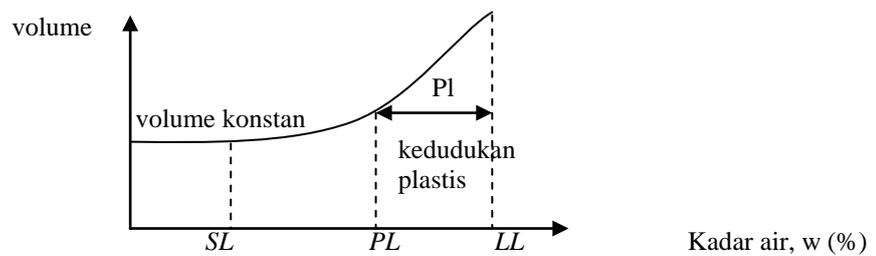
dengan σ_1 = tegangan utama mayor dan σ_3 = tegangan utama minor



Gambar 2.4 Contoh hasil uji traksial pada kondisi tak terdrainase dan uji tekan-bebas

- Plastisitas dan Konsentrasi

Atterberg (1911) memberikan cara dengan membagi kedudukan fisik lempung pada kadar air tertentu, dengan kadar air pada kedudukan padat, semipadat, plastis dan cair. Batas cair (LL) adalah nilai kadar air pada batas antara keadaan cair dan plastis.



Gambar 2.5 Batas-batas Atterberg dan Hubungan volume terhadap kadar air

Jika nilai PL dan LL bertambah, diperkirakan butiran tanah semakin halus. Selisih antara LL dan PL disebut *Indeks Plastisitas* (PI), atau

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (2.6)$$

- *Sensitivitas*

Klasifikasi sensitivitas tanah kohesif adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sensitivitas tanah lempung

Sensitivitas	Macam
1	lempung tidak sensitif
1-2	lempung sensitif rendah
2-4	lempung sensitif sedang
4-8	lempung sensitif
8-16	lempung ekstra sensitif
>16	<i>Quick clay</i>

c. Tanah Lanau dan Loess

Lanau adalah material yang lolos saringan no.200 Peck et al. (1953) membagi tanah ini menjadi 2 katagori, yaitu lanau yang dikarakteristikkan sebagai tepung batu yang tidak plastis dan lanau yang bersifat plastis. Disebabkan oleh butirannya yang halus, lanau mempunyai sifat yang tidak menguntungkan, seperti:

- 1) Kuat geser rendah, segera sesudah penerapan beban.
- 2) Kapilaritas tinggi.
- 3) Permeabilitas rendah.
- 4) Kerapatan relatif rendah dan sulit dipadatkan.

Lanau *alluvial*, umumnya, banyak mengandung air dan berkonsentrasi lunak. Tanah ini merepotkan bila digali karena akan selalu longsor.

Loess adalah material lanau yang diendapkan oleh angin dengan diameter butiran kira-kira 0,06mm. Partikelnya biasanya mempunyai rekatan dan berat volume kira-kira 10 kN/m³.

5. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Sistem klasifikasi AASTHO membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah berbutir yang 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3. Tanah berbutir yang lebih dari 35 % butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	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	Maks 35	Maks 35	Maks 35
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 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5		A-6		A-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36		Min 36		Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Maks 41 Maks 10		Maks 40 Maks 11		Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau				Tanah Berlempung		
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Kelompok tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang didasarkan material yang lolos saringan no.200 (diameter 0,075). Huruf pertama merupakan singkatan dari jenis-jenis tanah.

G = kerikil (*gravel*)

S = Pasir (*sand*)

M = Lanau (*silt*)

C = Lempung (*clay*)
plasticity)

O = organik (*organic*)

Pt = gambut (*peat*)

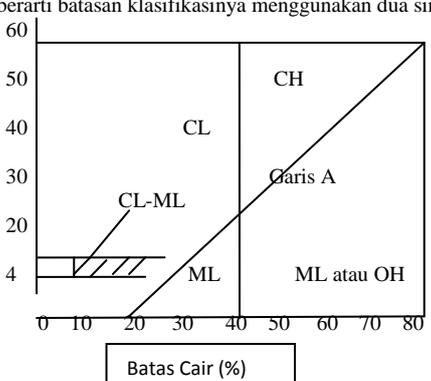
W = gradasi baik (*well graded*)

P = gradasi buruk (*poor graded*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

H = plastisitas tinggi (*high*

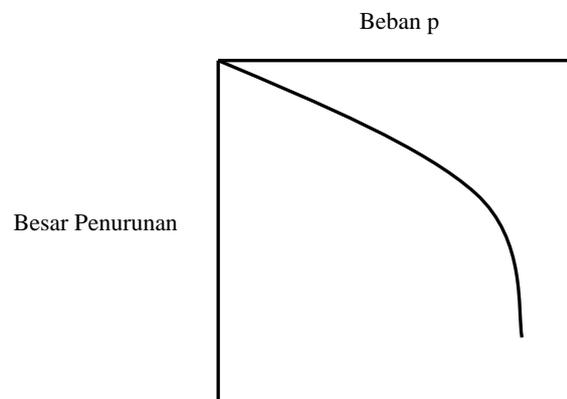
Tabel 2.3 . Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

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	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW		Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
				SP		Pasir bergradasi-buruk, 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 $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan 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 : Bowles J.E 1993.

6. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah didefinisikan sebagai kekuatan maksimum tanah menahan tekanan dengan baik tanpa menyebabkan terjadinya failure. Sedangkan failure pada tanah adalah penurunan (sattlement) yang berlebihan atau ketidak mampuan tanah melawan gaya geser dan untuk meneruskan beban pada tanah. (*Bowles J.E 1993*)



Gambar 2.6 Daya Dukung Batas Dari Tanah Pondasi

Gambar diatas menunjukkan bahwa apabila beban bekerja pada tanah pondasi dinaikkan maka penurunan akan meningkat dengan cepat setelah gaya telah mencapai gaya tertentu dan kemudian penurunan akan terus berlanjut, meskipun beban tidak ditambah lagi.

Tujuan perbaikan daya dukung tanah yang paling utama adalah untuk memadatkan tanah yang memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan spesifikasi pekerjaan tertentu.

Menurut Bowless (1989), ada beberapa keuntungan pemadatan :

1. Berkurangnya penurunan permukaan tanah (*subsidence*) yaitu gaya vertikal pada massa tanah akibat berkurangnya angka pori.
2. Bertambahnya kekuatan tanah.
3. Berkurangnya penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

Sedangkan Kerugian utamanya adalah bahwa pemuaiian (bertambahnya kadar air dari nilai patokannya) dan kemungkinan pembekuan tanah itu akan membesar.

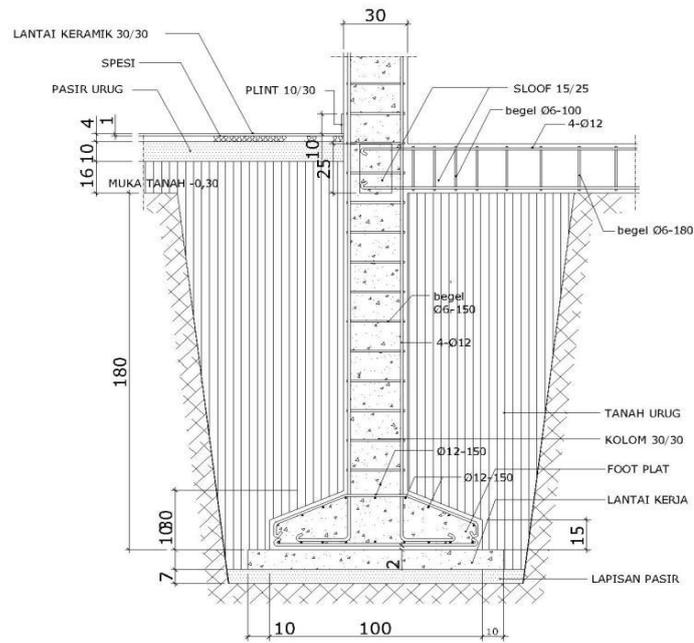
C. Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah bangunan yang meneruskan beban bangunan ketanah atau batuan yang berada dibawahnya. Klasifikasi pondasi dibagi 2 (dua) yaitu:

1. Pondasi Dangkal

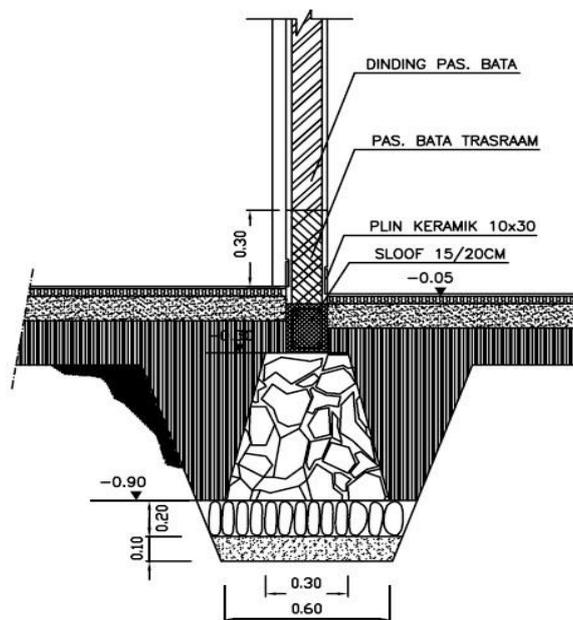
Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung seperti:

- a. Pondasi telapak yaitu pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom seperti pada gambar di bawah ini.



