

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dari bahan-bahan organik berpartikel padat yang telah melapuk serta zat cair maupun gas yang turut mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, dan juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Untuk membedakan tiap jenis tanah serta mengetahui sifatnya masing-masing, dilakukan dengan metode sistematis (sistem klasifikasi).

2.2. Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya *differential settlement* pada sistem strukturnya.

2.2.1. Macam – macam tipe pondasi

Terdapat 2 klasifikasi pondasi yaitu pondasi Dangkal dan pondasi Dalam

A. Pondasi Dangkal

Jenis pertama adalah pondasi dangkal yang biasanya digunakan dalam pembangunan rumah. Pondasi rumah dangkal umumnya dibuat pada kedalaman tanah yang rendah, yaitu tidak lebih dari 3 meter atau sepertiga dari lebar alas pondasi. Pondasi ini bisa diterapkan di wilayah yang kondisi permukaan tanahnya keras atau stabil untuk mendukung struktur bangunan yang tidak terlalu berat dan tinggi.

1. Pondasi Tapak

Pondasi tapak digunakan untuk mendukung titik beban tunggal pada sebuah bangunan. Umumnya bangunan yang dibangun berbentuk melingkar atau bulat, tetapi ada juga yang berbentuk kotak atau persegi. Pondasi tapak juga biasanya didirikan dalam bentuk bertingkat untuk menopang beban yang berasal dari kolom yang cukup berat. Tiang dan kedalaman pondasi akan mencapai tanah keras, sehingga cocok untuk bangunan yang berdiri di tanah yang lunak.

2. Pondasi memanjang

Pondasi memanjang digunakan untuk mendukung beban yang memanjang (beban garis). Pada umumnya pondasi memanjang di buat untuk dinding bangunan yang dibuat membentuk persegi, persegi panjang atau trapezium.

3. Pondasi Raft

Pondasi *Raft* digunakan untuk menyebarkan beban struktur atas area yang luas. Biasanya jenis pondasi yang satu ini sering digunakan di area tanah tanah yang memiliki tekstur yang lebih lunak atau longgar dengan kapasitas dengan daya tahan yang rendah.

4. Pondasi Sarang Laba – Laba

Pondasi ini merupakan pondasi dangkal konvensional, kombinasi antara sistem plat beton pipih menerus dan sistem perbaikan tanah. Pondasi ini memanfaatkan tanah sebagai bagian dari struktur pondasi.

B. Pondasi Dalam

Pondasi dalam diterapkan pada permukaan tanah dengan kedalaman tertentu. Melalui penggunaan pondasi dalam, daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah. Pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 meter di bawah permukaan tanah. Beberapa contoh pondasi dalam yang sering dijumpai meliputi pondasi tiang pancang, pondasi pier, hingga pondasi caissons atau pondasi bore pile

1. Pondasi *Caissons* atau Pondasi *Bore Pile*

Pondasi caissons atau bore pile adalah bentuk pondasi dalam yang dibangun di dalam permukaan tanah dengan kedalaman tertentu. Pondasi ditempatkan sampai kedalaman yang dibutuhkan dengan cara membuat lubang yang dibor dengan alat khusus. Setelah mencapai kedalaman yang ditentukan, dilakukan pemasangan bekisting yang terbuat dari plat besi dan dimasukkan rangka besi pondasi yang telah dirakit sebelumnya. Lalu dilakukan pengecoran terhadap lubang yang sudah dibor tersebut. Sistem kerja pondasi ini hampir sama dengan pondasi tiang pancang, yaitu meneruskan beban struktur bangunan di atas ke tanah dasar di bawahnya sampai kedalaman tanah yang dianggap kuat atau memiliki daya dukung yang cukup. Jenis pondasi ini cocok digunakan untuk lokasi pekerjaan yang di sekitarnya rapat dengan bangunan lain, karena proses pembuatan pondasi ini tidak menimbulkan efek getar yang besar.

2. Pondasi Tiang Pancang

Penggunaan pondasi rumah tiang pancang bisa dilakukan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban. Pondasi ini juga bisa dipertimbangkan apabila tanah mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang dalam dari permukaan tanah dengan kedalaman lebih dari 8 meter. Fungsi dan kegunaan pondasi rumah tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam.

3. Pondasi Dinding Diafragma (Pondasi *Piers*)

Pondasi Dinding Diafragma adalah pondasi untuk meneruskan beban structural yang dibuat dengan menggunakan penggalian dalam. Setelah itu, stuktur pondasi piers di pasangkan bersamaan kedalam galian.

2.2.2. Pengertian Pondasi Tapak

Pondasi tapak adalah jenis pondasi yang terbuat dari bahan beton bertulang yang memiliki ciri khas bentuk layaknya telapak kaki. Selain beton bertulang sebagai komponen utamanya, pondasi ini juga terbuat dari batu kerikil, semen PC, pasir dan besi beton. Ukuran pondasi tapak yang lebih lebar di bagian bawah digunakan untuk meneruskan bangunan hingga ke dalam tanah dengan baik. Pondasi ini sering digunakan untuk membangun bangunan bertingkat dua atau tiga karena dinilai lebih stabil dan mampu menahan beban berat. Dalam pengerjaannya, pengaturan denah pondasi tapak harus ditancapkan ke dalam hingga mencapai bagian tanah yang keras.

