

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TANAH

2.1.1. PENGERTIAN TANAH

Istilah tanah dalam bidang mekanika tanah dipakai untuk mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (batu-batu yang besar) (*Wesley, 1977*). Sedangkan rawa umumnya mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*) sampai pasir (*sand*) yang memiliki karakteristik kenyang air.

Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau mudah tertekan, atau apabila tanah mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka harus dilakukan suatu usaha perbaikan tanah. Berikut ini adalah beberapa usaha perbaikan tanah :

1. Penggantian material (*cut and fill*)
2. Pemadatan (*compaction*)
3. Pra pembebanan

Tujuannya untuk mereduksi *settlement* dan menambah kekuatan geser.

4. Drainase vertikal (*vertikal drain*)

Tujuannya untuk menaikkan laju konsolidasi lempung jenuh dengan permeabilitas rendah.

5. Stabilisasi (mekanis dan kimiawi)

Tujuannya untuk perbaikan mutu tanah yang tidak baik dan meningkatkan mutu dari tanah yang sebenarnya sudah tergolong baik.

6. Grouting (*chemical and cementious*)

Grouting adalah proses penginjeksian bahan-bahan yang bersifat seperti cairan dan setelah waktu yang ditentukan bereaksi ke bentuk solid, semi solid atau gel.

7. Penggunaan *geosynthetis* (*geotextile, geomembran, geogrid, dll*)

8. Trucuk bambu

Usaha peningkatan daya dukung tanah menggunakan trucuk bambu umumnya digunakan pada daerah dengan muka air tinggi. Mengingat jenis material kayu-kayuan memiliki nilai keawetan yang tinggi apabila terendam air.

2.1.2. KLASIFIKASI TANAH

Dari sudut pandangan teknis, tanah dapat digolongkan seperti berikut ini :

1. Batu kerikil (*Gravel*)
2. Pasir (*Sand*)
3. Lanau (*silt*)
4. Lempung (*clay*)

Golongan batu kerikil dan pasir seringkali dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir kasar atau bahan-bahan tidak *cohesive*, sedang golongan lanau dan lempung dikenal sebagai kelas bahan-bahan berbutir halus atau bahan-bahan yang *cohesive*.

Batu Kerikil dan Pasir

Golongan ini terdiri dari pecahan-pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butir-butir batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan-pecahan batu, tetapi kadangkadangkang mungkin pula terdiri dari satu macam zat mineral tertentu, misalnya kwartz atau flint. Butir-butir pasir hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama kwartz.

Butiran-butiran tersebut bisa terdapat dalam satu ukuran saja (*uniformly graded*) atau mencakup seluruh daerah ukuran dari batu besar sampai ke ukuran pasir halus, dalam hal ini bahan tersebut dikatakan bergradasi baik (*well graded*).

Lempung

Lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat *plastisitas* dan *cohesive*. *Cohesive* menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan *plastisitas* adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu berubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retak-retak atau pecah-pecah.

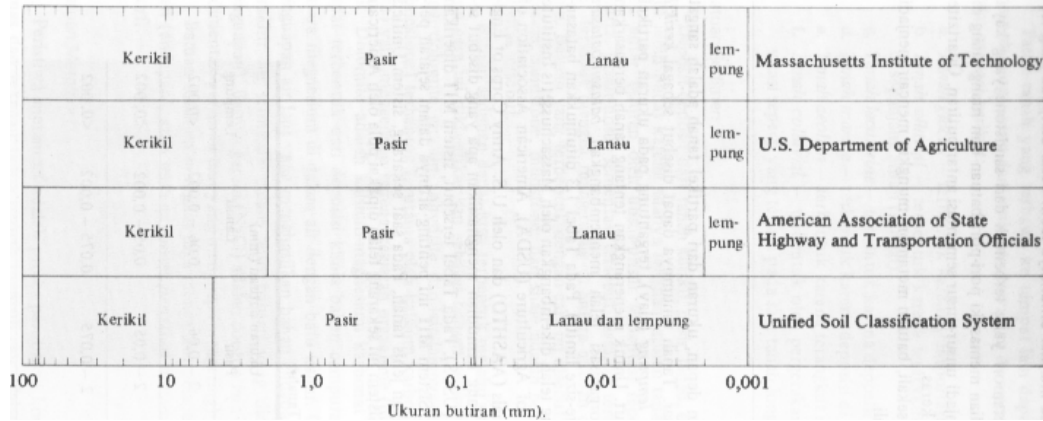
Lanau

Lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang *plastis* dan lebih mudah ditembus air daripada lempung dan memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat pada lempung. Dilatansi ini menunjukkan gejala perubahan isi apabila lanau itu dirubah bentuknya.

2.1.2.1. Deskripsi Sistematis

Klasifikasi tanah dapat dilakukan secara visual atau dapat didasarkan pada hasil percobaan laboratorium. Kedua cara ini prinsipnya sama dan akan menghasilkan deskripsi atau klasifikasi yang sama.

Sedikit banyak, sifat-sifat tanah selalu tergantung pada ukuran butir-butirnya dan ini dipakai sebagai titik tolak untuk klasifikasi teknis dari tanah. Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirnya disajikan dalam tabel dibawah ini.

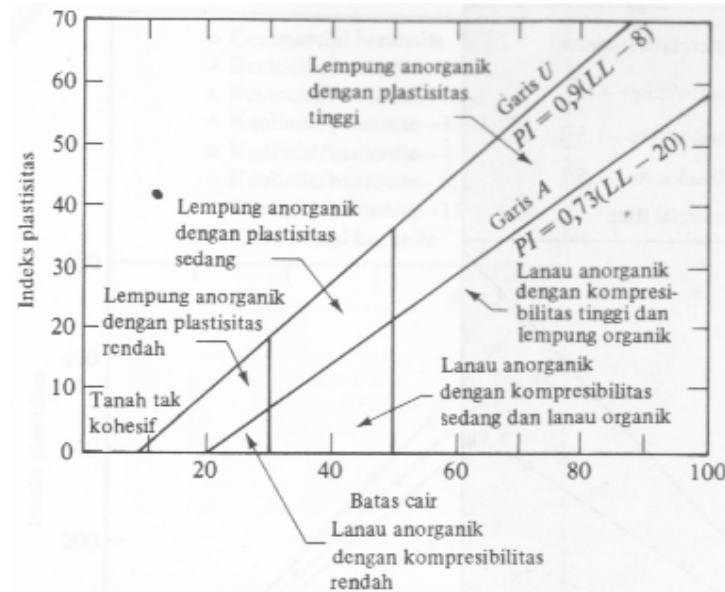


Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M.Das, 1995

Gambar 2.1 Batasan-batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem

Sudah diketahui bahwa sifat-sifat tanah yang berbutir kasar sangat tergantung pada ukuran butirnya, karena itu distribusi ukuran butir adalah satu-satunya sifat yang dipakai untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar.

Akan tetapi lain halnya dengan tanah yang berbutir halus. Pada tanah ini diketahui bahwa tidak ada hubungan langsung antara sifat-sifatnya dengan ukuran butirannya, tetapi lebih bergantung pada komposisi zat mineralnya. Karena alasan inilah, maka untuk menyatakan sifat-sifat dan mengklasifikasikannya dipakai metoda lain, yaitu percobaan *Batas Atterberg*. Dengan kata lain, apabila sudah jelas diketahui bahwa butir-butir tanah tertentu seluruhnya lebih halus dari 0,06 mm maka tak perlu mengukur lebih lanjut ukuran butirnya, untuk menentukan apakah tanah itu lanau atau lempung. Penentuannya dilakukan atas dasar hasil percobaan *Batas Atterberg*. Dari percobaan ini dapat diketahui batas plastis dan batas cair, yang memberikan petunjuk lebih baik mengenai sifat-sifat lanau dan lempung. Bagan plastisitas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M.Das, 1995

Gambar 2.2 Bagan plastisitas

Adalah penting untuk mengetahui perbedaan istilah antara “lempung” dan “fraksi lempung” atau “lanau” dengan “fraksi lanau”. Lempung adalah satu istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang berbutir halus yang bersifat seperti lempung yaitu memiliki sifat *cohesive*, *plastisitas*, tidak memperlihatkan sifat dilatasi dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti. Fraksi lempung menunjukkan bagian berat butir-butir dari tanah yang lebih halus 0.002 mm. Begitu pula lanau adalah istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang bersifat seperti lanau. Fraksi lanau adalah bagian berat bahan antara 0,002 mm-0,06 mm.

2.1.2.2. Deskripsi Visual

Dengan sedikit pengalaman adalah mungkin untuk melakukan klasifikasi dan menyatakan dengan tepat suatu jenis tanah, semata-mata dengan hanya melihatnya. Langkah pertama untuk menyatakan suatu jenis tanah adalah menentukan bagian terbesar dari tanah itu masuk ke dalam kategori pasir dan kerikil ataukah lempung dan lanau. Garis pemisah antara kedua macam ini adalah batas antara ukuran pasir dan lanau yaitu 0,06 mm. Ukuran ini hampir tepat sama dengan ukuran saringan No.200 dan juga merupakan ukuran butir terkecil yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Bila hampir seluruh tanah itu lebih kasar dari ukuran batas ini, maka diberi nama yang sesuai dengan memperhatikan perbandingan relatif dari ukuran butir-butir yang ada sebagai dasar untuk menyatakannya.