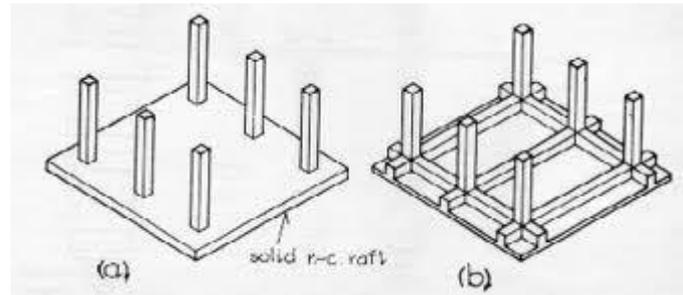
Gambar 2.7 Pondasi Telapak

- b. Pondasi memanjang yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lain seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Pondasi Memanjang

- c. Pondasi rakit (*raft foundation*) yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya berhimpit satu sama lain seperti pada gambar di bawah ini:

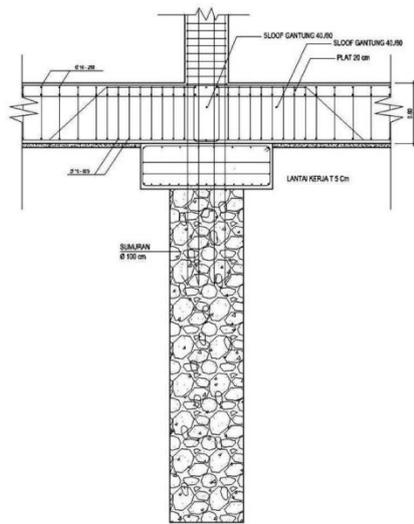


Gambar 2.9 Pondasi Rakit

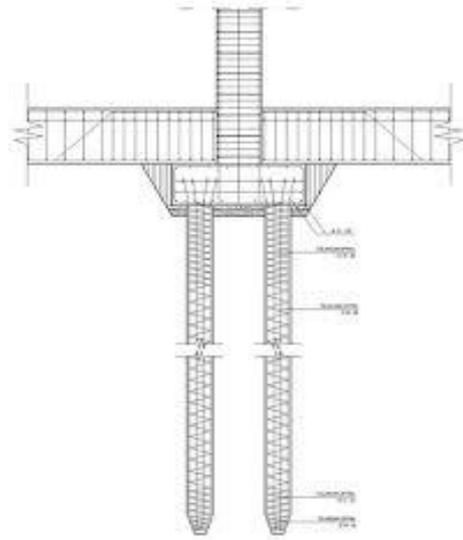
2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ketanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, seperti:

- a. Pondasi sumuran (*pire foundation*) yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (DF) dibagi lebarnya (B) lebih besar 4, sedang pondasi dangkal $DF/B \leq 1$.
- b. Pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sdangat dalam. Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding pondasi sumuran (Bowles, 1991).



Gambar 2.10 Pondasi Sumuran



Gambar 2.11 Pondasi tiang

Pemilihan jenis pondasi yang tepat, perlu diperhatikan apakah pondasi tersebut sesuai dengan keadaan tanah:

1. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini menggunakan pondasi telapak.
2. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini menggunakan pondasi tiang apung.
3. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah, maka pada kondisi ini apabila penurunannya diizinkan dapat menggunakan tiang geser dan apabila tidak boleh terjadi penurunannya, biasanya menggunakan tiang pancang. Tetapi bila terdapat batu besar pada lapisan antara permukaan kaisan lebih menguntungkan.

4. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah dapat menggunakan kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor ditempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja kurang dari 3 kg/cm^2 maka digunakan kaison tekanan.

Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 40 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini maka menggunakan tiang baja dan tiang beton yang dicor ditempat (*Bowles J.E, 1993*)

D. Secant Pile

Secant pile dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kukuh, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang.

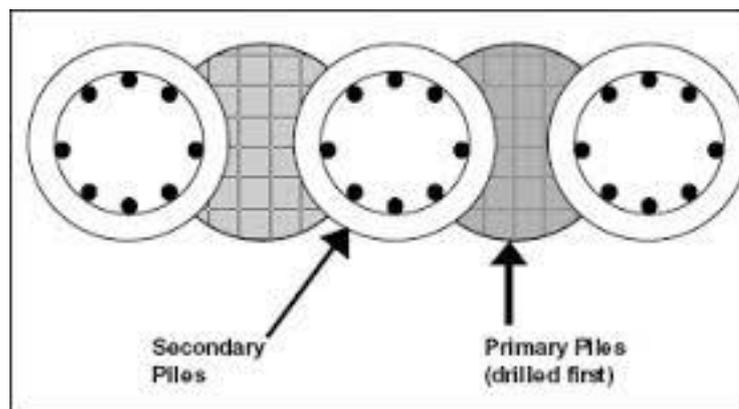
Secant pile merupakan sebuah keharusan untuk pembangunan sebuah gedung bertingkat tinggi dengan jumlah basement lebih dari dua lapis. Munculnya galian tanah basement akan membuat perubahan struktur tanah di sekitarnya. Resiko yang paling awal adalah runtuhnya tanah di sekitar lokasi galian, sehingga akan ada pergerakan gedung di sekitarnya. Bahayanya adalah, gedung akan bergeser. Pergerakan gedung di sekitar lokasi galian biasanya

terlihat dari adanya retakan tanah di sekitar gedung. Selanjutnya akan diikuti dengan miringnya gedung tersebut.