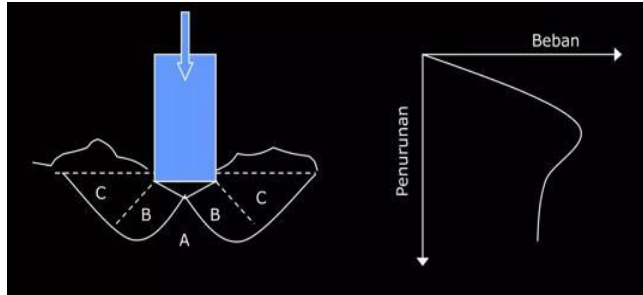
Pondasi jenis tapak ini memiliki fungsi yang unggul pada tanah yang lembek. Selain itu, masih ada fungsi lain dari pondasi ini yaitu:

- a. Menahan bangunan apabila terjadi penyesuaian bentuk tanah. Dengan menggunakan pondasi jenis tapak, bangunan Anda tidak mudah runtuh meskipun berada di tanah yang labil.
- b. Menahan beban *live load* (beban hidup) dalam fungsi bangunan yang sudah ditentukan.
- c. Membuat bangunan lebih aman saat terjadi bencana alam, seperti gempa bumi.
- d. Menahan beban bangunan secara horizontal dan memastikan tidak ada struktur yang bergeser.
- e. Menahan berat total dari bangunan yang dibangun di atasnya

2.2.3. Tipe - Tipe Keruntuhan Pondasi

- a. Keruntuhan Geser Umum (*General Shear Failure*),

Keruntuhan pondasi terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas. Berikut ini adalah gambar keruntuhan geser umum:

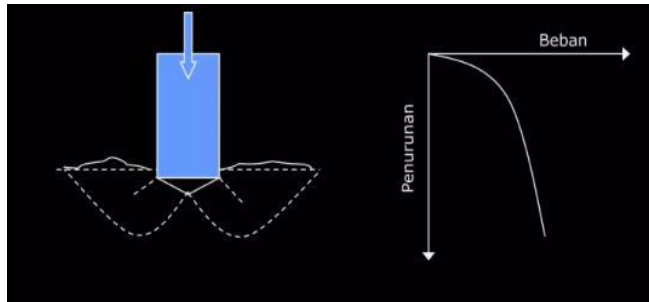


Gambar 2.1 Keruntuhan Geser Umum

Sumber: Nurul Angreliany

b. Keruntuhan Geser Lokal (*Local Shear Failure*),

Tipe keruntuhannya hampir sama dengan keruntuhan Geser Umum, namun bidang runtuh yang terbentuk tidak sampai mencapai permukaan tanah. Berikut ini adalah gambar keruntuhan geser local:

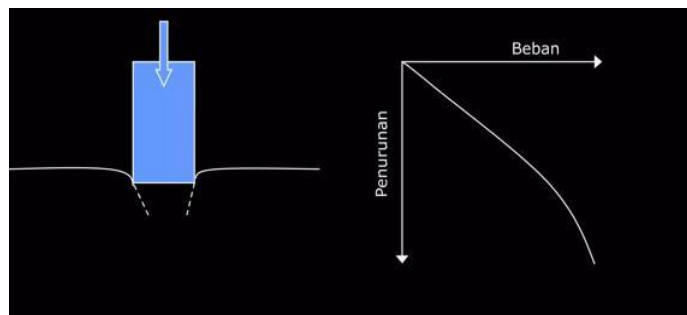


Gambar 2.2 Keruntuhan Geser Lokal

Sumber: Nurul Angreliany

c. Keruntuhan Penetrasi (*Penetration Failure* atau *Punching shear Failure*),

Pada tipe keruntuhan ini, dapat dikatakan keruntuhan geser tanah terjadi. Akibat Beban, pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke samping, yang menyebabkan penampatan tanah di dekat pondasi. Berikut ini adalah gambar keruntuhan geser penetrasi:



Gambar 2.3 Keruntuhan Penetrasi

Sumber: Nurul Angreliany

2.3. Teori Kapasitas Daya Dukung Tanah

Tanah harus mampu mendukung dan menopang beban dari setiap konstruksi yang direncanakan diatas tanah tersebut tanpa suatu kegagalan geser dan dengan lendutan pampat yang dihasilkan dapat ditolelir untuk konstruksi tersebut. Ada beberapa persamaan-persamaan yang diusulkan oleh para peneliti pendahulu untuk menganalisis kapasitas daya dukung tanah. Beberapa diantaranya yaitu persamaan kapasitas dukung yang diusulkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1951, 1963).

2.4. Persamaan daya dukung Mayerhof

Meyerhoff (1963), mengembangkan analisis daya dukung tanah yang didasarkan pada pola keruntuhan tanah dengan asumsi bahwa distribusi tegangan geser sampai ke lapisan permukaan tanah. Tidak sama dengan asumsi Terzaghi (1943), bahwa distribusi tegangan geser hanya sampai pada garis referensi dasar pondasi. Berdasarkan aumsi tersebut Meyerhoff telah mengembangkan formula untuk perhitungan kapasitas daya dukung, dengan mempertimbangkan adanya factor-faktor :

- Faktor kedalaman (*depth factor*)
- Faktor bentuk (*shape factor*)
- Faktor kemiringan beban (*load inclination factor*).

