

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Macam-Macam Pondasi

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu konstruksi bangunan. Fungsi pondasi adalah meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi dan tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi. Persyaratan umum yang harus dipenuhi oleh pondasi antara lain:

1. Terhadap tanah dasar:
 - a. Pondasi harus mempunyai bentuk, ukuran dan struktur sedemikian rupa sehingga tanah dasar mampu memikul gaya-gaya yang bekerja.
 - b. Penurunan yang terjadi tidak boleh terlalu besar/tidak merata.
 - c. Bangunan tidak boleh bergeser atau mengguling.
2. Terhadap struktur pondasi sendiri:
 - a. Struktur pondasi harus cukup kuat sehingga tidak pecah akibat gaya yang bekerja.

Pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan sebagai struktur bawah dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain kondisi tanah dasar, beban yang diterima pondasi, peraturan yang berlaku, biaya, kemudahan pelaksanaannya

dan sebagainya. Berdasarkan elevasi kedalamannya, maka pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*) (Das, 1998).

1. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

Pondasi dangkal adalah struktur konstruksi paling bawah yang berfungsi meneruskan (mendistribusikan) beban bangunan ke lapisan tanah keras yang berada relatif dekat dengan permukaan tanah.

Pada awalnya, yang dikategorikan pondasi dangkal adalah pondasi yang memiliki kedalaman (D_f) lebih kecil atau sama dengan dimensi lebar pondasi (B). Namun dalam perkembangannya, pondasi masih dianggap dangkal meskipun kedalaman pondasi mencapai tiga (3) sampai empat (4) kali lebar pondasi ($4B$) (Budi, 2011).

2. Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Pondasi dalam merupakan struktur bawah suatu konstruksi yang berfungsi untuk meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah keras yang berada jauh dari permukaan tanah. Suatu pondasi dapat dikategorikan sebagai pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi lebih dari sepuluh ($D_f/B \geq 10$).

Pondasi dalam dapat dibedakan menjadi:

- a. Pondasi dalam dengan *pile* didesakkan ke dalam tanah.

Pondasi tipe ini memakai *pile* berupa tiang pancang, *sheet pile*, dll. Pekerjaan pondasi tipe ini membutuhkan bantuan *crane* dan *hammer pile* untuk mendesakkan *pile* ke dalam tanah.

- b. Pondasi dalam dengan *pile* ditempatkan pada ruang yang telah disediakan dengan cara dibor (*bored pile*).

Pondasi tipe ini membutuhkan mesin bor untuk membuat lubang dengan kedalaman rencana kemudian *pile* dirangkai.

- c. Pondasi *caisson*

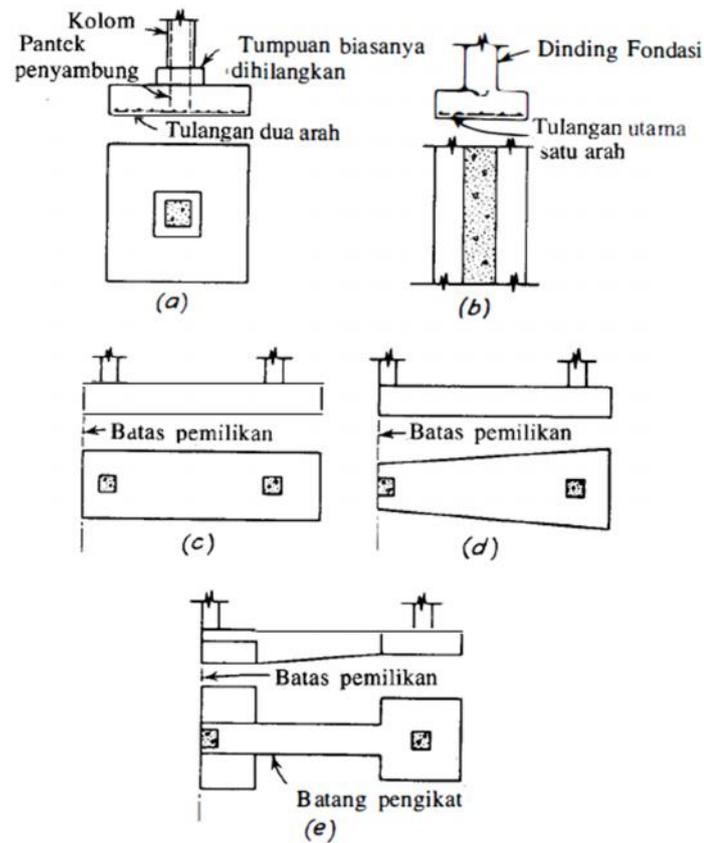
Pondasi *caisson* merupakan bentuk dari pondasi sumuran dengan diameter yang relatif lebih besar.