Kejadian seperti ini tentulah tidak dikehendaki. Untuk mengantisipasi faktor tersebut dan demi kelancaran pekerjaan pembangunan, maka dibuatlah dinding penahan tanah atau *Secant pile*. *Secant pile* ini memakai pile yang disusun berdempetan sedemikian rupa untuk mendapatkan daya tahan terhadap tekanan tanah lateral. Biasa juga disebut dengan istilah *retaining wall*.

Ada dua jenis *pile* yang mempunyai karakteristik yang berbeda yaitu:

1. *Pile primer* yang merupakan rangka struktur utama dinding penahan tanah terbuat dari beton bertulang dengan mutu K-225. Bila dimensi pile dirasa kurang aman, diperlukan support kekuatan berupa pemasangan angkur tanah (*ground anchorage*).
2. *Pile sekunder* terbuat dari campuran semen dan bentonite, tanpa tulangan. Mutu beton antara K-175 sampai K-225. Pile sekunder harus mudah dipotong dengan mesin bor.



Gambar 2.12 *Pile primer* dan *Pile sekunder* saling menempel satu sama lain untuk membentuk dinding

Dalam penggunaan dinding penahan tanah jenis *secant pile* ini ada keuntungan dan kerugiannya, diantaranya.

Keuntungan penggunaan *secant pile*, antara lain:

1. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah dan peningkatan kekuatan dinding dibanding tidak memakai pondasi jenis ini.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan dan bisa langsung dipasang ditanah yang sulit atau berbatu.
3. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium serta konstruksi kurang bising, serta dapat didirikan sebelum penyelesaian tahap selanjutnya.
4. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempungan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak kesamping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi *secant pile*
5. Tanah dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak.
6. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Kerugian penggunaan *secant pile*, antara lain:

1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan , bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dokontrol dengan baik.

3. Air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga dapat mengurangikapasitas dukung tanahterhadap tiang.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.
5. Akan terjadi tanah runtuh (ground loss) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang casing untuki mencegah kelongsoran.
6. Kebisingan dan getaran yang dihasilkan, jika casing didorong sebagai pengganti hidrolis mendorong dan diambil casing.
7. Toleransi vertikalitas mungkin sulit untuk mencapai pengeboran yang mendalam

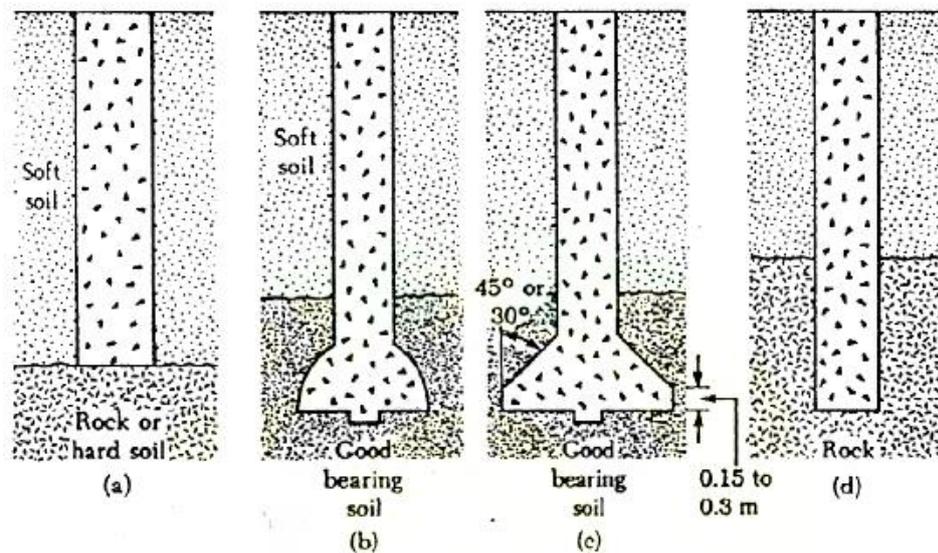
E. Bored Pile

Pondasi *bored pile* adalah batang yang relative panjang dan langsing yang digunakan untuk menyalurkan beban pondasi melewati lapisan tanah dengan daya dukung rendah kelapisan tanah keras yang mempunyai kapasitas daya dukung tinggi yang relative cukup dalam dibanding pondasi dangkal. Daya dukung *bore pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bore pile* dan tanah disekelilingnya.

Bored pile berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang juga akurat.

