

# **TINJAUAN ALAT PERAGA KERUNTUHAN GESER TANAH UNTUK MENGAMATI POLA KERUNTUHAN TANAH PASIR**

Ninik Ariyani<sup>1)</sup>, Margareta W. Widianingsih<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta

<sup>2)</sup>Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta

## **I. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Tanah sebagai bahan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat yang berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, dalam Bowles,1991. Selain itu tanah juga berfungsi sebagai pendukung bangunan.

Tanah dapat mengalami penurunan apabila mendapat beban. Besarnya penurunan tergantung dari jenis dan struktur tanah serta kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Jika beban secara bertahap bertambah, maka penurunan juga akan bertambah, dan pada saat tertentu terjadi kondisi di mana pada beban yang tetap, pondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar.

Selama ini belum banyak yang mengetahui bentuk keruntuhan tanah yang disebabkan oleh adanya pembebanan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena tanah terletak di bawah pondasi, sehingga tidak dapat dilihat secara langsung. Berdasarkan hal tersebut timbul pemikiran untuk menguji pola keruntuhan geser tanah khususnya jenis tanah pasir di bawah pondasi dengan melakukan pengujian di Laboratorium.

### **B. Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk meninjau hubungan antara beban dan penurunan yang terjadi, sehingga dapat diketahui pola keruntuhan geser tanah terhadap beban pondasi yang berada di atasnya. Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini antara lain adalah pengetahuan mengenai pola keruntuhan tanah dan untuk mengetahui cara yang mudah menyangkut perilaku penurunan pasir di bawah pondasi akibat pembebanan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kadar Air

Tanah terdiri atas butir-butir dan ruang pori yang terisi udara dan air. Besarnya kadar air dan tanah menunjukkan seberapa besar kelembaban pada tanah tersebut dan seberapa besar kadar airnya. Untuk menentukan besarnya kadar air dilakukan perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat kering tanah.

$$\text{Kadar air (w)} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering}} \times 100\% \quad (2.1)$$

### B. Gravitas Khas (*Specific Gravity*)

Tanah memiliki gravitas khas yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat volume butiran tanah dengan berat volume air murni pada suhu 4°C. Gravitas khas suatu campuran air dan tanah tergantung pada konsentrasi butiran-butiran yang terkandung didalamnya. Dengan mengukur gravitas khas suspensi, kita dapat menghitung banyaknya tanah yang ada dalam campuran tersebut. Gravitas khas butiran tanah pada suhu t°C adalah :

$$B = \frac{\text{Berat volume kering}}{\text{Berat volume air}} \quad (2.2)$$

### C. Analisis Gradasi Butiran (*Grain Size Analysis*)

Sifat-sifat tanah berbutir kasar sangat tergantung pada ukuran butirnya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan prosentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

Pada umumnya analisis gradasi butir dibagi menjadi dua, yaitu analisis ayakan untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih dari 0,075 mm dan analisis sedimentasi (*hydrometer*) untuk ukuran partikel-partikel berdiameter kurang dari 0,075 mm.

Hitungan berat kering contoh tanah yang diperiksa dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = \frac{Bo}{1 + w} \quad (2.3)$$

dengan  $Bo$  = berat basah contoh tanah,  $w$  = kadar air, dan  $W$  = berat kering contoh tanah.

Cara penentuan distribusi ukuran butir dari tanah berbutir kasar adalah dengan cara menyaringnya. Tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar untuk pengujian tanah. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang dan prosentase terhadap berat kumulatif pada tiap saringan dihitung. Selanjutnya distribusi ukuran butir tanah digambarkan dalam kurva semi logaritmis, dengan absis adalah diameter butir pada skala log sedangkan

ordinat adalah persen lolos saringan dengan skala biasa. Kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi dapat digambarkan oleh koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*),  $C_u$ , dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*),  $C_c$ , yang diberikan menurut persamaan :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.4)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (2.5)$$

dengan  $C_u$  = koefisien keseragaman,  $C_c$  = koefisien gradasi,  $D_{10}$  = berat butiran sebesar 10 dari berat butiran total (diameter efektif),  $D_{30}$  = berat butiran sebesar 30 dari berat butiran total, dan  $D_{60}$  = berat butiran sebesar 60 dari berat butiran total.

Tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi baik bila memenuhi syarat :

1.  $C_u > 4$  dan  $1 < C_c < 3$  untuk kerikil
2.  $C_u > 6$  dan  $1 < C_c < 3$  untuk pasir

Sebaliknya bila salah satu atau kedua syarat tersebut tidak terpenuhi, maka tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi buruk dan tanah disebut bergradasi sangat baik bila  $C_u > 15$ . Sistem klasifikasi tanah yang dapat digunakan ada dua cara, yaitu :

### 1. Sistem klasifikasi Unified

Sistem klasifikasi ini digunakan berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium seperti analisis gradasi butiran, batas cair dan indeks plastisitasnya. Pada sistem Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika  $> 50$  tinggal dalam saringan no.200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika  $> 50$  lewat saringan no.200. (Hardiyatmo, 1992). Bentuk dari klasifikasi tanah sistem Unified ditunjukkan pada Tabel 2.1.