B. Jenis Pondasi Dangkal

Pada Tugas Akhir ini, Penulis akan memfokuskan pembahasan tentang pondasi dangkal. Adapun beberapa jenis pondasi dangkal yang dikenal diantaranya pondasi telapak, pondasi cakar ayam, dan pondasi rakit.

1. Pondasi Telapak

Pondasi telapak ialah pelebaran alas kolom atau dinding dengan tujuan untuk meneruskan beban pada tanah suatu tekanan yang sesuai dengan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Pondasi telapak yang mendukung kolom tunggal disebut telapak kolom individual, telapak tersendiri atau telapak sebar. Pondasi telapak di bawah suatu dinding disebut telapak dinding atau telapak menerus. Apabila sebuah pondasi telapak mendukung beberapa kolom disebut telapak gabungan. Bentuk khusus dari telapak gabungan yang umumnya digunakan apabila salah satu kolomnya mendukung dinding luar disebut telapak kantilever.

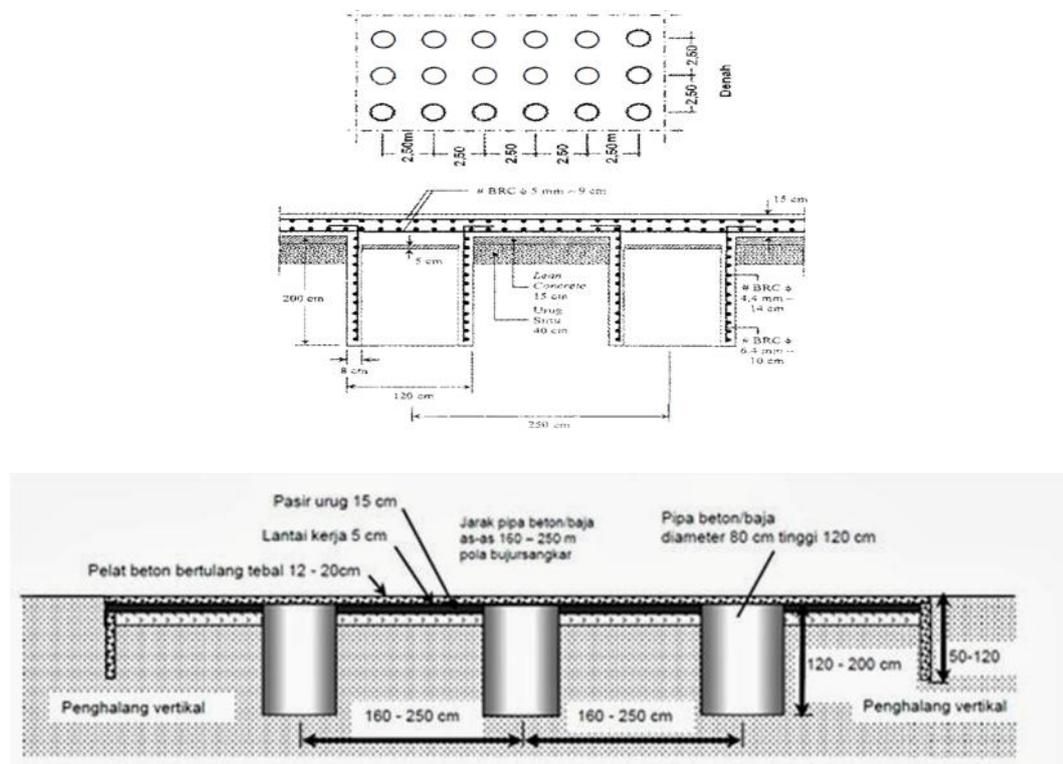


Gambar 1. Tipe-tipe Pondasi (a) Pondasi Telapak individual. (b) Pondasi Dinding. (c) dan (d) Pondasi gabungan. (e) Pondasi kantilever