Ada beberapa jenis pondasi *bored pile* yaitu :

- Bored pile* lurus tanah keras.
- Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
- Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.
- Bored pile* lurus untuk tanah berbatu.



Gambar 2.13. Jenis-jenis Bored pile (*Braja M. Das, 1941*)

Ada beberapa alasan digunakannya pondasi *bored pile* dalam konstruksi :

Bored pile tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau *pile cap*.

- Kedalaman tiang dapat divariasikan.
- Bored pile* dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya.
Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi *bored pile* hal ini dapat dicegah.
- Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang

sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi *bored pile*.

4. Selama pelaksanaan pondasi *bored pile* tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.
5. Karena dasar dari pondasi *bored pile* dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
6. Permukaan diatas dimana dasar *bored pile* didirikan dapat diperiksa secara langsung.
7. Pondasi *bored pile* mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral

Beberapa kelemahan dari pondasi *bored pile* :

1. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pengecoran, dapat diatasi dengan cara menunda pengeboran dan pengecoran sampai keadaan cuaca memungkinkan atau memasang tenda sebagai penutup.
2. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil maka menggunakan bentonite sebagai penahan longsor.
3. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik maka diatasi dengan cara ujung pipa tremie berjarak 25-50 cm dari dasar lubang pondasi.
4. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang, maka

air yang mengalir langsung dihisap dan dibuang kembali kedalam kolam air. Akan terjadi tanah runtuh (*ground loss*) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang *casing* untuk mencegah kelongsoran.

5. Karena diameter tiang cukup besar dan memerlukan banyak beton dan material, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biayanya sangat melonjak maka ukuran tiang *bored pile* disesuaikan dengan beban yang dibutuhkan. Walaupun penetrasi sampai ke tanah pendukung pondasi dianggap telah terpenuhi, kadang-kadang terjadi bahwa tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar, maka dipasang pipa paralon pada tulangan *bored pile* untuk pekerjaan base *grouting*

F. Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) adalah konstruksi yang digunakan untuk memberikan stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi-kondisi masa bahayanya tidak memiliki kemiringan alami, dan juga digunakan untuk menahan atau menopang timbunan tanah. Dinding konsol (*cantilever*) adalah dinding beton bertulang yang menggunakan aksi konsol untuk menahan massa yang berada dibelakang dinding dari kemiringan alami yang terjadi.

Berdasarkan cara mencapai stabilitas, dinding penahan (*retaining wall*) diklasifikasikan atas enam jenis utama yaitu:

1. Dinding penahan yang dibuat dari balok batuan, bata, atau beton polos.
2. Dinding pertebalan belakang, atau dinding pertebalan depan.
3. Dinding konsol.
4. Dinding tahan kisi.

5. Dinding semi gravitas.
6. Dinding tumpuan jembatan

1. Stabilitas Retaining Wall

Retaining wall harus memiliki stabilitas yang cukup terhadap geseran. Tanah di depan dinding mempunyai tahanan tekanan tanah pasif karena dinding cenderung terdorong kedalam. Jika tanah digali atau terkikis karena erosi sesudah dinding dibangun, maka komponen tekanan pasif tidak tersedia dan ketakstabilan geser dapat terjadi.

Tahanan sepanjang dasar pondasi dianggap sebagai fR , dimana R mencakup semua gaya vertikal, termasuk komponen vertikal dari P_a , yang bekerja pada dasar pondasi. Koefisien gesekan diantara dasar dan tanah dapat diambil sebagai.

$$f = \tan \Phi \text{ sampai } 0,67 \tan \Phi$$

Dan kohesif basis c' sebagai

$$c' = 0,5c \text{ sampai } 0,75c$$

Faktor keamanan untuk melawan geseran paling sedikit harus 1,5 untuk urugan tak berkohesi dan kira-kira 2,0 untuk urugan kohesif, yang dihitung sebagai berikut:

$$F_{\text{geseran}} = \frac{\text{Jumlah gaya-gaya penolak}}{\text{Jumlah gaya-gaya pendorong}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Faktor keamanan yang bisa untuk melawan guling terhadap tapak adalah 1,5 dengan nilai sebesar 2,0 disarankan untuk tanah kohesif yang dihitung sebagai berikut:

$$F_{\text{guling}} = \frac{\text{Jumlah momen yang melawan guling}}{\text{Jumlah momen guling}} \dots\dots\dots(2.8)$$

2. Kapasitas Dukung Yang Diizinkan

Beberapa persamaan kapasitas dukung tanah telah digunakan untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah, seperti persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi (1943), Meyerhof (1951, 1963), Vesic (1975) dan Hansen (1970)

1. Persamaan Terzaghi

Kapasitas dukung ultimit (q_u) untuk pondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan:

$$q_u = 1,3.c.N_c + P_o.N_q + 0,3.\gamma.B.N_\gamma \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan,

c = kohesi tanah (kN/M2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

P_o = $D_f \gamma$ = tekanan overburden pada dasar pondasi
(kN/m2)

γ = berat volume tanah (kN/m3)

B = lebar fondasi dinding pemnahan tanah (m)

N_c, N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaqhi nilainya didasarkan pada sudut gesek dalam (ϕ), dari

Tabel yang ada pada lampiran 1.