Misalnya kerikil kepasiran, suatu bahan yang hampir seluruhnya terdiri dari kerikil tetapi ada mengandung sejumlah pasir. Pasir kelempungan, suatu bahan yang hampir seluruhnya terdiri dari pasir tetapi ada mengandung sejumlah lempung.

Bila kebanyakan tanah itu lebih halus dari ukuran batas pasir / lanau maka tanah itu termasuk kelompok lanau atau lempung, tetapi penentuan apakah lanau atau lempungnya tidak dilakukan atas dasar ukuran butirnya. Cara yang paling baik untuk membedakan antara lanau dan lempung adalah percobaan dilatansi. Sedikit jumlah tanah lunak (cukup basah sehingga hampir lekat) diletakkan ditangan terbuka dan diguncang-guncang secara mendatar. Pada lanau air akan muncul pada permukaannya dan akan hilang bila contoh tanah ditekan diantara jari, pada lempung hal ini tidak akan terjadi.

Dalam beberapa hal reaksi terhadap percobaan dilatansi tidak begitu tegas, dalam hal mana tanah itu harus diklasifikasikan sebagai lempung kelanauan atau lanau kelempungan. Sebagai tambahan terhadap sifat-sifat tanah, berbagai keterangan tentang keadaanya juga harus diberikan meliputi :

A. Untuk Pasir dan Kerikil

- a. Gradasi yaitu apakah bahan itu bergradasi baik (*well graded*), tidak baik (*poorly graded*) ataukah berukuran seragam (*uniformly graded*).
- b. Kadar kehalusan bahan.
- c. Ukuran butir maksimum.
- d. Bentuk butir yaitu apakah bulat, bersudut, memanjang, dsb.
- e. Kekerasan butiran.
- f. Warna.

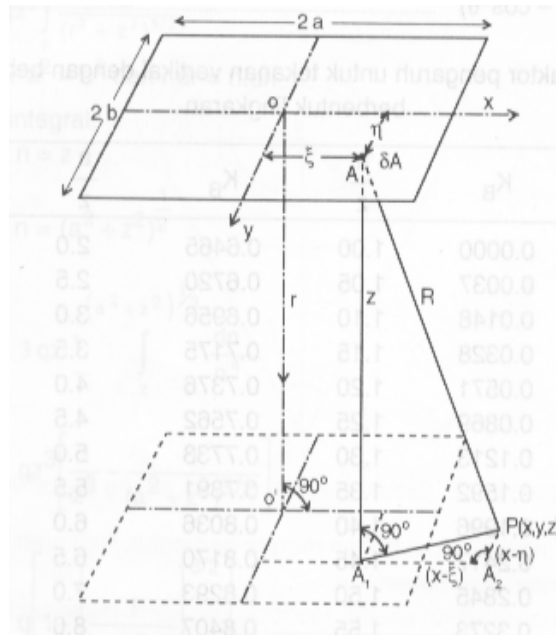
B. Untuk Lanau dan Lempung

- a. Plastisitas yaitu apakah bahan itu derajat plastisitasnya rendah, sedang atau tinggi. Suatu tanda yang baik untuk plastisitas dari suatu bahan dapat diperoleh dengan mengerjakan bahan itu pada kadar air yang berlainan. Bahan dengan plastisitas tinggi dapat dirubah bentuknya tanpa terjadi retak-retak atau pecah-pecah dalam daerah kadar air yang lebar. Bahan dengan plastisitas rendah memperlihatkan gejala untuk menjadi pecah atau retak pada waktu dirubah bentuknya dan sifatnya lebih peka terhadap perubahan kadar air.
- b. Warna.

2.1.3 ANALISA TEGANGAN TANAH

Metode Pengaruh Newmark

Metode pengaruh Newmark digunakan untuk memperoleh tekanan tanah dibawah sudut suatu beban merata berbentuk persegi dengan dimensi $2a \times 2b$ pada kedalaman z , seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Beban merata berbentuk persegi

Didapatkan persamaan,

$$(\sigma_z)_o = \frac{q}{4\pi} \left[\frac{2mn(m^2+n^2+1)^{1/2}}{m^2+n^2+m^2n^2+1} \frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} + \tan^{-1} \frac{2mn(m^2+n^2+1)^{1/2}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \right]$$

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

atau,

$$(\sigma_z)_o = K_N \cdot q$$

dimana,

K_N = faktor pengaruh *newmark* (tabel 2.1)

Tekanan vertikal di pusat sama dengan 4 kali tekanan vertikal di sudut O, dengan demikian untuk tekanan vertikal di pusat dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\sigma_z = 4I_{\sigma} \cdot q$$

| m | n | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| 0.1 | 0.0047 | 0.0092 | 0.0132 | 0.0168 | 0.0198 | 0.0222 | 0.0242 | 0.0258 | 0.0270 | 0.0279 |
| 0.2 | 0.0092 | 0.0179 | 0.0259 | 0.0328 | 0.0387 | 0.0435 | 0.0474 | 0.0504 | 0.0528 | 0.0547 |
| 0.3 | 0.0132 | 0.0259 | 0.0374 | 0.0474 | 0.0559 | 0.0629 | 0.0686 | 0.0731 | 0.0766 | 0.0794 |
| 0.4 | 0.0168 | 0.0328 | 0.0474 | 0.0602 | 0.0711 | 0.0801 | 0.0873 | 0.0931 | 0.0977 | 0.1013 |
| 0.5 | 0.0198 | 0.0387 | 0.0559 | 0.0711 | 0.0840 | 0.0947 | 0.1034 | 0.1104 | 0.1158 | 0.1202 |
| 0.6 | 0.0222 | 0.0435 | 0.0629 | 0.0801 | 0.0947 | 0.1069 | 0.1168 | 0.1247 | 0.1311 | 0.1361 |
| 0.7 | 0.0242 | 0.0474 | 0.0686 | 0.0873 | 0.1034 | 0.1168 | 0.1277 | 0.1365 | 0.1436 | 0.1491 |
| 0.8 | 0.0258 | 0.0504 | 0.0731 | 0.0931 | 0.1104 | 0.1247 | 0.1365 | 0.1461 | 0.1537 | 0.1598 |
| 0.9 | 0.0270 | 0.0528 | 0.0766 | 0.0977 | 0.1158 | 0.1311 | 0.1436 | 0.1537 | 0.1619 | 0.1684 |
| 1.0 | 0.0279 | 0.0547 | 0.0794 | 0.1013 | 0.1202 | 0.1361 | 0.1491 | 0.1598 | 0.1684 | 0.1752 |
| 1.2 | 0.0293 | 0.0573 | 0.0832 | 0.1063 | 0.1263 | 0.1431 | 0.1570 | 0.1684 | 0.1777 | 0.1851 |
| 1.4 | 0.0301 | 0.0589 | 0.0856 | 0.1094 | 0.1300 | 0.1475 | 0.1620 | 0.1777 | 0.1836 | 0.1914 |
| 1.6 | 0.0306 | 0.0599 | 0.0871 | 0.1114 | 0.1324 | 0.1503 | 0.1652 | 0.1836 | 0.1874 | 0.1955 |
| 1.8 | 0.0309 | 0.0606 | 0.0880 | 0.1126 | 0.1340 | 0.1521 | 0.1672 | 0.1874 | 0.1899 | 0.1981 |
| 2.0 | 0.0311 | 0.0610 | 0.0887 | 0.1134 | 0.1350 | 0.1533 | 0.1686 | 0.1899 | 0.1915 | 0.1999 |
| 2.5 | 0.0314 | 0.616 | 0.895 | 0.1145 | 0.1363 | 0.1548 | 0.1704 | 0.1915 | 0.1938 | 0.2024 |
| 3.0 | 0.0315 | 0.0618 | 0.898 | 0.1150 | 0.1368 | 0.1555 | 0.1711 | 0.1938 | 0.1947 | 0.2034 |
| 5.0 | 0.0316 | 0.0620 | 0.0901 | 0.1154 | 0.1374 | 0.1561 | 0.1719 | 0.1947 | 0.1956 | 0.2044 |
| 10.0 | 0.0316 | 0.0620 | 0.0902 | 0.1154 | 0.1375 | 0.1562 | 0.1720 | 0.1956 | 0.1958 | 0.2046 |
| ~ | 0.0316 | 0.0620 | 0.0902 | 0.1154 | 0.1375 | 0.1562 | 0.1720 | 0.1958 | 0.1958 | 0.2046 |

Tabel 2.1 Faktor pengaruh untuk tekanan vertikal dengan beban merata berbentuk luasan persegi berdasarkan persamaan *newmark*

2.2. PONDASI

2.2.1. PENGERTIAN PONDASI

Pondasi adalah bagian dari suatu bangunan yang berfungsi meneruskan berat bangunan tersebut ke tanah dimana bangunan itu berdiri (Terzaghi, Peck, 1987).

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh pondasi. Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997).

Definisi dari Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur / *Sub Structure* yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur / *Upper Structure* ke dalam tanah dibawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan Penurunan / *Settlement* yang berlebihan. Sering kita mendengar tentang kalimat “Struktur Atas” umumnya dipakai untuk menjelaskan bagian sistem yang di rekayasa yang membawa / memikul beban kepada pondasi atau struktur bawah. Pondasi sendiri tergolong dalam bentuk bangunan struktur bawah yang tidak lain sebagai media penyebaran / penyalur

beban. Pondasi memiliki model dan juga bentuk yang sangat variatif sesuai dengan kebutuhan di lapangan dan juga perlu diketahui sampai sekarang bentuk pondasi tersebut terus berkembang dengan pesat sesuai dengan perkembangan. Ilmu Pengetahuan dan Teknologi / IPTEK (Bowles, 1997).