Rumus kapasitas daya dukung dari Meyerhoff adalah :

$$q_u = Sc.dc.ic.c.Nc + Sq.dq.iq.Po.Nq + Sy.dy.0,5 ByN.....(Pers. 2.1)$$

Yang mana :

- Qu = Daya dukung maksimum
- C = Kohesi tanah
- B = lebar pondasi (= diameter untuk pondasi lingkaran)
- γ = berat isi tanah
- Df = kedalaman pondasi Fcs, Fqs,
- Fys = faktor bentuk Fcd, Fqd,
- Fyd = faktor kedalaman Fci, Fqi,
- Fyi = faktor kemiringan beban

N_c ; N_q ; N_γ adalah faktor daya dukung, yang besarnya dapat dihitung dengan formula berikut, atau dengan mengambil nilai yang terdapat pada tabel Meyerhoff atau pada grafik Meyerhoff.

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{x \tan \phi} \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.2})$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg } \phi \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.3})$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \text{tg } (1,4 \Phi) \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.4})$$

Tabel 2.1 Faktor –faktor Kapasitas Dukung Meyerhof (1963)

Meyerhof							
ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1	0	26	22,25	11,85	8,00
1	5,38	1,09	0,00	27	23,94	13,20	9,46
2	5,63	1,20	0,01	28	25,80	14,72	11,19
3	5,9	1,31	0,02	29	27,86	16,44	13,24
4	6,19	1,43	0,04	30	30,14	18,40	15,67
5	6,49	1,57	0,07	31	32,67	20,63	18,56
6	6,81	1,72	0,11	32	35,49	23,18	22,02
7	7,16	1,88	0,15	33	38,64	26,09	26,17
8	7,53	2,06	0,21	34	42,16	29,44	31,15
9	7,92	2,25	0,28	35	46,12	33,30	37,15
10	8,34	2,47	0,37	36	50,59	37,75	44,43
11	8,80	2,71	0,47	37	55,63	42,92	53,27
12	9,28	2,97	0,60	38	61,35	46,93	64,07
13	9,81	3,26	0,74	39	67,87	55,96	77,33
14	10,37	3,59	0,92	40	75,31	64,20	93,69
15	10,98	3,94	1,13	41	83,86	73,90	113,32
16	11,63	4,34	1,37	42	93,71	85,37	139,32
17	12,34	4,77	1,66	43	105,11	99,01	171,14
18	13,10	5,26	2,00	44	118,37	115,31	211,41
19	13,93	5,80	2,40	45	133,87	134,87	262,74
20	14,83	6,40	2,87	46	152,10	158,50	328,73
21	15,81	7,07	3,42	47	173,64	187,21	414,33
22	16,88	7,82	4,07	48	199,26	222,30	526,45
23	18,05	8,66	4,82	49	229,92	265,50	674,92
24	19,32	9,60	5,72	50	266,88	319,06	873,86
25	20,72	10,66	6,77				

Sumber: Kumbhojkar (1993)

Tabel 2.2 Faktor Bentuk, Kedalaman dan Kemiringan Beban

Faktor Bentuk (Shape Factor)		
Faktor bentuk	Nilai	Keterangan
Sc	$1 + 0,2 (B / L) \operatorname{tg}^2 (45 + \emptyset / 2)$	Untuk sembarang \emptyset
Sq = Sy	$1 + 0,1 (B / L) \operatorname{tg}^2 (45 + \emptyset / 2)$	Untuk $\emptyset \geq 10^\circ$
	1	Untuk $\emptyset = 0$
Faktor Kedalaman (Depth Factor)		
Faktor Kedalaman	Nilai	Keterangan
dc	$1 + 0,2 (D / B) \operatorname{Tg} (45 + \emptyset / 2)$	Untuk sembarang \emptyset
dq = dy	$1 + 0,1 (D / B) \operatorname{Tg} (45 + \emptyset / 2)$	untuk $\emptyset \geq 10^\circ$
	1	Untuk $\emptyset = 0$
Faktor Kemiringan Beban (Load Inclination Factor)		
Faktor Kemiringan Beban	Nilai	Keterangan
ic = iy	$\left(1 - \frac{\delta^\circ}{90^\circ} \right)^2$	Untuk sembarang Φ
iy	$\left(1 - \frac{\delta^\circ}{\Phi} \right)$	Untuk $\Phi = 0$
	1	Untuk $\Phi = 0$

Sumber: Hardiyatmo(1996)

2.5. Persamaan Daya Dukung Terzaghi

Analisis kapasitas dukung didasarkan kondisi *general shear failure*, yang dikemukakan Terzaghi (1943) dengan anggapan-anggapan sebagai berikut:

- Tahanan geser yang melewati bidang horisontal di bawah pondasi diabaikan
- Tahanan geser tersebut digantikan oleh beban sebesar $q = \gamma \cdot D_f$
- Membagi distribusi tegangan di bawah pondasi menjadi tiga bagian
- Tanah adalah material yang homogen, isotropis dengan kekuatan gesernya yang mengikuti hukum Coulumb.