Persamaan Terzaghi hanya berlaku untuk pondasi yang dibebani secara vertikal dan sentris, sedang resultan-resultan pada dinding

penahan tanah umumnya miring dan eksentris. Karena itu hitungan kapasitas dukung tanah dibawah dinding penahan harus didasarkan pada kapasitas dukung kondisi beban miring dan eksentris, misalnya persamaan Meyerhof (1951, 1963), Vesic (1975) atau Hansen (1970).

2. Persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975)

Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk beban miring dan eksentris:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan,

$d_c d_q d_\gamma$ = faktor kedalaman

$i_c i_q i_\gamma$ = faktor kemiringan

B = lebar dasar pondasi sebenarnya (m)

e = eksentrisitas beban (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

$N_c N_q N_\gamma$ = faktor-faktor kapasitas dukung

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{q_u}{q} \geq 3 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan q = tekanan akibat beban struktur. Umumnya, faktor aman (F) terhadap keruntuhan tanah dasar minimum diambil sama dengan 3.

Tekanan struktur tanah dasar pondasi dapat dihitung dari persamaan-persamaan sebagai berikut:

- Bila dipakai cara lebar efektif fondasi (asumsi Mayerhof):

$$q = \frac{V}{B'} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan V = beban vertikal total dan $B' = B - 2e$.

- Bila distribusi tekanan kontak antara tanah dasar pondasi dianggap linier (cara ini dulu dipakai bila dalam hitungan kapasitas dukung digunakan persamaan Terzaghi):

$$q = \frac{V}{B'} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \text{ bila } e \leq B/6 \dots\dots\dots(2.13)$$

$$q_{mak} = \frac{2V}{3(B-2e)} \text{ bila } e \leq B/6 \dots\dots\dots(2.14)$$

dalam perancangan, lebar pondasi dinding penahan (B) sebaiknya dibuat sedemikian sehingga $e < (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi pondasi maksimum dan perbedaan tekanan pondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar (untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan).

3. Kestabilan Terhadap Guling

Kestabilan struktur terhadap kemungkinan terguling dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

$$\sum M_w = WbI$$

$$\sum M_g = \sum P_{ah} h_I + \sum P_{av} B$$

- $\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)
 $\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)
 W = berat tanah diatas pelat pondasi + berat sendiri
dinding penahan (kN)
 B = lebar kaki dinding penahan (m)
 $\sum P_{ah}$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)
 $\sum P_{av}$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, yaitu

$$F_{gl} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granular}$$

$$F_{gl} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

Jika tanah pasif yang ditimbulkan oleh pengunci pada dasar pondasi diperhitungkan, maka nilainya harus direduksi untuk mengantisipasi pengaruh-pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

4. Ketahanan Terhadap Geser

Gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh:

1. Gesekan antara tanah dan dasar pondasi.
2. Tekanan tanah pasif bila di depan dinding penahan terhadap tanah timbunan.

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \dots\dots\dots (2.16)$$

- Untuk tanah granular ($c = 0$):

$$\begin{aligned} \sum R_h &= Wf \\ &= W \operatorname{tg} \delta_b ; \text{ dengan } \delta_b \geq \varphi \end{aligned}$$

- Untuk tanah kohesif ($\varphi = 0$):

$$\sum R_h = c_a B$$

- Untuk tanah $c - \varphi$ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$):

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_b$$

Dengan,

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

W = berat total dinding penahan dan tanah diatas pelat pondasi (kN)

δ_b = sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi, biasanya diambil

$$1/3 - 2/3 \varphi$$

c_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)

c = kohesi tanah dasar (kN/m²)

a_d = faktor adhesi

B = lebar pondasi (m)

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

F = $\operatorname{tg} \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar pondasi

Faktor aman terhadap penggeseran dasar pondasi (F_{gs}) minimum, diambil 1,5. Bowles (1997) menyarankan:

$$F_{gs} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granuler}$$

$$F_{gs} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

Dalam **Tabel 2.4** ditunjukkan nilai-nilai f dari berbagai macam jenis tanah dasar. Jika dasar pondasi sangat kasar, seperti beton yang dicor langsung ketanah, koefisien gesek $f = \text{tg } \delta_b = \text{tg } \varphi$, dengan φ adalah sudut gesek dalam tanah dasar.