Bagian paling bawah dari suatu konstruksi dinamakan “ Pondasi “. Fungsi pondasi ini adalah meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi. (Das, 1998).

2.2.2. KLASIFIKASI PONDASI

Secara umum pondasi dapat dibagi menjadi dua macam :

1. Pondasi dalam

Menurut *Dr.Ir.L.D.Wesley* dalam bukunya *Mekanika Tanah 1*, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Untuk keperluan perencanaan, tiang dapat dibagi menjadi dua golongan :

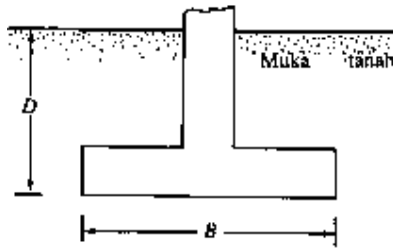
a. Tiang yang tertahan pada ujung

Tiang semacam ini dimasukkan sampai lapisan tanah keras, sehingga daya dukung tanah untuk pondasi ini lebih ditekankan pada tahanan ujungnya. Tiang tipe ini disebut *end bearing pile* atau *point bearing pile*. Untuk tiang tipe ini harus diperhatikan bahwa bahwa ujung tiang harus terletak pada lapisan keras. Lapisan keras ini boleh terdiri dari bahan apapun, meliputi lempung keras sampai batuan keras.

b. Tiang yang tertahan oleh pelekatan antara tiang dengan tanah (*friction pile*)

Kadang-kadang ditemukan keadaan tanah dimana lapisan keras sangat dalam sehingga pembuatan tiang sampai lapisan tersebut sukar dilaksanakan. Maka untuk menahan beban yang diterima tiang, mobilisasi tahanan sebagian besar ditimbulkan oleh gesekan antara tiang dengan tanah (*skin friction*). Tiang semacam ini disebut *friction pile* atau juga sering disebut sebagai tiang terapung (*floating piles*).

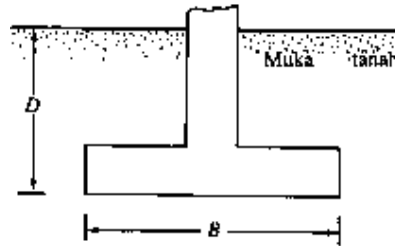
Pondasi dalam sering dibuat dalam bentuk tiang pancang maupun kaisan dengan $D/B \geq 4$.



Gambar 2.4 Pondasi dalam ($D/B \geq 4$)

2. Pondasi dangkal

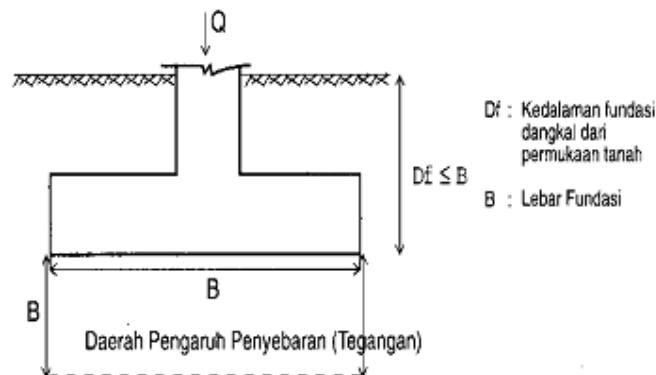
Dinamakan sebagai alas, telapak, telapak sebar / pondasi rakit (*Mats*). Kedalaman pondasi dangkal pada umumnya $D/B \leq 1$ tetapi mungkin agak lebih.



Gambar 2.5 Pondasi dangkal ($D/B \leq 1$)

Terzaghi mendefinisikan pondasi dangkal sebagai berikut :

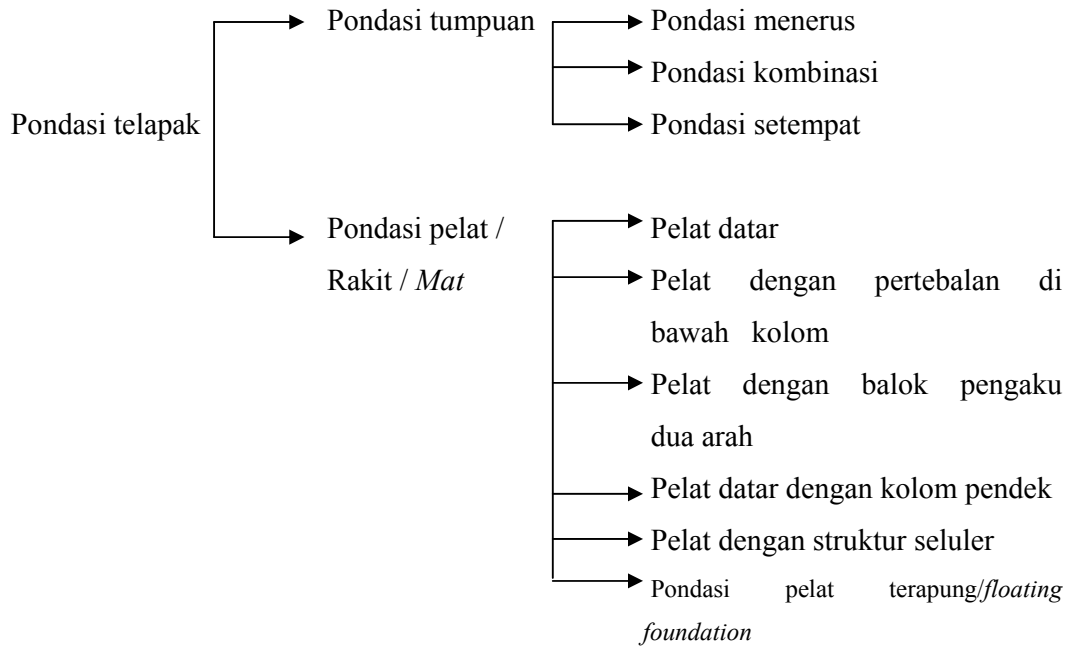
- Apabila kedalaman pondasi lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi, maka pondasi tersebut bisa dikatakan sebagai pondasi dangkal.
- Anggapan bahwa penyebaran tegangan pada struktur pondasi ke tanah dibawahnya yang berupa lapisan penyangga (*bearing stratum*) lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi.



Gambar 2.6 Pondasi dangkal

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

Pondasi telapak dapat dibedakan sebagai berikut :



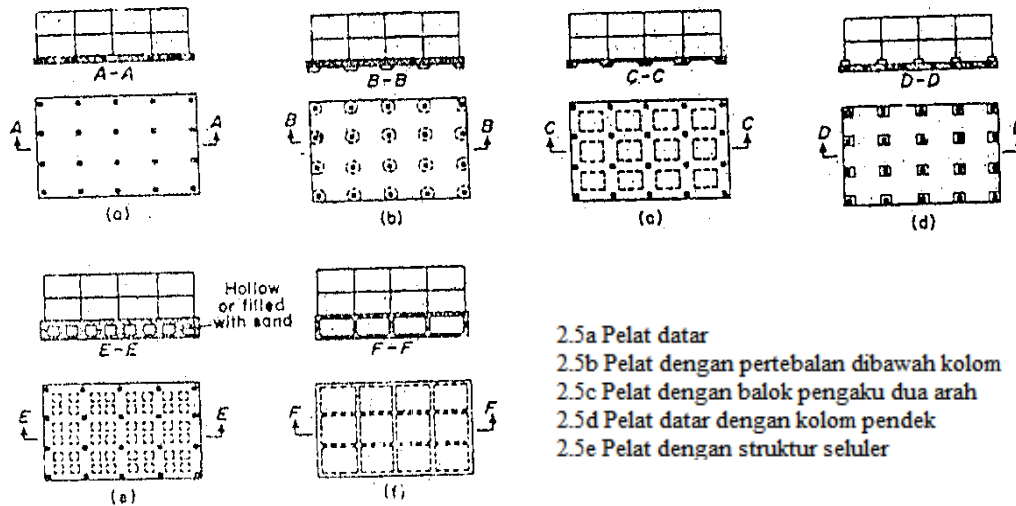
Sumber : Rekayasa Fundasi II Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam, penerbit Gunadarma & Rekayasa Pondasi II, Ir. Indrastono Dwi Atmanto M.Eng

Gambar 2.7 Flow chart klasifikasi pondasi telapak

Pondasi Pelat / Rakit (Raft / Mat Foundation)

Pondasi rakit merupakan pondasi gabungan yang sekurang-kurangnya memikul tiga kolom yang tidak terletak dalam satu garis lurus, jadi seluruh bangunan menggunakan satu telapak bersama. Jika jumlah luas seluruh telapak melebihi setengah luas bangunan, maka lebih ekonomis digunakan pondasi rakit. Selain itu pelaksanaannya juga lebih mudah. Pemakaian pondasi rakit dimaksudkan juga untuk mengatasi tanah dasar yang tidak homogen, misal ada lensa-lensa tanah lunak, supaya tidak terjadi perbedaan penurunan yang cukup besar. Secara struktur pondasi rakit merupakan pelat beton bertulang yang mampu menahan momen, gaya lintang, geser pons yang terjadi pada pelat beton, tetapi masih aman dan ekonomis. Apabila beban tidak terlalu besar dan jarak kolom sama maka pelat dibuat sama tebal (gb.2.8a). Untuk mengatasi gaya geser pons yang cukup besar, dapat dilakukan pertebalan pelat dibawah masing-masing kolom atau diatas pelat (gb.2.8b dan gb.2.8d). pemberian balok pada kedua

arah dibawah pelat bertujuan untuk menahan momen yang besar (gb.2.8c) atau dapat dipakai juga pelat dengan struktur seluler (gb.2.8e). Sedangkan untuk mengurangi penurunan pada tanah yang *kompresible* dibuat pondasi yang agak dalam, struktur ini disebut pondasi pelat terapung/*floating foundation* (gb.2.8).