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.5})$$

Dimana :

τ = tegangan geser

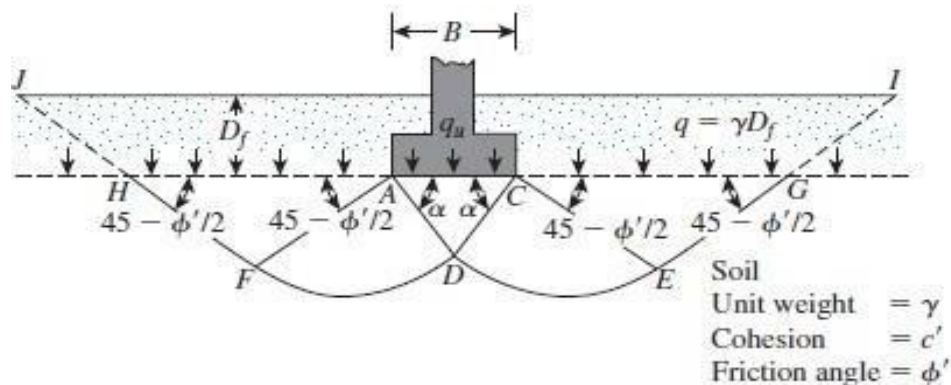
c = kohesi tanah

σ = tegangan normal

ϕ = sudut geser dalam tanah

Untuk pondasi menerus penyelesaian masalah seperti pada analisa dua dimensi Analisa distribusi tegangan di bawah dasar pondasi menurut teori

Terzaghi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.7, dimana bidang keruntuhan dibagi menjadi 3 (tiga) zona keruntuhan yaitu:



Gambar 2.4. Analisa distribusi tegangan di bawah pondasi menurut teori Terzaghi

Sumber: Hardiyatmo (1996)

Zona I

Bagian ACD adalah bagian yang tertekan ke bawah dan menghasilkan suatu keseimbangan plastis dalam bentuk zona segitiga di bawah pondasi dengan sudut $ACD = CAD = \alpha = 45^\circ + \phi'/2$. Gerakan bagian tanah ACD ke bawah mendorong tanah disampingnya ke samping.

Zona II

Bagian ADF dan CDE disebut *radial shear zone* (daerah geser radial) dengan curve DE dan DF yang bekerja pada busur spiral logaritma dengan pusat ujung pondasi.

Zona III

Bagian AFH dan CEG dinamakan *zona pasif Rankine* dimana bidang tegangannya merupakan bidang longsor yang mengakibatkan bidang geser di atas bidang horisontal tidak ada dan digantikan dengan beban sebesar $q = Df$.

Terzaghi (1943), memberikan beberapa rumus sesuai dengan bentuk geometri pondasi tersebut. Rumus-rumus yang dimaksud antara lain:

Untuk tanah dengan keruntuhan geser lokal (*general shear failure*)

1. Kapasitas daya dukung pondasi menerus dengan lebar B

$$q_u = c N_c + \gamma D_f N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots(\text{Per. 2.6})$$
2. Kapasitas daya dukung pondasi lingkaran dengan jari-jari R

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0,6 \gamma R N_\gamma \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.7})$$
3. Kapasitas daya dukung pondasi bujur sangkar dengan sisi B

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.8})$$
4. Kapasitas daya dukung pondasi segi empat (B x L)

$$q_u = c N_c (1 + 0,3 B/L) + \gamma D_f N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma$$

$$* (1 - 0,2 \cdot B/L) \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.9})$$

Dimana:

q_u = daya dukung maksimum

c = kohesi tanah

γ = berat isi tanah

B = lebar pondasi (= diameter untuk pondasi lingkaran)

L = panjang pondasi

D_f = kedalaman pondasi

N_c, N_q, N_γ adalah faktor daya dukung yang besarnya dapat ditentukan dengan memakai Tabel 2.1 atau Gambar 2.5 atau dengan memakai rumus-rumus sebagai berikut:

$$N_c = \cot \varphi \left[\frac{e^{2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) \tan \varphi}}{2 \cos^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})} \right] = \cot \varphi (N_q - 1) \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.10})$$

$$N_q = \frac{e^{2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) \tan \varphi}}{2 \cos^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})} \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.11})$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K p \gamma}{\cos^2 \varphi} - 1 \right) \tan \varphi \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.12})$$

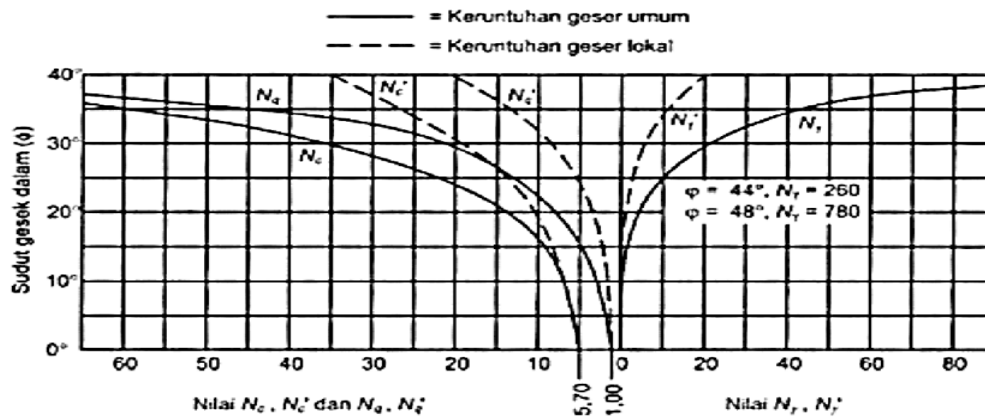
Untuk tanah dengan keruntuhan geser setempat (*local shear failure*) harga c diganti $c' = 2/3 c$ dan harga ϕ diganti $\phi' = \tan^{-1} (2/3 \tan \phi)$. Dari nilai c' dan ϕ' didapatkan faktor-faktor daya dukung untuk kondisi keruntuhan umum: $N'c$; $N'q$; $N'\gamma$ (Table 2.2 atau Gambar 2.5).