Tabel 2.4 Koefisien gesek (f) antara dasar pondasi dan tanah dasar (AREA, 1958)

jenis tanah dasar pondasi	$f = \text{tg } \delta_b$
Tanah granuler kasar tank mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Perhatian perlu diberikan jika dinding penahan tanah terletak pada tanah lanau dan lempung. Segera sebelum pondasi dicor, dasar pondasi lebih baik digali sedalam 10cm, setelah itu ditimbun dengan tanah pasir kasar atau pasir campur kerikil yang dipadatkan setebal 10cm. Koefisien gesek antara pasir dan tanah dibawahnya (f) dapat diambil 0,35 (Terzaghi dan peck, 1948). Jika faktor aman terhadap penggeseran $F_{gs} = 1,5$ sulit dicapai, maka lebih baik dipakai pengunci. Penambahan pengunci ini akan menambah tahanan tanah pasif.

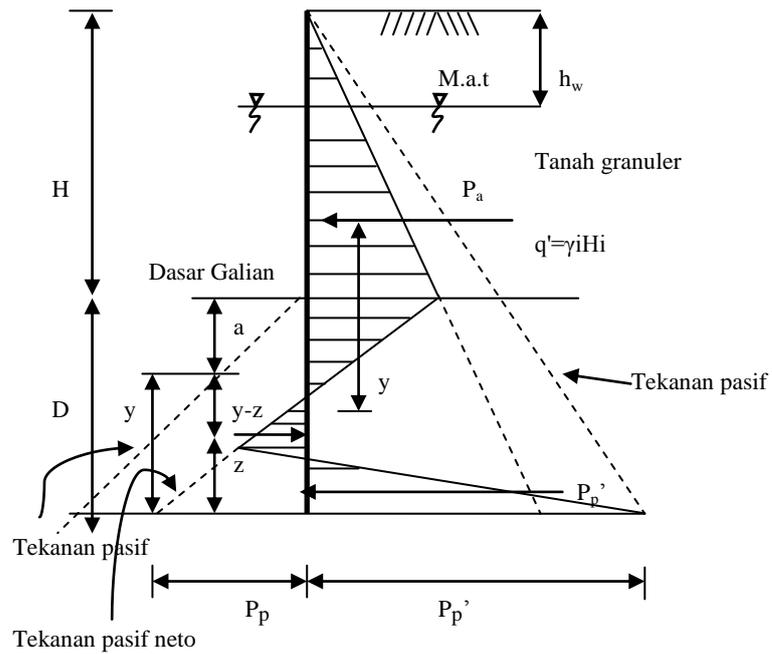
G. Teori Turap

Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi untuk menahan tanah juga berfungsi menahan masukan air kedalam lubang galian. Turap banyak digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan seperti: penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan dipelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain.

1. Turap Kantilever Pada Tanah Granuler

Karena turap terletak pada tanah granuler, cukup beralasan bila diasumsikan muka air tanah mempunyai ketinggian yang sama dibagian depan dan belakang turap. Sehingga, distribusi tekanan (termasuk pengaruh beban terbagi rata dan lain-lainya) dapat ditentukan dari nilai K_a dan K_p . Jika faktor aman diperhitungkan, maka dapat dipilih salah satu dari dua kemungkinan:

- a. Mereduksi K_p (sampai 30%-50%) atau
- b. Menambah kedalaman penetrasi antara 20% sampai 40%. Hal ini akan memberikan faktor aman sebesar $\pm 1,5-2,0$.



Gambar 2.14 Distribusi tekanan tanah pada turap yang terletak pada tanah granuler homogen

Dari distribusi tekanan tersebut, lokasi saat tekanan sama dengan nol akan terdapat pada jarak a dari permukaan galian. Jarak ini dapat dihitung dengan memakai perbandingan pada diagram tekanan segitiga, yaitu:

$$a = \frac{q'Ka}{\gamma'(Kp - Ka)}$$

dengan $q' = \sum H_i \gamma_i$ dari menjumlahkan gaya-gaya pada arah horizontal dapat persamaan untuk menghitung jarak z (lihat **Gambar 2.14**), yang diperoleh dari $\sum FH = 0$,

$$P_a + P_p' - P_p = 0 \dots\dots\dots(2.17)$$

Karena,

$$[P_p' - P_p] = (P_p + P_p') \frac{z}{2} - P_p \frac{y}{2}$$

Substitusi ke **Persamaan (2.17)** dihasilkan,

$$P_a + (P_p + P_p') \frac{z}{2} - P_p \frac{Y}{2} = 0$$

Penyelesaian dari persamaan tersebut dapat diperoleh h,

$$z = \frac{P_p Y - 2P_a}{P_p + P_p'} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan mengambil $\sum M_{\text{dasar turap}} = 0$,

$$P_a (Y + y) + (P_p + P_p') \frac{z}{2} \frac{z}{3} - P_p \left[\frac{Y}{2} \right] \left[\frac{Y}{3} \right] = 0$$