Sumber: Rekayasa Pondasi II, Ir Indrastono Dwi Atmanto, Meng

Gambar 2.8 Tipe-tipe pondasi rakit / pelat / *mat (raft) footing*

2.2.3. DAYA DUKUNG TANAH (*Bearing Capacity Of Soil*)

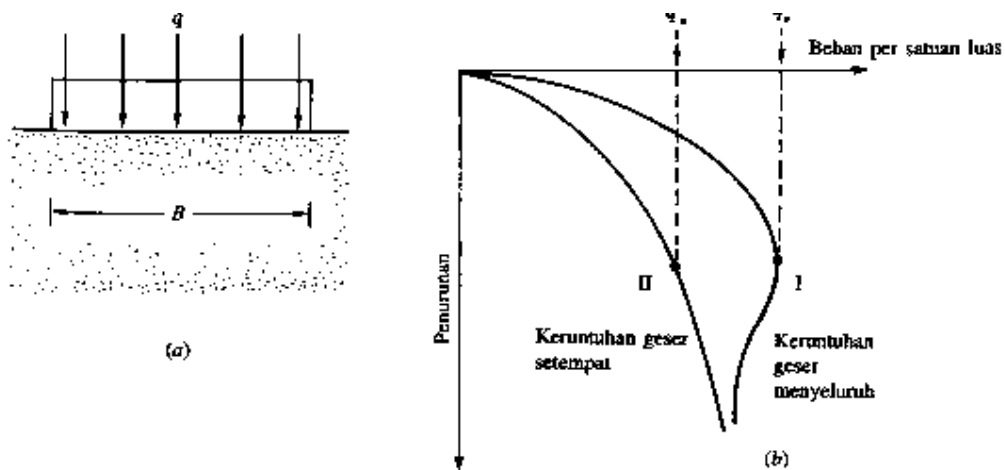
2.2.3.1. DAYA DUKUNG BATAS TANAH UNTUK PONDASI DANGKAL

Yang dimaksud dengan daya dukung adalah gaya maksimum yang dapat dipikul/ditahan tanpa menyebabkan keruntuhan geser dan penurunan/*Settlement* yang berlebihan untuk melawan gaya geser.

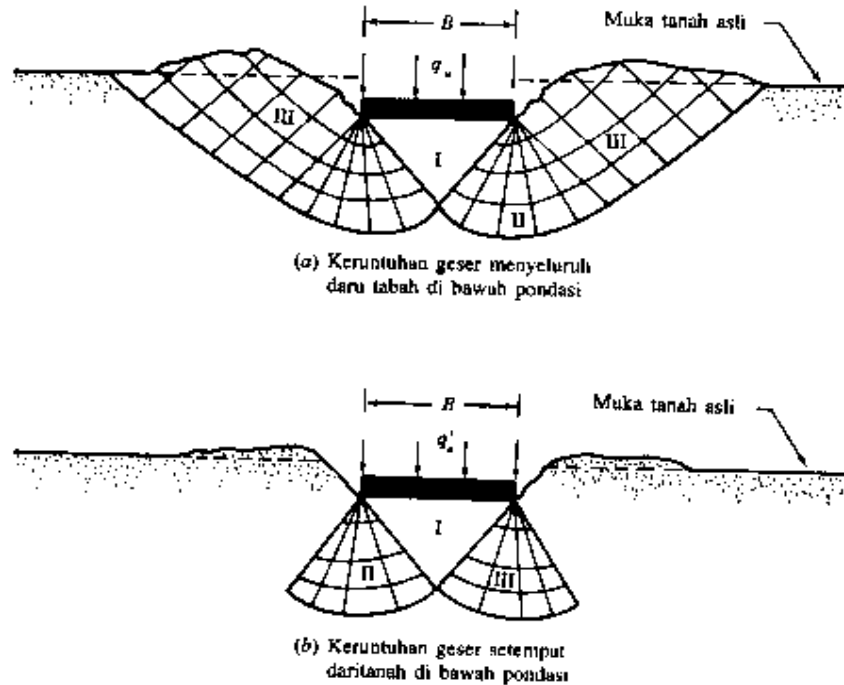
Untuk dapat memahami konsep daya dukung batas suatu tanah, terlebih dahulu kita harus memahami konsep pola keruntuhan geser dalam tanah. Perhatikan model pondasi bentuk persegi yang memanjang dengan lebar B yang diletakkan pada permukaan lapisan tanah pasir padat / tanah yang kaku (gb.2.9a) Apabila beban-beban terbagi rata q per satuan luas diletakkan diatas model pondasi, maka pondasi tadi akan turun. Apabila beban terbagi rata q tersebut ditambah, tentu saja penurunan pondasi yang bersangkutan akan bertambah pula. Tetapi, bila besar $q = q_u$ (gb.2.9b) telah dicapai, maka keruntuhan daya dukung akan terjadi, yang berarti pondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar tanpa penambahan beban q lebih lanjut. Tanah disebelah kanan dan kiri pondasi akan menyembul dan bidang longsor akan mencapai permukaan tanah. Hubungan antara

beban dan penurunan akan seperti kurva I (gb.2.9b). Untuk keadaan ini kita mendefinisikan q_u sebagai daya dukung batas tanah. Pola keruntuhan daya dukung seperti ini dinamakan *keruntuhan geser menyeluruh (general shear failure)*. Apabila pondasi turun karena suatu beban yang diletakkan di atasnya, maka suatu zona keruntuhan blok segitiga dari tanah (zona I) akan tertekan kebawah, dan selanjutnya tanah dalam zona I menekan zona II dan zona III kesamping dan kemudian ke atas (gb.2.9a). Pada beban batas q_u , tanah berada dalam keseimbangan plastis dan keruntuhan terjadi dengan cara menggelincir. Apabila model pondasi yang kita jelaskan diatas kita letakkan dalam tanah pasir yang setengah padat, maka hubungan antara beban dan penurunan akan berbentuk seperti kurva II. Sementara itu, apabila harga $q = q_u'$ maka hubungan antara beban dan penurunan menjadi curam dan lurus. Dalam keadaan ini q_u' kita definisikan sebagai daya dukung batas dari tanah. Pola keruntuhan seperti ini dinamakan *keruntuhan geser setempat (local shear failure)*. Zona keruntuhan blok segitiga (zona I) di bawah pondasi akan bergerak ke bawah (gb.2.9b), tetapi tidak seperti keruntuhan *geser menyeluruh (general shear failure)*, bidang keruntuhan berakhir di suatu tempat di dalam tanah. Walaupun demikian, tanda-tanda tanah yang menyembul dapat kita lihat.

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



Gambar 2.9 (a) Model pondasi ; (b) Grafik hubungan antara beban dan penurunan



Gambar 2.10 (a) Keruntuhan geser menyeluruh ; (b) Keruntuhan geser setempat

Setelah memahami konsep pola keruntuhan geser dalam tanah, maka kita dapat menggunakan persamaan daya dukung *Terzaghi* dengan dua asumsi, yaitu :

1. Menganggap bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*).

Persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh *Terzaghi* adalah sebagai berikut :

Pondasi menerus :

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

Pondasi bujur sangkar :

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

Pondasi lingkaran :

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

dimana,

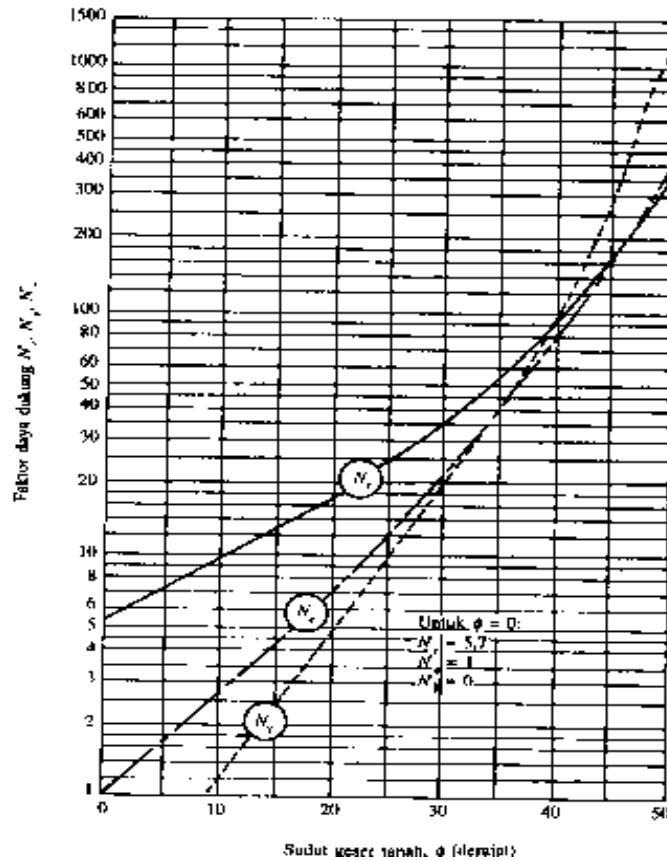
c = Kohesi (kg / m^2)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