1. Kapasitas daya dukung pondasi menerus dengan lebar B
 $q'u = c' N'c + \gamma D_f N'q + 1/2 \gamma B \cdot N'\gamma$ (Pers. 2.13)
2. Kapasitas daya dukung pondasi lingkaran dengan jari-jari
 $q'u = 1,3 c' N'c + \gamma D_f N'q + 0,6 \gamma R N'\gamma$ (Pers.2.14)
3. Kapasitas daya dukung pondasi bujur sangkar dengan sisi B
 $q'u = 1,3 c' N'c + \gamma D_f N'q + 0,4 \gamma B N'\gamma$ (Pers.2.15)
4. Kapasitas daya dukung pondasi persegi empat (BxL)
 $q'u = c' N'c (1 + 0,3 B/L) + \gamma D_f N'q + 1/2 \gamma B N'\gamma$
 $\cdot (1 - 0,2 B/L)$ (Pers.2.16)

Tabel 2.3. Faktor Daya Dukung Terzaghi Untuk Kondisi Keruntuhan Geser Lokal

ϕ	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	Nc	Nq	N γ	Nc	Nq	N γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber : Hardiyatmo (1996)



Gambar 2.5 Grafik Faktor Daya Dukung Terzaghi

Sumber : Hardiyatmo (1996)

2.6. Pembentukan Tanah

Proses pembentukan tanah dimulai dengan bahan induk yang menentukan komposisi mineralnya dan banyak memberikan kontribusi terhadap sifat kimia dan fisik tanah. Ada beberapa cara atau mekanisme yang terlibat dalam pembentukan tanah. Proses pembentukan tanah yang menjadi tahapan penting yaitu tahap pelapukan. Pelapukan adalah pemecahan batuan dan mineral di atau dekat permukaan bumi menjadi produk yang menghasilkan keseimbangan dengan kondisi yang terdapat di lingkungan ini. Hasil pelapukan fisik dalam pemecahan bahan mineral atau batuan dengan metode mekanis sepenuhnya yang disebabkan oleh berbagai sebab. Abrasi batuan besar terjadi ketika beberapa gaya menyebabkan dua permukaan batuan bersatu, menyebabkan keausan mekanis atau penggilingan permukaannya. Dalam kasus tanah dengan drainase yang buruk, material organik terakumulasi karena genangan air mencegahnya teroksidasi atau rusak oleh organisme tanah. Namun, dalam kasus tanah yang dikeringkan dengan baik, akumulasi material terjadi saat sistem akar menahannya.

Tanah terdiri dari berbagai fase padat, cair, dan gas, dimana karakteristiknya bergantung pada perilaku fase interaksi ini, dan pada tegangan yang diterimanya. Fase padat meliputi tanah liat, mineral non-tanah liat, dan bahan organik. Unsur – unsur ini dikategorikan menurut ukurannya seperti tanah liat, pasir, dan kerikil. Fase cair terdiri dari air yang mengandung senyawa organik yang terdiri dari tumpukan kimiawi, limbah, dan air tanah, sedangkan fasa gas biasanya udara.

Ukuran, bentuk, sifat kimia, kemampuan kompresibilitas, dan daya dukung partikel muatan tanah ditentukan oleh mineralogi tanah, yang merupakan ilmu yang terkait dengan kimia, struktur, dan sifat fisik mineral. Struktur tanah tergantung pada susunan partikel, kelompok partikel, ruang pori, dan komposisinya. Karakteristik dasar ini menentukan jenis struktur yang akan dibangun dan tidak ada dukungan eksternal apa, jika ada, harus diambil untuk gempa, rembesan air, dan faktor eksternal lainnya.

2.7. Pengujian Sifat Fisis Tanah

2.7.1. Pengujian Berat Isi (SNI 03-3637-1994)

Berat isi dari suatu masa tanah adalah perbandingan antara berat total tanah terhadap isi total tanah, yang dinyatakan dalam notasi wet (gram/cm^3). Berat isi tanah sangat berguna dalam mengevaluasi tanah kohesif dan pengujian ini juga mudah. Sedangkan pada tanah non kohesif pengujian berat isi tanah sedikit agak sulit pelaksanaannya, kecuali jika tanah non kohesif tersebut terletak sangat dekat dengan permukaan tanah. Seperti halnya kadar air tanah, berat isi tanah juga merupakan sifat fisis tanah yang penting, dan dilakukan secara rutin bersama-sama dengan pengujian lainnya di laboratorium. Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode silinder tipis yang dimasukkan ke dalam tanah, sehingga tidak dapat dilakukan pada jenis tanah berpasir lepas atau terdapat banyak kerikil. Berat isi tanah pada umumnya dapat dikaitkan dengan sifat-sifat teknis tertentu, seperti kekuatan dan *kompreibilitas*.