### 2. Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification)

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan jalan. Sistem klasifikasi ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok, A-1 sampai A-7. Tanah diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau lebih kecil jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no.200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no.200 di klasifikasikan 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. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. Ukuran butir

Kerikil = butir tanah yang lolos ayakan dengan diameter 7 mm dari yang tertahan pada ayakan no. 10 (2mm)

Pasir = butir tanah yang lolos ayakan no. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan no. 200 (0,075mm)

Lanau dan lempung = butiran tanah yang lolos ayakan no. 200 (0,075mm)

2. Plastisitas

Disebut lanau apabila butiran tanahnya mempunyai indeks plastisitas (PI) = 10 atau kurang. Disebut lempung apabila butiran tanah mempunyai indeks plastisitas (PI) = 11 atau lebih.

3. Indeks Kelompok (GI)

Untuk mengevaluasi kualitas dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (*subgrade*) dari suatu jalannya dapat ditentukan dengan angka indeks kelompok (group index = GI). Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F-35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 [ F - 15] (PI - 10) \dots\dots ( \dots )$$

dengan F = prosentase butiran yang lolos ayakan No. 200, LL = batas cair (*liquid Limit*), dan PI = indeks platisitas.

**D. Berat Volume Tanah**

Berat volume tanah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara dengan volume total tanah.

$$\gamma = \frac{W}{V} \tag{2.6}$$

dengan  $\gamma$  = berat volume tanah, W = berat total tanah, dan V = volume total tanah

**E. Daya Dukung Tanah**

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak dibawahnya. Perancangan yang seksama diperlukan agar beban pondasi tidak mengakibatkan timbulnya tekanan yang berlebihan pada tanah dibawahnya karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan.

Daya dukung tanah yang diijinkan (*qa*) adalah tekanan maksimum yang dapat dibebankan pada tanah, sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi persyaratan dalam perancangan pondasi. Jadi, bila hitungan daya dukung tanah yang didasarkan pada daya dukung ultimitit (*qu*) dibagi faktor aman telah memenuhi, padahal penurunan yang akan terjadi yang dihitung berdasarkan tekanan dari hasil hitungan daya dukung tanah tersebut melampaui batas nilai toleransinya, maka nilai daya dukungnya harus dikurangi sampai hitungan penurunan yang terjadi memenuhi syarat. Faktor aman terhadap keruntuhannya dalam hitungan daya dukung pondasi umumnya digunakan faktor aman 3. Bila tanah mengalami pembebanan secara berangsur-angsur, penurunan pun juga bertambah yang pada akhirnya, pada suatu saat terjadi keruntuhan daya dukung

tanah, yaitu pondasi mengalami penurunan yang sangat besar pada beban yang tetap. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan daya dukung terjadi.

Daya dukung ultimit  $q_u$  (*ultimate bearing capacity*) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan yang dinyatakan dengan persamaan :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2.7)$$

dengan :

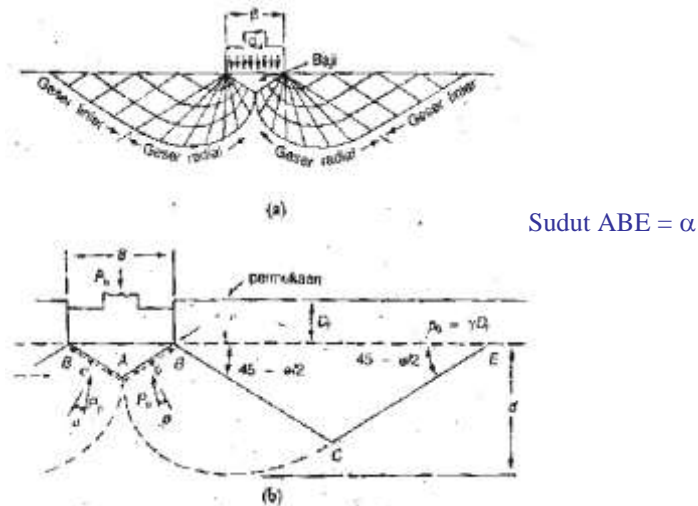
$q_u$  = daya dukung ultimit atau daya dukung batas