2. Pondasi Cakar Ayam

Pondasi sistem cakar ayam terdiri dari pelat tipis yang didukung oleh pipa-pipa (cakar) yang tertanam di dalam tanah. Posisi pipa-pipa ini menggantung pada bagian bawah pelat. Hubungan antara pipa-pipa dengan pelat beton dibuat monolit. Kerjasama sistem yang terdiri dari pelat-cakar tanah ini, menciptakan pelat yang lebih kaku dan lebih tahan terhadap beban dan pengaruh penurunan tidak seragam. Pondasi sistem cakar ayam ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. Sedijatmo pada tahun 1961. Secara umum perkerasan cakar ayam terdiri dari pelat tipis beton bertulang tebal 10-17 cm yang diperkaku dengan pipa-pipa beton (cakar)

berdiameter 120 cm, tebal 8 cm, dan panjang pipa 150-200 cm, yang tertanam pada lapisan *subgrade*, dengan jarak pipa-pipa berkisar 2,0-2,5m. Di bawah pelat beton, terdapat lapisan *lean concrete* setebal ± 10 cm (terbuat dari beton mutu rendah) dan lapisan sirtu setebal ± 30 cm yang berfungsi, terutama sebagai perkerasan sementara selama masa pelaksanaan dan agar permukaan *subgrade* dapat rata sehingga pelat beton cakar ayam dapat dibuat di atasnya. Pipa-pipa beton tersebut disebut cakar. Sistem cakar ayam telah banyak diaplikasikan pada berbagai macam bangunan, seperti pondasi menara transmisi tegangan tinggi, bangunan gedung bertingkat, *power station*, kolam renang, gudang dan hanggar, jembatan, menara bandara (*runway*, *taxi way*, dan *apron*), perkerasan jalan tol, dan lain-lain (Hardiyatmo, 2010).



Gambar 2. Bentuk pondasi cakar ayam Prof. Sedijatmo

Sumber: Hardiyatmo, 2010

a. Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM)

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo. Pengembangan yang telah dilakukan didasarkan pada evaluasi hasil penelitian yang dilakukan secara intensif sejak tahun 1990 oleh tim pengembangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi. Pengembangan yang dilakukan mencakup:

1. Perubahan bahan cakar yang semula dibuat dari bahan pipa beton diameter 1,20 m, panjang 2 m dan tebal 8 cm, digantikan dengan pipa baja yang sangat ringan (berat sekitar 35 kg) dengan tebal 1,4 mm, diameter berkisar 0,60 - 0,80 m dan panjang 1,0 - 1,2 m. Pipa baja ini harus galvanized dan dilapisi dengan bahan pelindung anti karat. Bahan cakar yang lebih ringan mempermudah dan mempercepat pelaksanaan.
2. Pengembangan pada metode analisis, perancangan, metode pelaksanaan, dan metode evaluasi perkerasan.
3. Aplikasi Sistem CAM pada perkerasan jalan yang tanah dasarnya berupa tanah ekspansif (tanah dasar mudah mengalami kembang susut, sehingga merusakkan perkerasan).

Sistem Cakar Ayam yang baru ini, yang kemudian disebut Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM), dan telah dipatenkan oleh Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc, Ph.D., Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA., Ir. Maryadi Darmokumoro.

Teori dasar stabilitas cakar ayam adalah:

$$b \cdot h^3 = \eta \cdot a^3 \cdot \gamma \cdot y ; y = f(q, \gamma, \lambda) \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

a = jarak antara pipa-pipa (m)

b = diameter luar pipa (m)

h = tinggi pipa (m)

= berat satuan tanah (kN/m^3)

= konstanta tanah yang tergantung pada sudut geser dalam

q = tekanan tanah lawan (kN/m^2)

= angka keamanan (antara 1½ dan 2)

Sementara itu tekanan tanah pasif pada sebuah pipa adalah:

$$P = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot \dots \cdot b \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

P = tekanan tanah pasif (kN)

h = tinggi pipa (m)

= berat satuan tanah (kN/m^3)

= koefisien tekanan tanah pasif = $\tan^2 (45^\circ + \dots / 2)$

= sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

b = diameter luar pipa (m)

Beban yang bekerja di atas pelat pondasi cakar ayam akan menimbulkan suatu momen yang harus diimbangi oleh momen lawan dari pipa yang ada dalam jalur melintang pelat yang ditinjau, sehingga akan memberikan keseimbangan.

$$M = q \cdot a \cdot L \cdot \frac{1}{2}L \dots\dots\dots (3)$$

$$m = \frac{1}{3} h^3 \cdot \dots \cdot b \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:

M = momen akibat beban (kNm)