Prinsip yang harus dipahami terlebih dahulu adalah :

$$W = W_w + W_s \dots\dots\dots \text{(Pers.2.17)}$$

$$V = V_a + V_w + V_s \quad V_v = V_a + V_w \dots\dots\dots \text{(Pers.2.18)}$$

dengan,

- W = berat tanah total (gr)
- W_w = berat air (gr)
- W_s = berat butiran padat (gr)
- V = volume tanah total (cm^3)
- V_a = volume udara (Cm^3)
- V_w = volume air (Cm^3)

V_s = volume butiran padat (Cm^3)

V_v = volume rongga pori (Cm^3)

A. Peralatan

1. Ring berat isi
2. Jangka sorong
3. Timbangan
4. Oven
5. Desicator
6. Pan

B. Prosedur Pengujian

1. Bersihkan ring berat isi yang akan dipakai.
2. Ukur diameter dalam dan tingginya dengan menggunakan jangka sorong, hitung volumenya.
3. Timbang ring tersebut dengan ketelitian 0,01 gram.
4. Masukkan sampel tanah ke dalam ring langsung dari tabung sampel dengan menggunakan sampel extruder.
5. Ratakan permukaan tanah di kedua timbang kembali berikut pan.
6. Bersihkan bagian luar ring kemudian timbang kembali berikut pan.
7. Masukkan ring yang berisi sampel tanah dan tanah tadi ke dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
8. Masukkan ke dalam desikator sampai dingin lalu timbang Kembali.

2.7.2. Pengujian Kadar Air (SNI 1965:2008)

Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen (%). Adapun peralatan yang harus di sediakan dalam melakukan penelitian ini, berikut peralatan yang digunakan (SNI 1965:2008):

- 1) Oven
- 2) Cawan
- 3) Timbangan

- 4) *Desikator* (alat pendingin) berisi *calcium chloride*.
- 5) Penjepit (crubicle tongs)

Kemudian setelah disediakanya peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian kadar air tanah, berikut langkah-langkah prosedur pelaksanaannya (SNI 1965:2008):

- 1) Benda uji yang mewakili contoh tanah yang diperiksa, ditempatkan dalam cawan yang bersih, dan ditimbang beratnya (benda-uji + cawan = W1)
- 2) Cawan diletakkan dalam oven selama ± 4 jam (sampai beratnya konstan) temperature 110°
- 3) Setelah dioven letakkan cawan dalam desikator untuk didinginkan.
- 4) Timbang cawan beserta isinya (W2)
- 5) Bersihkan dan keringkan cawan tersebut kemudian timbang (W3) Setelah di dapatkan hasil pengujian maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan data yang akurat, berikut prosedur perhitungannya:
- 6) Berat cawan + tanah basah = W1 gram
- 7) Berat cawan + tanah kering = W2 gram
- 8) Berat cawan kosong = W3 gram
- 9) Berat air = (W1 – W2) gram
- 10) Berat tanah kering = (W2 – W3) gram

$$\text{Kadar air} = \frac{W1-W2}{W2-W3} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.19})$$

2.7.3. Pengujian Berat Jenis (SNI 1965 : 2008)

Pengujian berat jenis tanah (specific gravity) adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume butir, pada temperature tertentu. Adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis suatu tanah. Adapun peralatan yang harus di sediakan dalam melakukan penelitian ini, berikut peralatan yang akan digunakan (SNI 1965:2008):

- 1) Piknometer dengan kapasitas minimum 100 ml atau botol ukur dengan kapasitas minimum 50 ml
- 2) Neraca

- 3) *Desikator*
- 4) *Oven*
- 5) Termometer dengan ukuran 0 – 50 °C dengan ketelitian 1 °C
- 6) Saringan No.4, No.10, No.40 dan penadahnya.
- 7) Botol berisi air suling
- 8) Bak perendam
- 9) Pompa hampa udara (vacuum 1 – 1,5 PK) atau tungku listrik (*hot-plate*)

Kemudian setelah disediakan peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian berat jenis tanah, berikut langkah-langkah prosedur pelaksanaannya (SNI 1965:2008):