$P_u$  = beban ultimit atau beban batas

$A$  = luas area beban

### F. Teori Kapasitas Dukung Tiang

Banyak cara yang telah dibuat untuk merumuskan persamaan daya dukung tanah, namun seluruh persamaan hanya berbentuk pendekatan untuk memudahkan hitungannya, salah satunya adalah teori Terzaghi. Persamaan-persamaan yang dibuat diakibatkan dengan sifat-sifat tanah dan berbentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhannya



Gambar 2.1. (a) Pembebanan pada pondasi dan berbentuk area geser.  
(b) Bentuk kegagalan

Analisis keruntuhan daya dukung dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan tanah bersifat plastis. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Prandtl, yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi, 1943, Meyerhoff, 1955, De Beer, dan Vesic, 1958 dalam J.E. Bowles, 1991. Persamaan-persamaan daya dukung tanah yang diusulkan umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (2.8)$$

dengan  $\tau$  = tahanan geser tanah,  $c$  = kohesi, dan  $\phi$  = sudut gesek dalam

Cara pendekatan yang digunakan untuk analisisnya yaitu dengan menganggap pondasi berbentuk memanjang tak terhingga, dengan lebar  $B$  yang terletak di atas tanah yang homogen, dibebani dengan beban terbagi rata-rata  $q$ . Beban total pondasi persatuan panjang adalah  $P_u = q_u \cdot B$  karena pengaruh beban  $P_u$ , tanah yang berada tepat di bawah pondasi akan membentuk sebuah baji yang menekan tanah ke bawah. Gerakan baji tanah di sekitarnya bergerak, yang menghasilkan zona geser di kanan dan kirinya. Tiap-tiap zona terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian geser radial (*radial shear*) yang berdekatan dengan baji, dan bagian geser linier (*linier shear*) yang merupakan bagian kelanjutan dari bagian geser radialnya.

Daya dukung tanah menyatakan tahanan tanah terhadap geseran untuk melawan penurunan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya. Keruntuhan daya dukung pada pondasi dengan beban  $P_u$  ditahan oleh gaya-gaya pada kedua bidang  $AB$  (Gambar 2.1). Gaya-gaya penahan sebelum tanah mengalami keruntuhan ini adalah resultan gaya-gaya tekanan tanah pasif  $P_p$  dan kohesi ( $c$ ), yang bekerja di sepanjang permukaan baji  $AB$ . Gaya tekanan tanah pasif membuat sudut  $\delta$  terhadap garis tegak lurus permukaan  $AB$ . Sudut gesek antara dinding baji  $AB$  dan tanah besarnya =  $\delta$  merupakan sudut gesek antara tanah dengan tanah sehingga sama dengan  $\phi$ . Karena  $AB$  membuat sudut  $\beta$  dengan arah horisontal, maka sudut antara gaya  $P_p$  dan garis vertikal akan sama dengan  $(\beta - \phi)$ . Selanjutnya, tahanan total untuk melawan penurunan dapat dinyatakan dalam keseimbangan arah vertikal, sebagai berikut :

$$P_u = 2P_p \cos(\beta - \phi) + 2 \overline{AB} c \sin \beta - \frac{1}{4} \gamma B^2 \operatorname{tg} \phi \quad (2.9)$$

$$\overline{AB} = \frac{B}{2 \cos \beta} \quad (2.10)$$

dengan  $P_u$  = beban ultimit atau beban batas,  $P_p$  = tekanan pasif,  $\beta$  = sudut gesek antara tanah dengan tanah pada permukaan  $AB$ ,  $\phi$  = Sudut gesek dalam,  $\gamma$  = berat volume tanah, dan  $c$  = kohesi tanah.

Resultan gaya tekanan tanah pasif dapat dibagi menjadi 3 komponen, yaitu :

1. Gaya  $P_{py}$  sebagai akibat berat luasan  $ABEC$ .
2. Gaya  $P_{pc}$  sebagai akibat pengaruh kohesi tanah ( $c$ )
3. Gaya  $P_{pq}$  sebagai akibat beban terbagi rata di atas tanah pondasi.

Komponen tekanan tanah pasif dihitung terpisah, kemudian ditambahkan untuk memperoleh kapasitas dukung totalnya. Tiap –tiap komponen daya dukung adalah fungsi dari  $\phi$  dan bentuk geometri dari zona longsor, seperti yang dinyatakan oleh  $B$  dan  $\beta$ . Analisis Terzaghi tepat di bawah pondasi dan mengikat tanah tersebut seolah-olah merupakan satu kesatuan dengan pondasinya. Jadi, semua beban pondasi dipindahkan langsung lewat bagian baji ke tanah

dibawahnya. Sudut baji dengan bidang horisontal (yang besarnya =  $\beta$ ) dianggap sama dengan  $\phi$ . Zone geser dianggap bergerak ke atas hanya sampai ketinggian dasar pondasi, dan hanya beban terbagi rata besar  $D_f \cdot \gamma$ , yang berpengaruh pada zona ini.