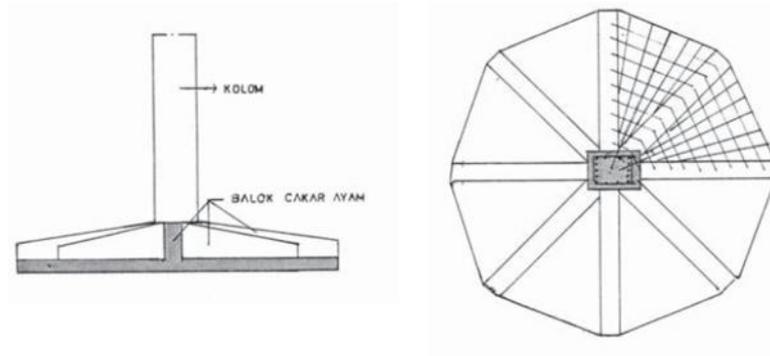
L = lebar pelat (m)

q = tekanan tanah lawan (kN/m²)

a = lebar jalur melintang pelat yang ditinjau (m)

3. Pondasi Sarang Laba-laba

Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSLL) ialah kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi pelat beton pipih menerus yang diisi dengan perbaikan tanah sehingga menjadi satu kesatuan komposit konstruksi beton bertulang. Kombinasi ini menghasilkan kerja sama timbal balik yang saling menguntungkan sehingga membentuk sebuah pondasi yang memiliki kekakuan jauh lebih tinggi dibandingkan pondasi dangkal lainnya. Konstruksi Sarang Laba-Laba ditemukan oleh Ir. Ryantori dan Ir. Soetjipto, pada tahun 1975. Konstruksinya terdiri dari pelat beton tipis bermutu K-225 berukuran 10-15 cm yang dibawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang tipis dan relatif tinggi, biasanya, 50-150 cm. Penempatan rib-rib diatur sedemikian rupa sehingga dari atas kelihatan membentuk petak-petak segitiga, sedangkan rongga-rongga di bawah pelat dan diantara rib-rib diisi dengan tanah/pasir yang dipadatkan lapis demi lapis (Hastomo, 2014).



Gambar 3. Pondasi sarang laba-laba

C. Jenis-jenis Tangki Minyak

Jenis tangki penyimpanan berdasarkan letaknya :

a. *aboveground tank*

Tangki penyimpanan yang terletak di atas permukaan tanah. Tangki penyimpanan ini bisa berada dalam posisi horizontal dan dalam keadaan tegak (*vertical tank*).

b. *underground tank*

Tangki penyimpanan yang terletak di bawah permukaan tanah.

Jenis tangki berdasarkan cairan yang akan disimpan, *vapor-saving efficiency*, dan bentuk atapnya :

a. *fixed roof tank*, dengan dua jenis bentuk atap yaitu :

1. *cone roof*

Jenis tangki penyimpanan ini mempunyai kelemahan, yaitu terdapat *vapor space* antara ketinggian cairan dengan atap. Jika *vapor space* berada pada keadaan mudah terbakar, maka akan terjadi ledakan. Oleh karena itu *fixed cone roof tank* dilengkapi dengan *vent* untuk mengatur tekanan dalam tangki sehingga mendekati atmosfer. Jenis

tangki ini biasanya digunakan untuk menyimpan *kerosene*, air, solar. Terdapat dua jenis tipe *cone roof* berdasarkan penyangga atapnya yaitu :

- a). *a supported cone roof* yang mana pelat atap di dukung oleh *rafter* pada *girder* dan kolom atau oleh rangka batang dengan atau tanpa kolom
- b). *a self-supporting cone roof* merupakan atap tanpa penyangga dimana atap langsung di tahan oleh dinding tangki (*shell plate*).

2. *dome roof*, yang biasa digunakan untuk menyimpan cairan kimia.

b. *floating roof*

Biasanya digunakan untuk menyimpan minyak mentah dan premium. Keuntungannya yaitu tidak terdapat *vapour space* dan mengurangi kehilangan akibat penguapan. *Floating roof tank* terbagi menjadi dua, yaitu *external floating roof* dan *internal floating roof*.

D. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral–mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1998).

Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan, atau terkadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan, seperti tembok/dinding penahan

tanah. Namun tidak semua tanah mampu mendukung konstruksi. Hanya tanah yang mempunyai stabilitas baik yang mampu mendukung konstruksi yang besar. Sedangkan tanah yang kurang baik harus distabilisasi terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai pondasi pendukung.