- 1) Benda uji diambil dari tanah asli dan disaring dengan saringan no.4 dan tanah yang di ambil yaitu butiran yang tertahan di saringan no.4.
- 2) Cuci piknometer dengan air suling yang dikeringkan. Timbang piknometer dan tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W1).
- 3) Masukkan benda uji ke dalam piknometer dan timbang bersama tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W2).
- 4) Tambahkan air suling sehingga piknometer terisi dua pertiga volumenya. Untuk bahan yang mengandung lempung. Diamkan benda uji terendam paling sedikit 24 jam.
- 5) Didihkan isi piknometer dengan hati hati minimal 10 menit dan miringkan botol sekali sekali untuk mempercepat pengeluaran udara yang tersekap dalam benda uji.
- 6) Jika menggunakan pompa vakum , tekanan udara dalam piknometer atau botol ukur tidak boleh dibawah 100 ml. Kemudian isi piknometer dengan air suling dan biarkan piknometer beserta isinya untuk mencapai suhu konstan di dalam bejana air. Sesudah suhunya konstan tambahkan air suling secukupnya sampai tanda batas atau sampai penuh. Tutuplah piknometer, keringkan bagian 32 luarnya dan timbang sampai mencapai ketelitian 0,01 gram (W3). Ukur suhu dari piknometer dengan ketelitian 1°C
- 7) Bila isi piknometer belum diketahui, maka tentukan harga sebagai berikut : kosongkan piknometer dan bersihkan. Isi piknometer dengan air suling yang suhunya sama dengan suhu pada (c) dengan ketelitian 1 ° C dan pasang

tutupnya. Keringkan bagian luarnya dan timbang dengan ketelitian 0,01 gram, dan dikoreksi terhadap suhu (W4).

8) Pemeriksaan dilakukan dua kali

Setelah di dapatkan hasil pengujian maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan data yang akurat, berikut prosedur perhitungannya :

- 1) Berat piknometer + tanah = W2 (gr)
- 2) Berat piknometer = W1 (gr)
- 3) Berat tanah = W2 – W1 (gr)
- 4) Berat piknometer + air + tanah = W3 (gr)
- 5) Berat piknometer + air pada suhu T °C = W4 (gr)

$$\text{Berat Jenis Tanah (GS)} = \frac{W2-W1}{W2-W1} + (W4-W3) \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.20})$$

2.7.4. Pengujian Batas Cair (SNI 1966 : 2008)

Batas cair (*Liquid Limits*) adalah kadar air dimana tanah berada dalam batas keadaan plastis dan cair. Adapun peralatan yang harus di sediakan dalam melakukan penelitian ini, berikut peralatan yang akan digunakan pada pengujian batas cair ini (SNI 1966:2008) :

- 1) Cawan porselen.
- 2) Spatula dengan panjang 12,5 cm
- 3) Alat batas cair standart
- 4) Alat pembuat alur (*grooving tool*)
- 5) Cawan penguap
- 6) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- 7) Oven

Kemudian setelah disediakannya peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian batas cair , berikut langkah-langkah prosedur pelaksanaannya (SNI 1966:2008):

- 1) Ambil contoh tanah ± 150 - 200 gram.
- 2) Tempatkan dalam cawan porselen dan campurkan dengan air suling sebanyak 15 – 20 ml. campur dengan merata menggunakan spatula.

- 3) Ambil contoh tanah yang telah tercampur dengan homogen dan taruh dalam cawan batas cair.
- 4) Ratakan permukaan contoh tanah dalam cawan sehingga sejajar dengan alas.
- 5) Buat alur pada contoh tanah tersebut dengan menggunakan *grooving tool*. Cara membuat alur adalah dengan memegang alat *grooving tool* tegak lurus permukaan contoh tanah.
- 6) Dengan bantuan alat pemutar, angkat dan turunkan cawan tersebut dengan kecepatan 2 putaran/detik.
- 7) Hentikan aksi tersebut jika alur sudah tertutup sepanjang $\pm 1,25$ cm dan hirung berapa ketukan yang dibutuhkan.
- 8) Ambil contoh tersebut sebagian untuk diperiksa kadar airnya.
- 9) Ulangi percobaan di atas dengan kadar air yang berbeda.

Setelah di dapatkan hasil pengujian maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan data yang akurat, berikut prosedur perhitungannya :

- 1) Buat grafik dimana jumlah ketukan (N) dan ordinat adalah kadar air contoh tanah yang bersangkutan.
- 2) Yang disebut dengan Batas Cair adalah kadar air dimana $N = 25$.

2.7.5. Pengujian Batas Plastis (SNI 1966:2008)

Batas plastis (*Plastic Limits*) adalah nilai kadar air terendah dari suatu tanah dimana tanah tersebut masih dalam keadaan plastis. Adapun peralatan yang harus di sediakan dalam melakukan penelitian ini, berikut peralatan yang akan digunakan pada pengujian batas plastis ini (SNI 1966:2008):

- 1) Cawan penguap
- 2) Spatula
- 3) Pelat kaca
- 4) Cawan pencampur
- 5) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- 6) Oven pengering

Kemudian setelah disediakanya peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian batas plastis berikut langkah-langkah prosedur pelaksanaannya (Laboratorium Mekanika Tanah UMM,2010):

- 1) Ambil contoh tanah dan campur dengan air suling sampai merata dengan bantuan spatula.
- 2) Jika tanah sudah homogen, ambil contoh ± 8 gram dan buat gulungan tanah di atas plat kaca sampai mencapai batangan-batangan dengan diameter 3 mm. contoh tanah yang tepat pada diameter 3 mm mulai menunjukkan retak-retak menunjukkan tanah dalam keadaan batas plastis.
- 3) Ambil contoh tanah tersebut dan periksa kadar airnya.
- 4) Jika batangan tanah belum mencapai diameter 3 mm sudah menunjukkan retak maka tanah tersebut terlalu kering dan percobaan tersebut harus diulang dengan menambahkan kadar airnya dan sebaliknya jika batangan tanah sudah 35 mencapai diameter 3 mm dan belum menunjukkan retak maka tanah terlalu basah dan perlu dikeringkan dengan jalan didiamkan/diaduk-aduk dalam cawan pencampur.