Besarnya tekanan tanah pasif dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\left. \begin{aligned} P_{p\gamma} &= \frac{\gamma}{2} \left( \frac{B^2}{4} \text{tg}^2 \phi \right) \left( \frac{K\rho\gamma}{\sin \phi \cos \phi} \right) = \frac{\gamma B^2}{8} \text{tg} \phi \frac{K\rho}{\cos^2 \phi} \\ \frac{\gamma B}{2} \left( \frac{\text{tg} \phi K\rho\gamma}{2 \cos^2 \phi} \right) &= \frac{\gamma B}{2} \left( N_\gamma + \text{tg} \frac{\phi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Faktor  $N_\gamma$  adalah faktor daya dukung yang disebabkan oleh berat tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek dari dalam tanahnya ( $\phi$ ). Tekanan tanah pasif akibat kohesi dan beban terbagi rata secara sama dapat ditentukan, jika berat volume dianggap tidak berpengaruh terhadap zona longsoran. Hasilnya dinyatakan dengan persamaan :

$$N_c = C \text{tg} \phi \left( \frac{a^2}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)} - 1 \right) \quad (2.16)$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (2.17)$$

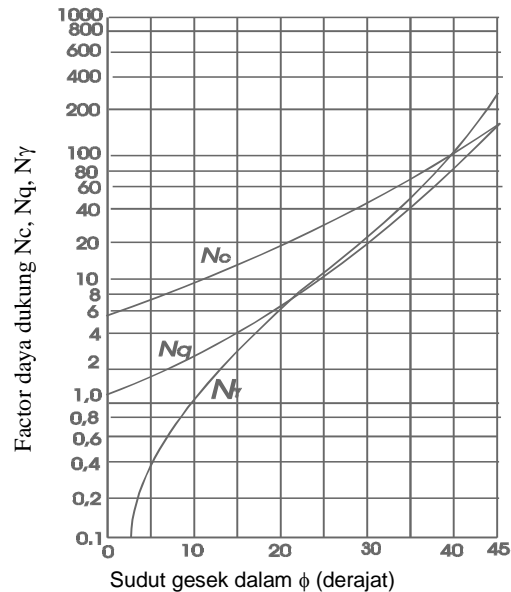
$$a = e^{\left( \frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \text{tg} \phi} \quad (2.18)$$

Faktor daya dukung  $N_c$  dan  $N_q$  merupakan faktor daya dukung akibat pengaruh kohesi dan beban terbagi rata yang keduanya merupakan fungsi dari sudut gesek dalam ( $\phi$ ). Selanjutnya persamaan dapat ditulis sebagai persamaan umum daya dukung, yaitu :

$$q_u = cN_c + D_f \gamma + 0,5yBN_\gamma \quad (2.19)$$

dengan  $c$  = kohesi,  $D_f$  = kedalaman pondasi,  $y$  = berat volume tanah, dan  $N_\gamma, N_c, N_q$  = faktor daya dukung tanah.

Nilai-nilai dari  $N_\gamma, N_c, N_q$  dalam bentuk grafik yang diberikan Terzaghi dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Hubungan  $\phi$  dan  $N_c$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_q$  (Hardiyatmo,1996)

Seluruh analisis daya dukung di atas didasarkan pada anggapan bahwa pondasi mempunyai panjang tak terhingga dan didasarkan pada kondisi keruntuhan geser umum (general shear failure) dari suatu bahan bersifat plastis, di mana volume dan kuat gesernya tidak berubah oleh adanya keruntuhan (rapture).

Pada material yang mempunyai sifat volume berubah di bawah bebannya atau mengalami regangan yang besar sebelum tercapainya keruntuhan geser, gerakan ke bawah baji tanah mungkin hanya memampatkan tanah, tanpa adanya regangan yang cukup untuk menghasikan keruntuhan geser umum (general shear failure). Kondisi keruntuhan semacam ini disebut keruntuhan geser lokal (local shear failure). Tidak ada analisis raional untuk pemecahannya. Terzaghi menyarankan koreksi empiris untuk faktor-faktor daya dukung pada kondisi keruntuhan geser umum, untuk hitungan daya dukung tanah untuk jenis tanah semacam ini. Yaitu dengan cara seluruh faktor kapasitas dukung dihitung kembali dengan menggunakan  $\phi'$  dan  $c'$ , dengan :

$$\text{tg } \phi' = \frac{2}{3} \text{tg } \phi \quad (2.20)$$

$$c' = \frac{2}{3} c \quad (2.21)$$

Persamaan umum untuk daya dukung ultimit pada pondasi memanjang kondisi keruntuhan geser lokal, dinyatakan dengan persamaan :



$$q_u = c' N_c' + D_f \gamma N_q' + 0,5 \gamma B N_\gamma' \quad (2.22)$$

Nilai  $N_c'$ ,  $N_q'$ ,  $N_\gamma'$  adalah faktor daya dukung tanah pada kondisi keruntuhan geser lokal. Dalam analisis daya dukung tanah, istilah-istilah berikut ini perlu diperhatikan.