B = Lebar alas pondasi (m)

$$q = \gamma \cdot D_f = \text{Effective Overburden Pressure}$$

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



Gambar 2.11 Faktor daya dukung *terzaghi* untuk keruntuhan geser menyeluruh

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

Asumsi ini memberikan anggapan bahwa :

$$c' = \frac{2}{3} c$$

dan

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

sehingga persamaan daya dukung *Terzaghi* menjadi :

Pondasi menerus :

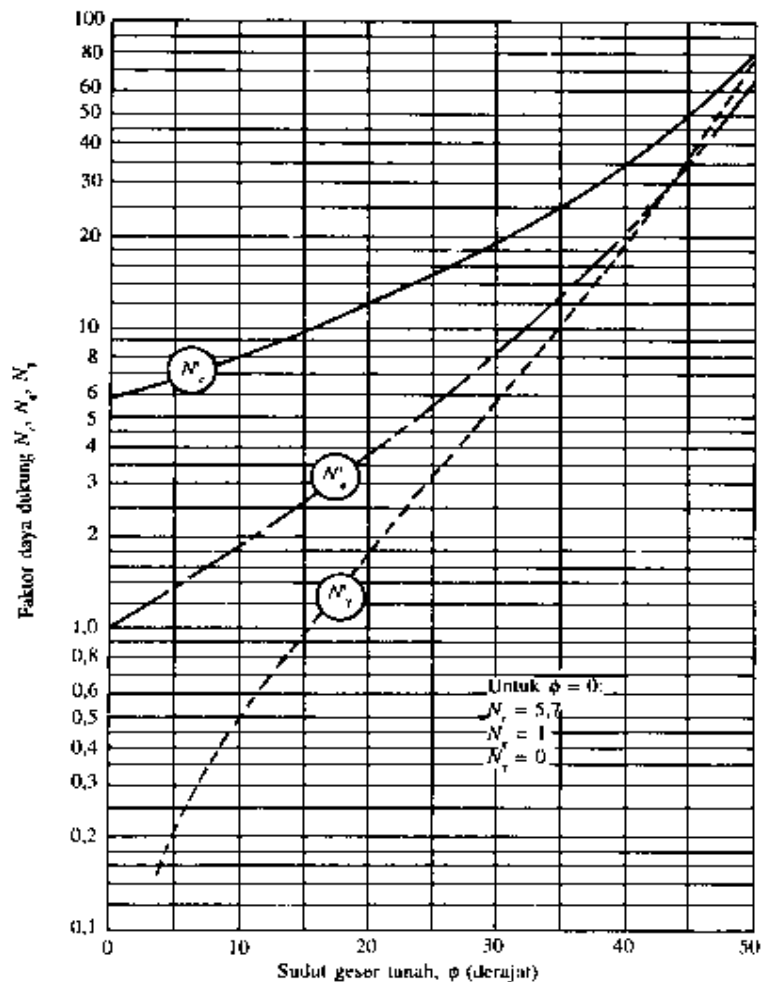
$$q_u = c' N'_c + q N'_q + 0,5 B \gamma N'_\gamma$$

Pondasi bujur sangkar :

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

Pondasi lingkaran :

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



Gambar 2.12 Faktor daya dukung *terzaghi* untuk keruntuhan geser setempat

Dari rumus di atas terlihat bahwa faktor yang mempengaruhi besarnya daya dukung ialah :

1. Kedalaman pondasi,
2. Lebar / alas pondasi,
3. Berat satuan tanah (bila tanah terendam γ berkurang, maka daya dukung berkurang),
4. Apabila sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c) dan kedalaman (D_f) makin besar, maka makin tinggi daya dukungnya.

Dari kedua konsep pola keruntuhan geser dalam tanah tersebut, dapat disimpulkan bahwa keruntuhan yang terjadi pada studi kasus dalam analisa ini adalah pola keruntuhan geser setempat (*local shear failure*). Hal ini dikarenakan kondisi tanah pada lokasi relatif lunak dan sangat kompresibel, sehingga setelah beban pondasi bekerja akan terjadi penurunan. Dan akan terus bertambah setelah beban bangunan bekerja yang mengakibatkan zona I akan tertekan kebawah, dan selanjutnya tanah dalam zona I akan menekan zona II tetapi tidak akan menekan zona III. Tanah akan terus bergerak kebawah dan penurunan akan berakhir di suatu tempat di dalam tanah.

2.2.3.2. Pengaruh Muka Air Tanah

Sejauh ini kita membahas persamaan daya dukung tanah yang mengasumsikan bahwa permukaan air tanah berada pada kedalaman lebih besar dari lebar pondasi B. Akan tetapi, bila permukaan air tanah berada dekat dengan dasar pondasi, maka dibutuhkan beberapa perubahan dalam suku kedua dan ketiga dari persamaan daya dukung *Terzaghi*. Dalam kasus ini ada tiga keadaan yang berbeda mengenai lokasi permukaan air tanah terhadap dasar pondasi seperti ditunjukkan dalam gambar 2.13. Sekarang kita akan membahas keadaan tersebut secara singkat.

Keadaan I (gb.2.13a)

Apabila permukaan air tanah terletak pada jarak D diatas dasar pondasi, harga dalam suku kedua dari persamaan daya dukung *Terzaghi* harus dihitung sebagai berikut :

$$q = \gamma (D_f - D) + \gamma' D$$

dengan

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = \text{berat volume efektif dari tanah}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$$

γ suku ketiga persamaan = γ'

Keadaan II (gb.2.13b)

Apabila permukaan air tanah berada tepat di dasar pondasi, maka :

$$q = \gamma D_f$$

γ suku ketiga persamaan = γ'

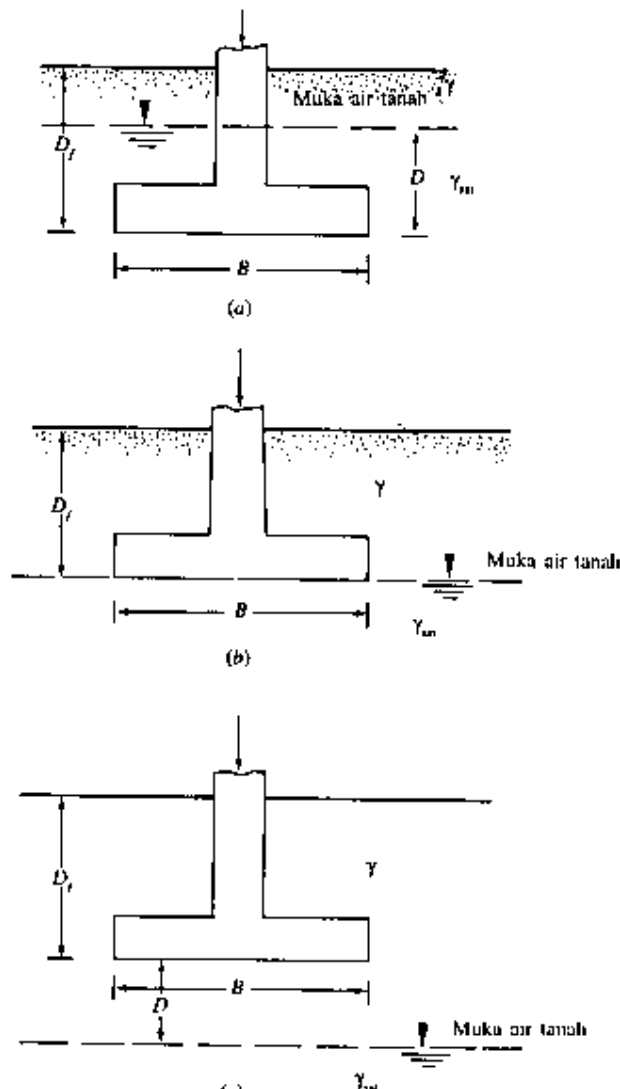
$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w =$ berat volume efektif dari tanah

Kedaaan III (gb.2.13c)