2.7.6 Pengujian Kuat Geser (SNI 2813 : 2008)

Dengan alat geser langsung kekuatan geser dapat diukur secara langsung. Sampel yang akan diuji dipasang dalam alat dan diberikan tegangan vertikal (yaitu tegangan normal) yang konstan. Kemudian sampel diberikan tegangan geser sampai tercapai nilai maksimum. Tegangan ini diberikan dengan memakai kecepatan bergerak (*strain rate*) yang konstan, yang cukup perlahan-lahan sehingga tegangan air pori selalu tetap nol. Maka percobaan ini dilakukan dalam kondisi "*drained*". Untuk mendapat nilai c dan ϕ maka perlu dilakukan beberapa percobaan dengan memakai nilai P_v (tegangan normal) yang berbeda.

- 1) Kuat geser langsung
Perlawanan geser maksimum pada tanah uji geser langsung.
- 2) Kohesi tanah tidak terdrainase (C_u)
kekuatan saling mengikat antar butir tanah tak terdrainase.
- 3) Sudut geser dalam tanah (ϕ_{cu})
Sudut yang terbentuk akibat kekuatan antar butir tanah tak terdrainase.

- 4) Tegangan geser (τ)
Tegangan yang ditimbulkan dalam arah sejajar dengan bidang geser
- 5) Tegangan normal (σ)
Tegangan yang ditimbulkan dalam arah tegak lurus terhadap bidang geser
- 6) Tanah problematik
Tanah yang mempunyai daya dukung rendah, tanah yang mudah mengalami perubahan volume yang diakibatkan oleh cuaca, contohnya adalah tanah sangat lunak, tanah lunak, gambut, tanah ekspansif dan tanah pasir.
- 7) Tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*)
Tanah yang diambil dengan menggunakan tabung contoh.
- 8) Tanah terganggu (*disturbed sample*)
Tanah yang diambil dengan menggunakan cara test pit atau dengan menggunakan cangkul.
- 9) Tanah terkonsolidasi
Tanah yang diberi pembebanan dan dikonsolidasi terlebih dahulu sebelum diuji kuat geser langsung.
- 10) Tanah tidak terkonsolidasi
Tanah yang diuji langsung tanpa melalui proses konsolidasi.

Kemudian setelah disediakannya peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian batas plastis berikut langkah-langkah prosedur pelaksanaannya

- a. Ukur diameter serta volume cincin dan timbang massanya;
- b. Cetak benda uji dengan cincin atau *ring*, ratakan kedua permukaannya dengan pisau atau kawat pemotong dan timbang massanya;
- c. Lakukan pengujian kadar air pada benda uji tersebut sesuai dengan SNI 1965:2008;
- d. Lakukan pengujian berat isi pada benda uji tersebut sesuai dengan SNI 03-3637-1994;
- e. Masukkan benda uji ke dalam kotak geser pengujian yang telah terkunci menjadi satu serta pasang batu pori yang sudah dilapisi dengan kertas saring pada bagian bawah dan atas benda uji;

- f. Pasang kotak geser pada arah mendatar dan pasang piston penekan vertikal untuk memberi beban normal pada benda uji. Piston harus dipasang tegak lurus permukaan
- g. benda uji sehingga beban yang diterima oleh benda uji sama dengan beban yang diberikan pada piston tersebut;
- h. Berikan beban normal pertama sesuai dengan manual alat yang bersangkutan atau sesuai permintaan pemberi kerja;
- i. Isi kotak geser pengujian dengan air sampai penuh di atas permukaan benda uji;
- j. Buka kunci pada kotak geser, setel arloji ukur beban dan arloji ukur regangan sehingga jarum ada pada posisi nol, lakukan pengujian dengan kecepatan geser 1% per menit;
- k. Pengujian dihentikan apabila nilai pada pengukur beban menunjukkan nilai yang sama berturut-turut atau terjadi penurunan nilai pada pengukur;
- l. Turunkan beban yang terpasang, keluarkan benda uji ambil sebagian untuk pengujian kadar air sesudah pengujian;
- m. Ulangi pekerjaan a sampai dengan j pada benda uji kedua dengan beban normal dua
- n. kali beban normal pada pengujian pertama;
- o. Ulangi pekerjaan a sampai dengan j pada benda uji ketiga dengan beban normal sebesar empat kali beban normal pertama,
- p. Hitung gaya geser (P) yaitu mengalikan pembacaan pengukur beban geser dengan angka kalibrasi;
- q. Hitung tegangan geser maksimum (t_{max})
- r. Buat grafik hubungan antara tegangan normal sebagai sumbu x dengan tegangan geser
- s. Maksimum sebagai sumbu y
- t. Hubungkan ketiga titik yang diperoleh sehingga membentuk garis lurus hingga memotong sumbu y. Dari grafik tentukan c_u dan ϕ_u untuk besarnya nilai kohesi (c_u) dan hitung besarnya nilai sudut geser tanah (ϕ_u);