Tekanan akibat berat sendiri tanah total (*total overburden pressure*) ( $p$ ) adalah intensitas tekanan total yang terdiri dari berat material di atas dasar pondasi total, yaitu berat tanah dan air sebelum pondasi dibangun.

Daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) ( $q_u$ ) adalah beban maksimum persatuan luas yang masih dapat didukung oleh pondasi, dengan tidak terjadi kegagalan geser pada tanah yang mendukungnya. Besarnya beban yang didukung termasuk beban struktur, beban pelat pondasi, dan tanah urugan di atasnya.

Daya dukung ultimit neto (*net ultimate bearing capacity*) ( $q_{un}$ ) adalah nilai intensitas beban pondasi di mana neto tanah akan mengalami keruntuhan geser.

$$q_{un} = q_u - \gamma D_f \quad (2.23)$$

Tekanan pondasi total (*total foundation pressure*) atau intensitas pembebanan kotor  $q$  (*gross loading intensity*) adalah intensitas tekanan tanah total pada tanah di dasar pondasi sesudah struktur selesai dibangun dengan pembebanan penuh. Beban-bebannya termasuk berat kotor pondasi, berat struktur atas, dan berat kotor tanah urugan termasuk air di atas dasar pondasinya.

Tekanan pondasi neto (*net foundation pressure*) ( $q_n$ ) suatu pondasi tertentu adalah tambahan tekanan dasar pondasi, akibat beban mati dan beban hidup dari strukturnya. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka dapat ditulis :

$$q_n = q - \gamma D_f \quad (2.24)$$

dengan  $q_n$  = tekanan pondasi netto,  $q$  = tekanan pondasi total,  $\gamma$  = berat volume tanah, dan  $D_f$  = kedalaman pondasi.

Daya dukung perkiraan (*presumed bearing capacity*) adalah intensitas beban neto yang dipandang memenuhi syarat untuk jenis tanah tertentu untuk maksud perancangan awal. Nilai tertentu tersebut didasarkan pada pengalaman lokal, atau dengan hitungan yang diperoleh dari pengujian kekuatan atau pengujian pembebanan di lapangan, dengan memperhatikan faktor aman terhadap keruntuhan geser.

Daya dukung ijin (*allowable bearing capacity*) ( $q_a$ ) adalah besarnya intensitas beban neto maksimum dengan mempertimbangkan besarnya daya dukung, penurunan dan kemampuan struktur untuk penyesuaian terhadap pengaruh penurunan tersebut. Faktor aman ( $F$ ) dalam tinjauan daya dukung ultimit neto didefinisikan :

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{q_u - \gamma D_f}{q - \gamma D_f} \quad (2.25)$$

dengan  $F$  = faktor aman,  $q_{un}$  = tekanan pondasi ultimit neto,  $q_n$  = tekanan pondasi netto,  $q$  = tekanan pondasi total,  $\gamma$  = berat volume tanah, dan  $D_f$  = kedalaman tanah.

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### A . Hasil Penelitian

Pengujian yang dilakukan yaitu berupa pengujian pada pasir untuk memperoleh hasil yang berkaitan dengan karakteristik pasir sebagai faktor pendukung dalam penelitian ini. Selain itu juga dilakukan pengujian pembebanan pada pasir untuk memperoleh pola atau alur keruntuhan tanah. Hasil uji kadar air, specific gravity, *Grain Size Analysis*, hasil uji berat volume pasir ( $\gamma$ ), dan hasil uji pembebanan berturut-turut disajikan pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4.1. Hasil Uji Kadar Air

1	No. cawan timbang	18	20	7
2	Berat cawan kosong , W1 gram	20,96	20,57	20,46
3	Berat cawan + pasir basah, W2 gram	70,78	70,35	66,29
4	Berat cawan + pasir kering, W3 gram	69,30	69,05	65,07
5	Berat air, (W2-W3) gram	1,48	1,3	1,22
6	Berat pasir kering, (W3-W1) gram	48,34	48,48	44,61
7	Kadar air,	3,06	2,68	2,73
8	Kadar air rata-rata (%)	2,82		

Tabel 4.2. Hasil Uji Gravitasi Khas (*Specific Gravity*)