Atau,

$$P_a (Y + y) + (P_p + P_p') z^2 - P_p Y^2 = 0 \dots\dots\dots(2.19)$$

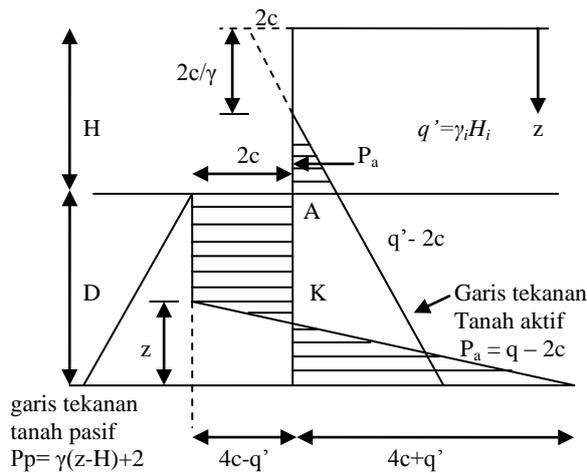
Dengan $y =$ jarak diukur dari tekanan sama dengan nol sampai P_a

Substitusikan z , ke persamaan (1.18), diperoleh:

$$P_a (Y + y) + \left[\frac{1}{P_p + P_p'} \right] (P_p^2 Y^2 - 4P_p Y P_a) - P_p Y^2 = 0$$

2. Turap Kantilever Pada Tanah Kohesif

Perancangan turap pada tanah kohesif sangat kompleks, karena kuat geser tanah tersebut berubah dengan berjalannya waktu. Dengan demikian tekanan tanah pada turap berubah pula dari waktu ke waktu. Tinjauan stabilitas jangka panjang juga harus diperhatikan akibat geser tanah lempung yang berubah dengan waktunya. Analisis harus didasarkan pada parameter tegangan efektif ϕ' dan c' yang diperoleh dari pengujian-pengujian teraksial *consolidated drained* (terkonsolidasi-terdrainase), atau dari pengujian *consolidated undrained* (terkonsolidasi-tak terdrainase) dimana dalam pengujian ini diadakan pengukuran tekanan air pori.



Gambar 2.15 Turap secara keseluruhan pada tanah lempung

Pada kondisi runtuh, tekanan tanah aktif dinyatakan oleh

$$P_a = \gamma z \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \phi/2) - 2c \operatorname{tg} (45^\circ - \phi/2) \dots\dots\dots(2.20a)$$

Dan tekanan tanah pasif:

$$P_p = \gamma z \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \phi/2) + 2c \operatorname{tg} (45^\circ + \phi/2) \dots\dots\dots(2.20b)$$

Karena pada tanah kohesif jenuh $\phi = 0$

$$K_a = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \phi/2) = 1$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \phi/2) = 1$$

Maka, untuk $\phi = 0$, $K_a = K_p = 1$

Dengan memperhatikan persamaan-persamaan (2.20a) dan (2.20b), tekanan tanah pasif didepan turap, secara umum dapat dinyatakan oleh persamaan:

$$P_p = \gamma(z - H) + 2c \text{ untuk } z > H \dots\dots\dots(2.21a)$$

Tekanan tanah aktif dari belakan turap:

$$P_p = \gamma z - 2c \dots\dots\dots(2.21b)$$

Dengan,

z = kedalaman tanah di bawah tanah asli (permukaan tanah urug)

$c = c_u$ = kohesi tanah pada kondisi undrained

γ = berat volume efektif (berat volume basah bila tanah di atas
maka air dan berat volume terapung bila terendam air)

H = tinggi tanah yang berada di atas dasar galian

Bila tanah tidak homogen, berlapis atau sebagian terendam air maka tekanan efektif merupakan tekanan *overburden* efektif, yaitu $q' = \sum \gamma_i H_i$ gunakan berat volume apung (γ') bila tanah terendam air).

Zone tanah lempung yang mengalami tarikan diabaikan. Cara hitungan perancangan sama dengan turap kantilever pada tanah granuler. Titik K dan kedalaman penembusan turap D dipilih sedemikian sehingga harus memenuhi 2 kriteria:

- a. Jumlah gaya-gaya horizontal sama dengan nol
- b. Jumlah momen-momen pada sembarang titik sama dengan nol

Dari jumlah gaya-gaya horizontal sama dengan nol (F_H) = 0:

$$P_a + (P_p' - P_p) = 0$$

$$(P_p' - P_p) = (z/2) (4c - q' + 4c + q') - D(4c - q')$$

$$= 4cz - D(4c - q')$$

$$P_a + 4cz - D(4c - q')$$

Sehingga:

$$z = \frac{D(4c - q') - P_a}{4c} \dots\dots\dots(2.22)$$

Jumlah momen pada sembarang titik sama dengan nol,

$$P_a (y + D) - (D^2/2) (4c - q') + (z^2/3) (4c) = 0 \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan y = jarak resultan gaya-gaya tekanan tanah aktif di atas dasar galian terhadap dasar galian (titik A). Substitusi **persamaan-persamaan (2.22)**, **(2.23)** dan dengan melakukan penyederhanaan, diperoleh persamaan untuk menentukan kedalaman penetrasi turap (D):