E. Faktor Penentu Bentuk Pondasi

Tipe bentuk pondasi yang paling cocok untuk suatu bangunan tergantung pada beberapa faktor; fungsi bangunan dan beban yang harus dipikul, kondisi permukaan serta biaya pondasi dibanding dengan biaya bangunan. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan pondasi dangkal antara lain bahwa elevasi dasar pondasi harus di bawah (Budi, 2011):

1. batas beku tanah yang mungkin terjadi pada musim dingin (untuk negara yang mempunyai 4 musim),
2. zona yang berpotensi mengalami perubahan volume yang besar akibat perubahan kadar air di dalam tanah (tanah *expansive*),
3. lapisan tanah organik,
4. lapisan tanah gambut (*peat*),
5. material yang tidak dapat dikonsolidasi (sampah).

Jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990), yaitu:

- a. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).

- b. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi. Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor di tempat kurang ekonomis, karena tiang-tiang tersebut kurang panjang.
- c. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diizinkan. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila batu besar (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaisan lebih menguntungkan.
- d. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaisan terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 digunakan juga kaisan tekanan.
- e. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

Langkah-langkah perancangan pondasi adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 2010):

1. Menentukan jumlah beban efektif yang akan ditransfer ke tanah di bawah pondasi. Untuk perancangan tulangan, perlu ditentukan besarnya beban

mati dan beban hidup dan beban-beban tersebut harus dikalikan factor-faktor pengali tertentu menurut peraturan yang berlaku.

2. Menentukan nilai kapasitas dukung ijin (q_a). Luas dasar pondasi, secara pendekatan ditentukan dari membagi jumlah beban efektif dengan kapasitas dukung ijin (q_a).
3. Didasarkan pada tekanan yang terjadi pada dasar pondasi, dapat dilakukan perancangan struktur dari pondasinya, yaitu dengan menghitung momen-momen lentur dan gaya-gaya geser yang terjadi pada pelat pondasi.

F. Pembebanan

Besar dan macam beban yang bekerja pada struktur sangat tergantung dari jenis struktur. Berikut ini akan disajikan jenis-jenis beban, data beban serta faktor-faktor dan kombinasi pembebanan sebagai dasar acuan bagi perhitungan struktur.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang bekerja akibat gravitasi yang bekerja tetappada posisinya secara terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur didirikan. Yang termasuk beban mati adalah berat struktur sendiri dan juga semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup ialah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan barang-barang yang dapat berpindah, mesin dan peralatan lain yang dapat digantikan selama umur gedung.

3. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditunjukkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang–bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang telah ditentukan dengan koefisien–koefisien angin yang telah ditentukan dalam peraturan ini.

4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Besarnya beban gempa dasar nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI – 03 – 1726 – 2002), dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{C \times I}{R} \times W_i \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

V = beban gempa dasar nominal (beban gempa rencana) (kN)

W_i = kombinasi dari beban mati dan beban hidup vertikal yang Direduksi (kN)

C = faktor respons gempa

I = faktor keutamaan struktur

R = faktor reduksi gempa

Tabel 1. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Kategori Gedung / Bangunan	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental.	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, pembangkit tenaga listrik, instalasi air bersih, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

G. Analisis Struktur Pondasi

1. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah. Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah untuk mendukung beban dengan asumsi tanah mulai mengalami keruntuhan. Besar daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan.

Analisis kapasitas dukung (*bearing capacity*) mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya. Analisis kapasitas dukung tanah dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Persamaan-persamaan

kapasitas dukung tanah umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots (6)$$

dengan : τ = tahanan geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

ϕ = sudut gesek dalam tanah(°)

σ = tegangan normal (kN/m²)

a. Pondasi Telapak

Kapasitas daya dukung pondasi telapak dapat dihitung dengan beberapa persamaan, diantaranya persamaan daya dukung menurut Hansen.

$$q_u = s_c \cdot d_c \cdot c \cdot N_c + s_q \cdot d_q \cdot D_f \cdot N_q + s \cdot d \cdot 0,5 \cdot B \cdot N \dots\dots\dots (7)$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \dots\dots\dots (9)$$

$$N = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (10)$$

$$s_q = 1 + \tan \phi \dots\dots\dots (11)$$

$$s_c = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \dots\dots\dots (12)$$

$$s_f = 1 - 0,4 \cdot \left(\frac{B}{L} \right) \dots\dots\dots (13)$$

$$d_q = 1 + 2 \left(\frac{h_t}{B} \right) \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \dots\dots\dots (14)$$

$$d_c = 1 + 0,4 \left(\frac{h_t}{B} \right) \dots\dots\dots (15)$$

$$d = 1$$

dengan:

q_{ult} = kapasitas dukung ultimit (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