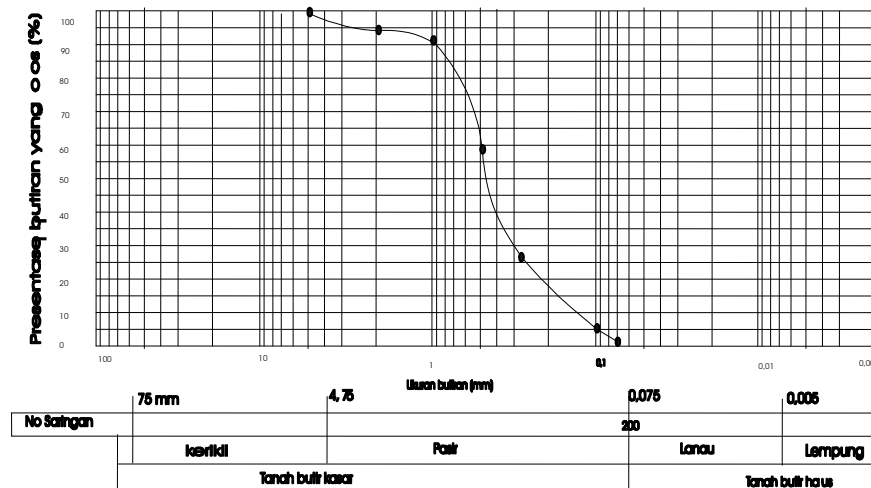
1	Piknometer no.	2	3	
2	Berat piknometer kosong	W1 gr	25,30	24,73
3	Berat piknometer + pasir kering	W2 gr	35,43	34,98
4	Berat piknometer + pasir + air	W3 gr	82,05	81,89
5	Berat piknometer + air	W4 gr	75,60	75,64
6	Temperatur t°	52	50	
7	A = W2 - W1	10,13	10,25	
8	B = W3 - W4	6,45	6,25	
9	C = A - B	3,68	4	
10	Berat jenis G1 = A/C	2,75	2,56	
11	Rata-rata G1	2,66		
12	$G \text{ untuk } 27,5^\circ = G1 \frac{B_{\text{jair } t^0}}{B_{\text{jair } 27,5^0}}$	2,66		

Tabel 4.3. Hasil Uji Gradasi Ukuran Butir

Saringan	Ukuran Butir (mm)	Berat tertahan saringan (gr)	Berat lewat saringan (gr)	Persen lewat saringan $c/w \times 100 \%$
No. 200	0,075	b7 = 33,72	C7 = 23	2,24
No. 140	0,106	b6 = 231,5	C6 = 56,72	5,52
No. 60	0,250	b5 = 313,61	C5 = 288,22	28,05
No. 40	0,425	b4 = 352,6	C4 = 601,83	58,57
No. 20	0,850	b3 = 50,22	C3 = 954,43	92,89
No. 10	2,00	b2 = 22,82	C2 = 977,25	95,11
No. 4	4,75	b1 = 0	C1 = 0	100,00
Berat butiran < 0,075		B2 = 23		
Jumlah		W = 1027,47		

$$\begin{aligned}
 C7 &= B2 & C4 &= C5 + b5 \\
 C1 &= C2 + b2 & C3 &= C4 + b4 \\
 C6 &= C7 + b7 & C2 &= C3 + b3 & C5 &= C6 + b6
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data di atas kemudian digambar grafik yang menunjukkan hubungan antara ukuran butir dalam mm (sebagai absis dengan skala logaritma) dan prosentase lolos saringan (sebagai ordinat). Secara lebih jelas, grafik dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Distribusi Ukuran Butir

Dari grafik didapat : $D_{10} = 0,14$ ,  $D_{30} = 0,3$ , dan  $D_{60} = 0,5$ , sehingga  $C_u$  dan  $C_c$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,5}{0,14} = 3,29$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} = \frac{0,3^2}{0,5 \cdot 0,14} = 1,29$$

Berdasarkan sistem klasifikasi sistem Unified, maka pasir diklasifikasikan ke dalam golongan SP, yaitu pasir bergradasi buruk karena hanya memenuhi salah satu syarat untuk pasir bergradasi baik.

Tabel 4.4. Hasil Uji Berat Volume Pasir

1	No. percobaan		1	2	3
2	Volume kotak	$Cm^3$	1000		
3	Berat wadah kosong	$W_1$ gr	84,8		
3	Berat wadah + pasir	$W_2$ gr	2157	2156,3	2126,5
4	Berat pasir ( $W_2 - W_1$ )	$W_3$ gr	2072,2	2171,5	2041,7
5	Berat volume pasir :		2,072	2,072	2,042
	$\gamma = \frac{W_3}{V}$ $kg/cm^3$				
6	Berat volume pasir rata-rata		2 $gr/cm^3$		

Dalam penelitian ini, pengukuran besarnya pembebanan dan penurunan dilakukan dengan uji pembebanan statik, yaitu dengan memberikan beban secara bertahap dan hasil pengamatan pada beban terakhir sebesar 8,804 kg dapat dilihat seperti pada Tabel 4.5.