Apabila permukaan air tanah berada pada kedalaman D di bawah dasar pondasi, maka:

$$q = \gamma D_f$$

γ suku ketiga persamaan = $\gamma_{\text{rata-rata}}$



Gambar 2.13 Pengaruh lokasi muka air tanah terhadap daya dukung pondasi dangkal

(a) keadaan I (b) keadaan II (c) keadaan III

2.2.3.3. Daya Dukung Ijin

Daya dukung ijin adalah beban per satuan luas yang diijinkan untuk dibebankan pada tanah di bawah pondasi, agar kemungkinan terjadinya keruntuhan dapat dihindari. Beban tersebut termasuk beban mati dan beban hidup diatas permukaan tanah, berat pondasi itu sendiri dan berat tanah yang terletak tepat diatas pondasi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung ijin adalah sebagai berikut :

$$q_{\text{ijin}} = \frac{q_u}{F_s}$$

dimana,

q_u = daya dukung batas

F_s = safety factor / angka aman

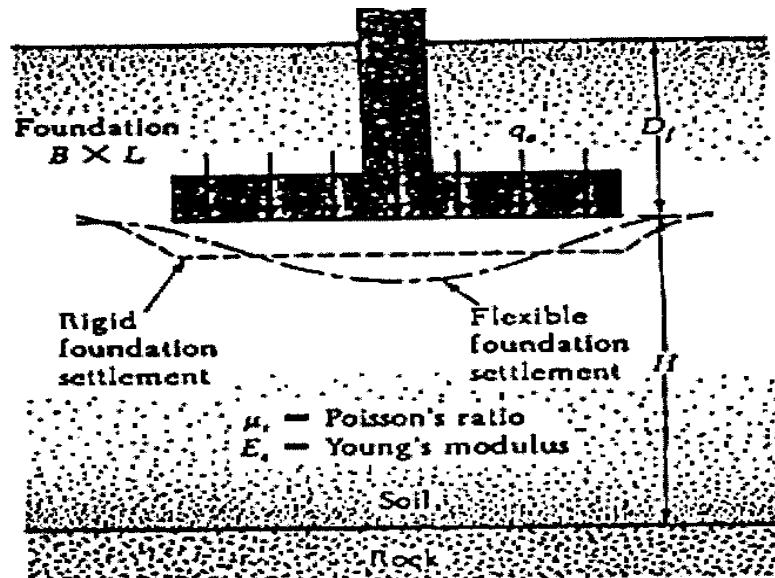
Pada umumnya angka aman besarnya sekitar 3, digunakan untuk menghitung daya dukung yang diijinkan untuk tanah di bawah pondasi. Hal ini dilakukan mengingat bahwa dalam keadaan yang sesungguhnya tanah tidak homogen dan tidak isotropis sehingga pada saat mengevaluasi parameter-parameter dasar dari kekuatan geser tanah ini kita menemukan banyak ketidakpastian.

2.2.4. PENURUNAN PONDASI

Penurunan pondasi akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu :

2.2.4.1 Penurunan Seketika / *Immediately Settlement*

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



Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma hal 48

Gambar 2.14 Penurunan seketika

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

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

dimana,

q = besarnya tegangan kontak

B = lebar pondasi

I_w = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi
(tabel 2.2)

μ = angka *poisson ratio* (tabel 2.3)

E_s = sifat elastisitas tanah (tabel 2.4)

$$q_{ekstrim} = R/A \pm M_y/W_y + M_x/W_x + \gamma \cdot d$$

dimana,

$q_{ekstrim}$ = besarnya tegangan

$R = \sum P$ = resultante beban vertikal

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

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

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

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

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

γ = berat isi beton

d = tebal plat pondasi

Dalam perhitungan penurunan seketika / *Immediately Settlement* diperlukan faktor pengaruh bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w), angka *poisson ratio* (μ), dan sifat elastisitas tanah (E_s), yang dapat dilihat pada Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Tabel 2.4.

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

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma, hal 50

Tabel 2.2 Faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w)

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

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma, hal 50

Tabel 2.3 Angka *Poisson Ratio* (μ) menurut jenis tanah

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

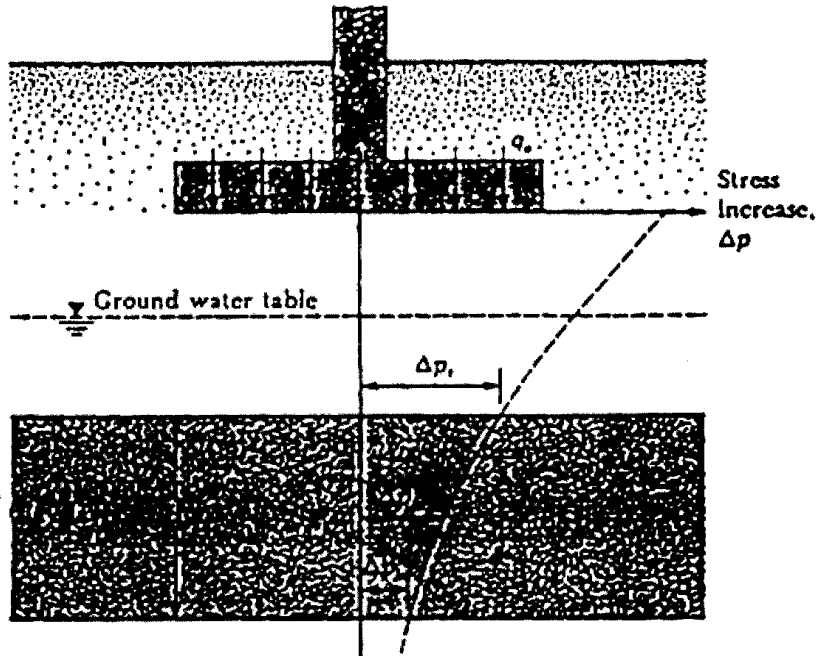
Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma, hal 51

Tabel 2.4 Nilai Sifat Elastisitas Tanah (E_s) menurut jenis tanah

2.2.4.2. Penurunan Konsolidasi / *Consolidation Settlement*

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi yang besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ($S_r = 100\%$) atau yang mendekati jenuh ($S_r = 90\% - 100\%$) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga $K \leq 10^{-6}$ m/s.

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



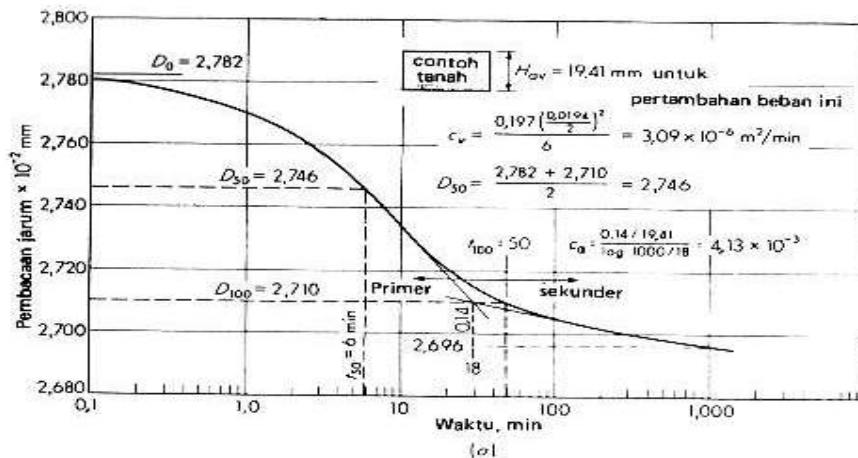
Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma, hal 49

Gambar 2.15 Penurunan konsolidasi

Penurunan konsolidasi yang terjadi dibagi dua, yaitu :

a. Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi ketika gradien tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan didalam stratum yang ditinjau. Pada akhir konsolidasi primer kelebihan tekanan pori mendekati nol dan perubahan tegangan telah beralih dari keadaan total ke keadaan efektif. Penurunan tambahan ini disebut penurunan sekunder yang terus berlanjut untuk suatu waktu tertentu, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.16.



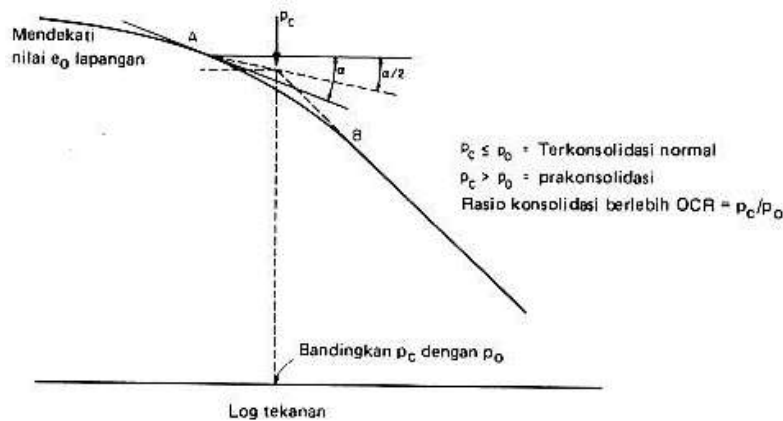
Sumber : Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Edisi kedua, Joseph E. Bowles

Gambar 2.16 Grafik penyajian penurunan konsolidasi primer dan sekunder

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

- Tanah normal konsolidasi

Apabila lengkung bertambah secara tajam (patah) mendekati tekanan tanah efektif akibat beban yang berada di atasnya (P_0), maka dapat dianggap bahwa tanah tersebut terkonsolidasi normal. Artinya struktur tanah terbentuk akibat akumulasi tekanan pada saat deposit yang ada bertambah dalam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat ada gambar 2.17. Tanah terkonsolidasi normal adalah tanah yang tidak pernah menderita beban tegangan efektif yang lebih besar dari tegangan yang ada sekarang (Sumber : *Dasar-Dasar Analisa Geoteknik, I.S. Dunn, L.R. Anderson, F.W. Kiefer*).