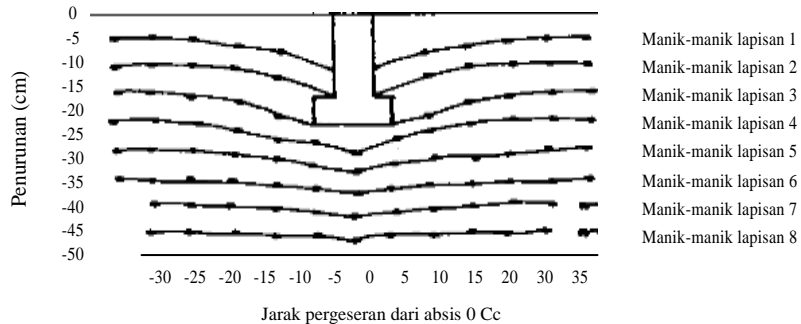
Tabel 4.5. Hasil pengamatan pergeseran manik-manik pada pembebanan 8,804 kg

Manik lapisan no.	Jarak pergeseran dari titik 0 (cm)					
	0	5	10	15	20	25
1	-	-2,6	-1,1	+0,4	+0,8	+0,6
2	-	-3,4	-1,2	+0,5	+0,6	+0,5
3	-	-	-1,8	-0,2	+0,4	+0,2
4	-5	-1,8	-1	-0,2	+0,3	+0,2
5	-4,2	-1,8	-1,2	+0,2	+0,3	+0,2
6	-2,3	-0,5	-0,8	+0,2	+0,2	+0,2
7	-2,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,3	-0,1
8	-2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1

Keterangan :

Peninjauan hanya dari satu sisi karena pergeseran di kedua sisi relatif sama, titik 0 adalah titik di pusat beban pondasi, tanda (-) berarti manik-manik bergeser turun, dan tanda (+) berarti manik-manik bergeser naik.

Selanjutnya, hasil yang diperoleh di atas diplot pada kertas grafik Gambar 4.2 sebagai contoh hasil pengujian pembebanan terhadap pergeseran manik-manik yang ditempatkan pada tanah. Pengujian untuk pembebanan yang lain dislesaikan dengan cara yang sama dan diperoleh grafik dengan cara yang sama.



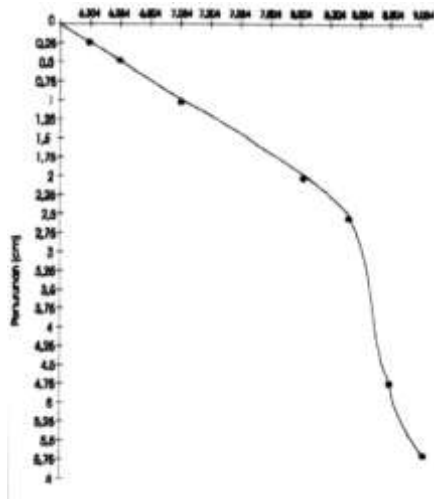
Gambar 4.2. Hasil Pengujian pembebanan 8,804 kg manik

## B. Pembahasan

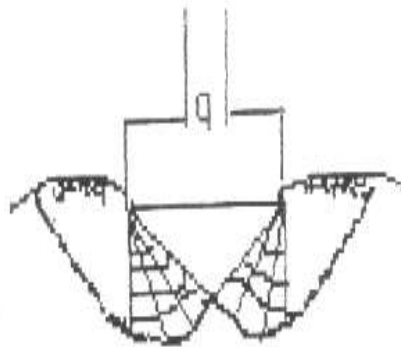
Pada pengujian ini, pondasi ditanam pada kedalaman -15 cm dari permukaan pasir (0). Pada pembebanan pondasi terdesak turun ke bawah dan manik-manik bergeser ke samping kanan dan kiri di sekitar pondasi, serta di bawah pondasi manik-manik bergerak turun secara vertikal. Semakin bertambahnya beban, pondasi akan mendesak pasir dibawahnya sehingga pondasi akan semakin turun dan manik-manik ikut bergeser turun ke bawah. Sedangkan pasir di sekitar pondasi akan bergerak ke arah luar yang diikuti oleh mengembungannya pasir ke permukaan dan manik-manik akan bergeser ke kiri dan kanan di sekitar pondasi serta sedikit menyembul ke permukaan lapisan pasir. Hal ini disebabkan karena pasir mengalami desakan pondasi yang turun akibat pembebanan.