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

Gambar 2.17 Metode Casagrande untuk menentukan jenis konsolidasi

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

$$P_c \leq P_0$$

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

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

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

dimana,

Scp = penurunan / *Settlement* (cm)

Cc = indeks kompresi tanah

e_o = angka pori

T_v=t_{total} = waktu perencanaan

t_{primer} = waktu terjadinya penurunan konsolidasi

H = tebal lapisan tanah

Cv = koefisien konsolidasi (cm²/detik)

U = derajat konsolidasi

ΔP = tambahan tegangan

Po = effective overburden layer

Pc = preconsolidation pressure

▪ Tanah over konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari Po, maka dapat dianggap tanah tersebut mengalami over konsolidasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat ada gambar 2.17. Tanah over konsolidasi adalah tanah yang pernah menderita beban tekanan efektif yang lebih besar daripada tegangan yang sekarang (*Sumber : Dasar-Dasar Analisa Geoteknik, I.S. Dunn, L.R. Anderson, F.W. Kiefer*). Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan / *settlement* pada kondisi tanah over konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c > P_o$$

$$Scp = \frac{Cr \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

dimana,

ΔP = tambahan tegangan

Po = effective overburden layer

Cr = compression index pada kondisi over konsolidasi

H = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

Pc = preconsolidation pressure

b. Penurunan konsolidasi sekunder

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

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

dimana,

- S_{cs} = penurunan / *Settlement* (cm)
 e_o = angka pori
 H = tebal lapisan tanah
 C_{α} = indeks pemampatan sekunder

Jadi penurunan total (S_t) yang terjadi adalah :

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

dimana,

- S_t = penurunan total
 S_i = penurunan seketika
 S_{cp} = penurunan konsolidasi primer
 S_{cs} = penurunan konsolidasi sekunder

2.3. KONSEP PEMBEBANAN

2.3.1. URAIAN UMUM

Di Indonesia pada umumnya umur rencana dari suatu bangunan adalah 50 tahun. Oleh karena itu selama umur rencananya, struktur bangunan dapat menerima berbagai macam kondisi pembebanan yang mungkin terjadi.

Kesalahan dalam menganalisis beban merupakan salah satu penyebab utama kegagalan struktur. Mengingat hal tersebut, sebelum melakukan analisis struktur, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur beserta karakteristiknya.

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan dapat berupa kombinasi dari beberapa beban yang terjadi secara bersamaan. Secara garis besar beban pada struktur dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu gaya statis dan gaya dinamis. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan mempunyai karakter *steady states*. Sedangkan gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady states* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Untuk memastikan bahwa suatu struktur bangunan dapat bertahan selama umur rencana, perlu ditinjau beberapa kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi.

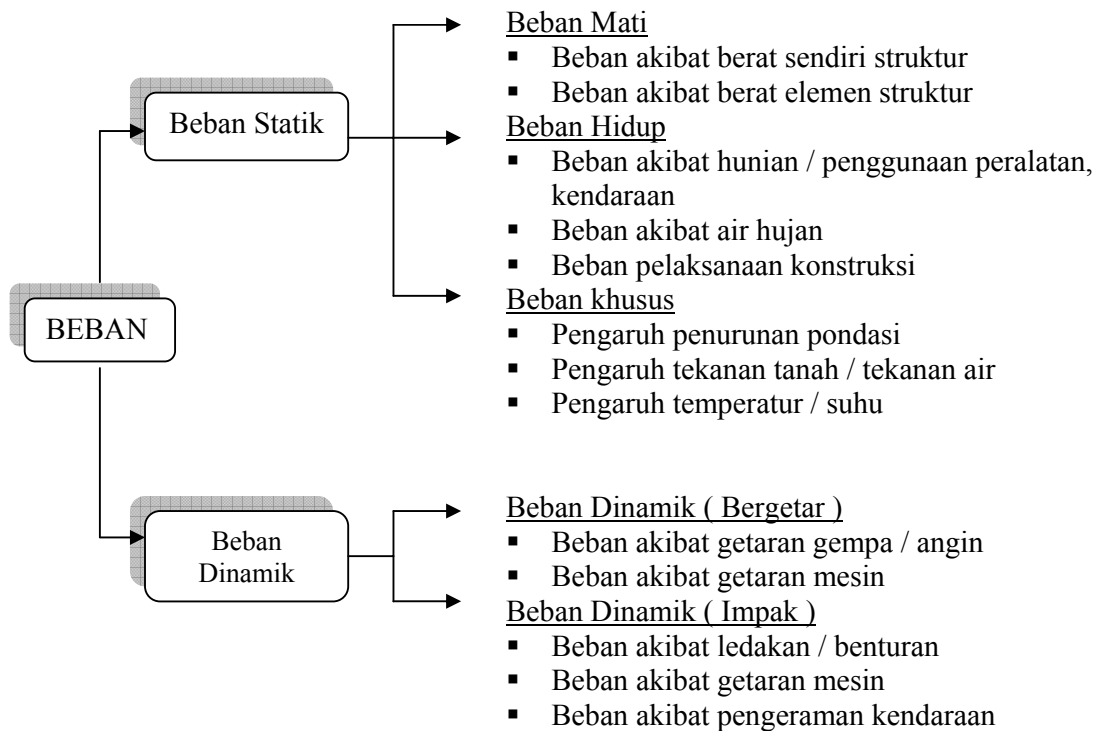
2.3.2. JENIS-JENIS BEBAN

Dalam menjalankan fungsinya setiap sistem struktur harus mampu menahan atau menerima pengaruh-pengaruh dari luar yang harus dipikul untuk selanjutnya diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi.

Pengaruh dari luar yang bekerja pada struktur dapat dinyatakan sebagai besaran gaya dengan intensitas yang dapat diukur. Intensitas pengaruh dari luar pada struktur disebut beban atau gaya luar, dimana cara bekerjanya serta besarnya diatur dalam peraturan atau standar pembebanan yang berlaku.

Selain pengaruh dari luar dapat diukur sebagai besaran gaya seperti berat sendiri struktur, beban akibat hunian, pengaruh angin atau getaran gempa, tekanan hidrostatis air dan tekanan tanah, terdapat juga pengaruh-pengaruh luar yang tidak dapat diukur sebagai gaya antara lain pengaruh penurunan pondasi pada struktur bangunan atau pengaruh temperatur pada elemen struktur.

Secara umum beban atau gaya luar yang bekerja pada struktur dapat dibedakan menjadi beban statik dan beban dinamik yang diuraikan dibawah ini :



Sumber : Rekayasa Gempa , Ir Himawan Indarto, MT

Gambar 2.18 Flow chart klasifikasi beban pada struktur

Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut :

1. Beban Mati (Dead Load / DL)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis dan partisi. Untuk menghitung besarnya beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen. Berat satuan (*unit weight*) material secara empiris telah ditentukan dan telah banyak dicantumkan tabelnya pada sejumlah standar atau peraturan pembebanan. Berat satuan atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 atau Peraturan Tahun 1987.

Informasi mengenai berat satuan dari berbagai material konstruksi yang sering digunakan perhitungan beban mati dicantumkan berikut ini :

- Baja = 7850 kg/m³
- Beton = 2200 kg/m³
- Batu belah = 1500 kg/m³
- Beton bertulang = 2400 kg/m³
- Kayu = 700 kg/m³
- Pasir kering = 1600 kg/m³
- Pasir basah = 1800 kg/m³
- Pasir kerikil = 1850 kg/m³
- Tanah = 1700 – 1200 kg/m³

Berat dari beberapa komponen bangunan dapat ditentukan sebagai berikut :

- Atap genting, usuk dan reng = 50 kg/m²
- Plafon dan penggantung = 18 kg/m²
- Atap seng dan gelombang = 10 kg/m²
- Adukan / spesi lantai per cm tebal = 21 kg/m²
- Penutup lantai / ubin per cm tebal = 24 kg/m²
- Pasangan bata setengah batu = 250 kg/m²
- Pasangan batako berlubang = 200 kg/m²

2. Beban Hidup (Live Load / LL)

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dari banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban hidup lebih besar bila dibandingkan dengan beban mati. Besarnya beban hidup terbagi merata ekuivalen yang harus diperhitungkan pada struktur bangunan gedung, pada umumnya dapat ditentukan berdasarkan standar yang berlaku. Beban hidup untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut :

- Beban hidup pada atap = 100 kg/m²
- Lantai rumah tinggal = 200 kg/m²

- Lantai sekolah, perkantoran, hotel, asrama, pasar,
rumah sakit = 250 kg/m²
- Panggung penonton = 500 kg/m²
- Lantai ruang olah raga, lantai pabrik, bengkel,
gudang, tempat orang berkumpul, perpustakaan,
toko buku, masjid, gereja, bioskop, ruang alat atau
mesin. = 400 kg/m²
- Balkon, tangga = 300 kg/m²
- Lantai gedung parkir : Lantai bawah = 800 kg/m²
Lantai atas = 400 kg/m²

2.4. PROGRAM KOMPUTER PLAXIS

PLAXIS (*Fenite Element Code For Soil and Rock Analysis*) merupakan suatu program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. Grafik prosedur-prosedur input data (*Soil Propertis*) yang sederhana mampu menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan fasilitas *output* tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan. Perhitungan program ini seluruhnya secara otomatis dan berdasarkan pada prosedur pemodelan struktur geoteknik yang tepat serta penulisan angka yang tepat pula. Konsep ini dapat dikuasai oleh pengguna baru dalam waktu yang relatif singkat setelah melakukan beberapa latihan (*R. B. J. Brinkgreve, P. A. Vermeer, PLAXIS Fenite Element Code For Soil and Rock Analyses, A. A. BALKEMA/ ROTTERDAM/ BROOKFIELD, 1998*).