Pembebanan terakhir pada pengujian ini hanya mencapai 8,804 kg Pada beban tersebut pondasi turun hingga mencapai kedalaman -20 cm dari permukaan pasir, yang berarti pondasi turun sebesar 5 cm. Sedangkan pada kedalaman -40 cm dan jarak 20 cm dari arah kanan dan kiri model pondasi, pasir tidak terpengaruh terhadap pembebanan. Hal ini ditandai dengan manik-manik yang tidak bergeser pada jarak tersebut. Besarnya pondasi yang turun meski beban masih relatif kecil disebabkan karena kepadatan pasir yang kurang padat serta gradasi pasir yang buruk. Sehingga pada saat pasir diatur dalam kotak uji, antara butir pasir tidak mampu saling mengisi dan menyebabkan adanya rongga-rongga. Selain itu, pada waktu memasukkan sampel pasir ke dalam kotak uji, pemadatan sulit dilakukan dan pada setiap lapisan tidak merata atau tidak konsisten. Kurangnya kepadatan pasir tersebut juga berpengaruh terhadap pergeseran manik-manik yang lebih besar turun dan lebih sedikit yang menyembul ke permukaan lapisan pasir.

Hingga pada pengujian terakhir sebesar 8,804 kg, baji tanah yang terbentuk tepat di bawah pondasi hanya terlihat sedikit pada saat mendapat beban yang besar. Di kiri dan kanan pondasi tidak terlihat pergeseran dengan jelas, disebabkan karena pemasangan jarak manik-manik terlalu lebar. Pembebanan berhenti hanya mencapai 8,804 kg tetapi penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan sangat besar dan bidang runtuh yang terjadi tidak mencapai permukaan tanah. Sehingga bidang runtuh yang kontinu tidak berkembang. Karena penambahan beban belum maksimal, maka pola keruntuhan tidak terlihat dengan jelas. Hal lain yang menyebabkan pengujian berhenti pada beban yang relatif masih kecil adalah karena alat peraga tidak bisa mendistribusikan beban maksimum. Model pondasi yang kecil bila dibandingkan dengan perletakan manik-manik yang jaraknya terlalu besar menjadi kendala dalam pengujian ini, sehingga tidak bisa memberikan hasil yang maksimal. Meskipun beban belum maksimal dan keruntuhan maksimal atau total tidak terjadi akibat kendala-kendala tersebut di atas, tetapi sudah menunjukkan kecenderungan terjadinya keruntuhan geser lokal (*local shear failure*).



Gambar 4.5. Grafik hubungan pembebanan dengan penurunan



Gambar 4.4. Pola alur keruntuhan tanah

Hal yang demikian juga ditandai pada saat keruntuhan akibat pembebanan secara bertahap diikuti gerakan pondasi turun ke bawah dan selanjutnya permukaan pasir di sekitar pondasi mengembang ke atas, kemudian terjadi retakan dan gerakan muka pasir di sekitar pondasinya. Karena pembebanan yang belum mencapai maksimal, maka pengembangan pasir yang terjadi di sekitar pondasi hanya sedikit dan tidak terjadi penggulingan pondasi.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Beban (P) maksimum yang dapat didukung pondasi tidak bisa tercapai
2. Karena sulitnya untuk memperoleh kepadatan pasir yang merata, sehingga pada pengujian pembebanan, penurunan pondasi yang terjadi terlalu besar.
3. Meskipun pola keruntuhan tidak terlihat dengan jelas tetapi sudah menunjukkan gejala terjadi keruntuhan geser lokal.

### B. Saran

Saran bagi peneliti yang akan melakukan penelitian sejenis, antara lain meliputi :

1. Alat peraga dibuat agar mampu mendistribusikan beban maksimum.
2. Diusahakan kepadatan pasir merata pada setiap lapisan.
3. Jarak manik-manik diatur lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah*, Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta.
- Bowles, J.E, 1991, *Mekanika Tanah II*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.E, 1991, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Penerbit Erlangga , Jakarta
- Hardiyatmo, H. C, 1992, *Mekanika Tanah I*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo,H.C,1996, *Teknik Pondasi*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Sosrodarsono, Suyono, 1980, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Penerbit PT Pradnya Paramita, Jakarta.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Pembuatan Bahan Pengujian

### B. Pengujian

Dalam penelitian ini, pengukuran besarnya pembebanan dan penurunan dilakukan dengan uji pembebanan statik, yaitu dengan memberikan beban secara bertahap, baik penambahan maupun pengukurannya. Pada pengujian ini variasi pembebanannya adalah 6,304 kg; 7,054 kg; 8,054 kg; 8,304 kg; 8,554 kg dan 8,804 kg, dimana beban termasuk berat dongkrak, yaitu 6,054 kg. Selama penambahan beban, dicatat pergeseran manik-manik yang terjadi, selanjutnya

dapat digambarkan pola keruntuhan pada tiap pembebanan pada plastik transparan.