Parameter-parameter tanah yang digunakan dalam aplikasi program ini adalah type behaviour, berat isi kering / dry soil weight (γ dry), berat isi basah / wet soil weight (γ wet), horisontal permeability (k_x), vertical permeability (k_y), young's modulus (E_{ref}), poisson's rasio (ν), kohesi (c), sudut geser / friction angle (ϕ), sudut dilatasi / dilatancy angle (ψ), interface reduction factor (R_{inter}).

Beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum menggunakan FE Analysis untuk penelitian adalah :

1. Memahami prinsip tegangan efektif dan sifat laku tanah adalah penting bagi siapapun yang akan melakukan analisa geoteknik menggunakan *finite element* untuk perencanaan.
2. Dapat memodelkan suatu struktur geoteknik dengan benar.

3. Mengetahui tahapan konstruksinya.
4. Mengetahui input / data masukan apa saja yang dibutuhkan.
5. Dapat mengoperasikan sebuah *software* (Plaxis).

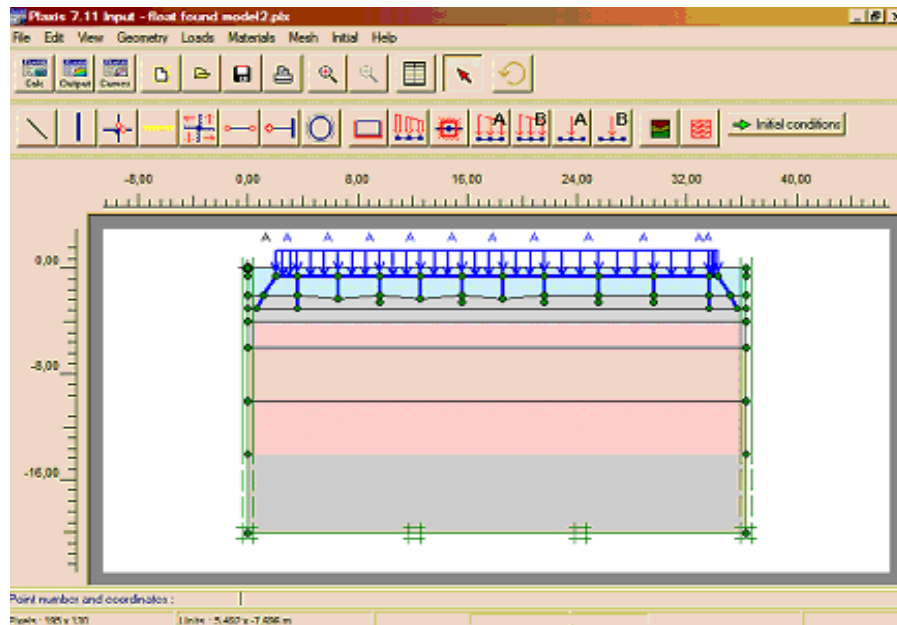
Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah proyek pembangunan gedung AKPERISSA ~ YBWSA (Akademi Keperawatan Islam Sultan Agung ~ Yayasan Badan Wakaf Sultan Agung) Semarang, dengan tahapan konstruksi sebagai berikut :

- Tahap 1 : Menggali tanah sampai kedalaman 3m.
- Tahap 2 : Pemancangan trucus bambu ($\text{Ø}10\text{cm}$) pada -3m sedalam 4m dengan jarak $50 \times 50 \text{ cm}^2$.
- Tahap 3 : Mengurug dengan material sirtu kali dan sirtu gunung sampai kedalaman -6m.
- Tahap 4 : Setelah menerima beban pondasi.
- Tahap 5 : Setelah menerima beban pondasi dan bangunan.

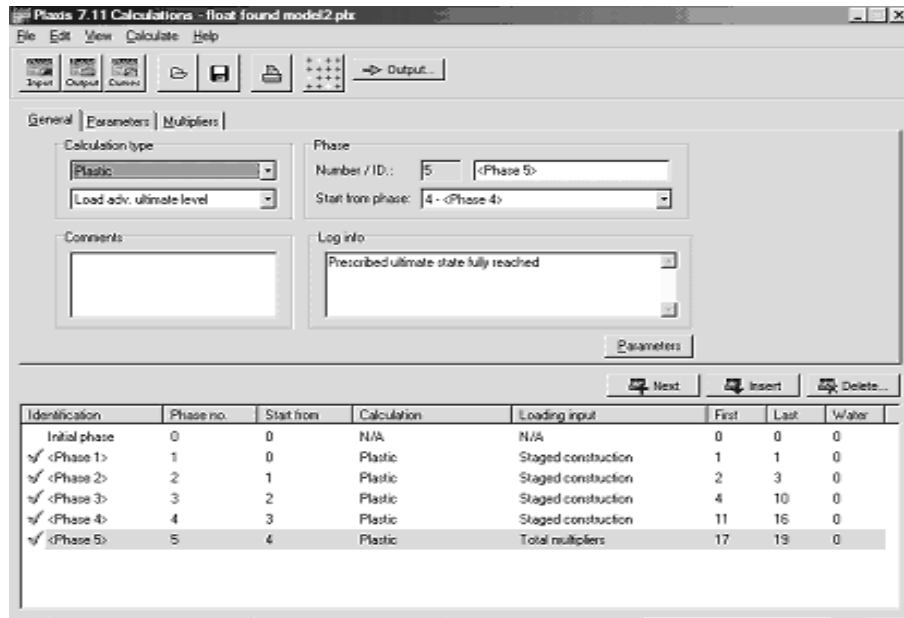
PLAXIS terdiri dari 4 program :

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

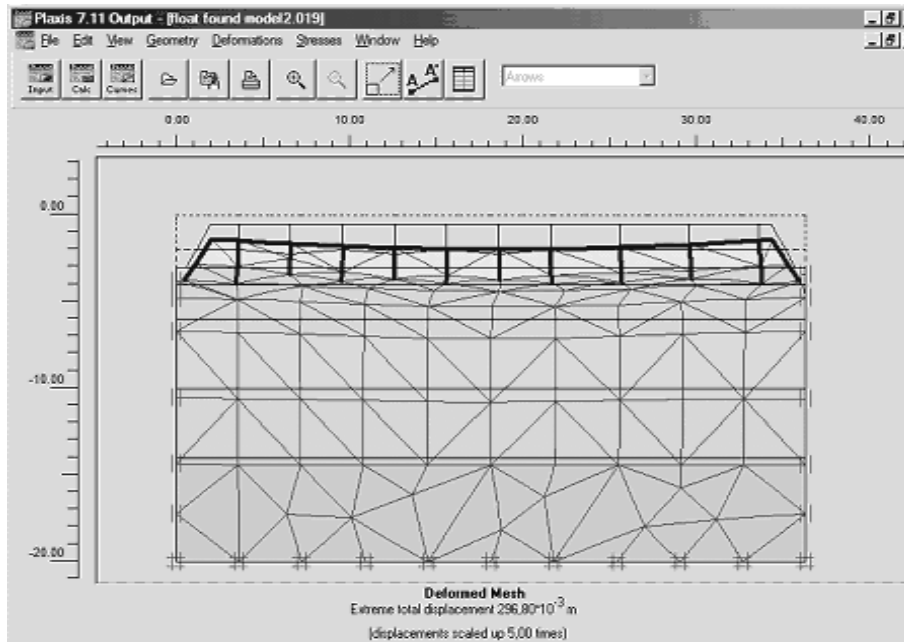
Berikut disajikan beberapa tampilan layar dari program PLAXIS



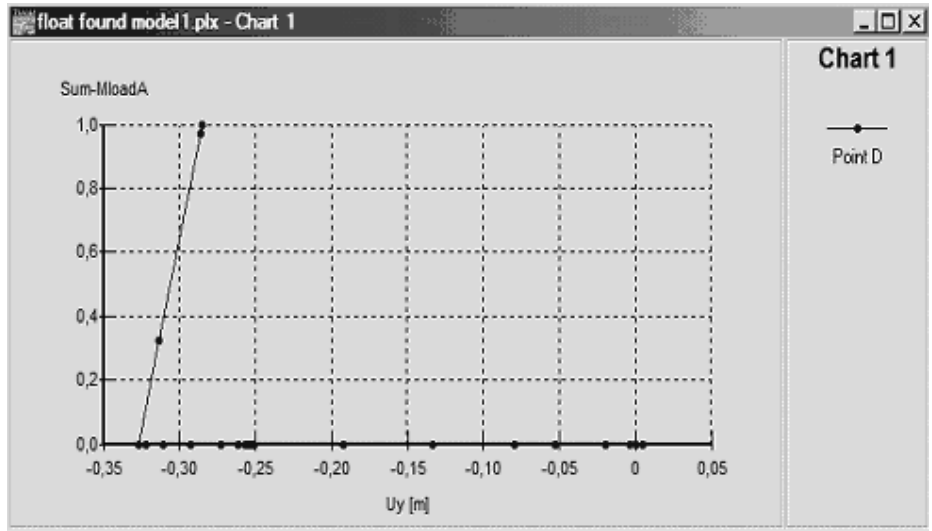
Gambar 2.19 Input program



Gambar 2.20 Calculation program



Gambar 2.21 Output program



Gambar 2.22 Curve Program