B = lebar atau diameter pondasi (m)

D = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

\bar{q} = D (kN/m^2)

s_c, s, s_q = faktor bentuk pondasi

N_c, N, N_q = faktor daya dukung

d_c, d, d_q = faktor kedalaman pondasi

b. Pondasi Cakar Ayam

Pondasi cakar ayam umumnya digunakan pada lempung lunak, maka persamaan kapasitas dukung dapat dipakai persamaan Terzaghi :

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_s \dots\dots\dots (16)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \dots\dots\dots (17)$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)} \dots\dots\dots (18)$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left[\frac{K_{pY}}{\cos^2 \phi} - 1 \right] \dots\dots\dots (19)$$

$$a = e^{(0,75 \cdot \pi - \frac{\phi}{2}) \cdot \tan \phi} \dots\dots\dots (20)$$

$$K_{pY} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Dengan : q_u = daya dukung ultimit (kN/m^2)

c = kohesi undrained (kN/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume pondasi (kN/m^3)

N_c, N, N_q = faktor daya dukung

Tabel 2. Faktor koreksi menurut Terzaghi

Faktor Koreksi	Bentuk Pondasi		
	Menerus	Bundar	Bujur Sangkar
s_c	1,0	1,3	1,3
s	1,0	0,6	0,8

Sumber : Bowles, 1992

c. Pondasi Sarang Laba-Laba

Untuk menghitung daya dukung *ultimate* pondasi sarang laba-laba dapat menggunakan persamaan daya dukung menurut Mayerhof:

$$q_u = cN_c s_c i_c d_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q s_q i_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \dots\dots\dots (21)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (22)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \dots\dots\dots (23)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1,4 \phi) \dots\dots\dots (24)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (25)$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot K_p \left(\frac{B}{L} \right) \dots\dots\dots (26)$$

$$s_q = 1 + 0,1 \cdot K_p \left(\frac{B}{L} \right) \dots\dots\dots (27)$$

$$s_\gamma = s_q \dots\dots\dots (28)$$

$$d_c = 1 + 0,2 \cdot \{K_p^{0,5} \left(\frac{D}{B} \right)\} \dots\dots\dots (29)$$

$$d_q = 1 + 0,1 \cdot \{K_p^{0,5} \left(\frac{D}{B} \right)\} \dots\dots\dots (30)$$

$$d = d_q \dots\dots\dots (31)$$

Sementara nilai daya dukung ijin pada konstruksi sarang laba-laba ditentukan berdasarkan perumusan sebagai berikut :

$$q_a(KSLL) = 1,5 \times q_u \dots\dots\dots (32)$$

$$\text{di mana : } q_a (\text{pondasi rakit}) = \frac{q_u}{SF} \quad (SF = 3) \dots\dots\dots (33)$$

2. Penurunan/*Settlement*

Penurunan (*settlement*) pondasi yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh dapat dibagi menjadi 3 komponen, yaitu penurunan segera, penurunan primer, dan penurunan sekunder. Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut. Persamaan yang digunakan dalam menghitung penurunan pondasi (termasuk pondasi telapak, cakar ayam, dan sarang laba-laba) adalah:

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (34)$$

dengan,

S = penurunan total (m)

S_i = penurunan segera (m)

S_c = penurunan konsolidasi primer (m)

S_s = penurunan konsolidasi sekunder (m)

a. Penurunan segera

Penurunan segera adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan, dan terjadi pada volume konstan. Persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari pondasi yang terletak di permukaan tanah yang homogen, elastis, isotropis, pada media semi tak terhingga, dinyatakan oleh:

$$S_i = \frac{qB}{E} (1 - \mu^2) I_p \dots\dots\dots (35)$$

dengan,

S_i = penurunan segera (m)

q = tekanan pada dasar pondasi (kN/m^2)

B = lebar pondasi (m)

E = modulus elastisitas (kN/m^2)

μ = rasio Poisson

I_p = faktor pengaruh

Tabel 3. Faktor pengaruh I_m menurut Lee dan I_p menurut Schleicher untuk pondasi kaku, dan faktor pengaruh untuk pondasi fleksibel menurut Terzaghi.

Bentuk fondasi	Fleksibel (I_p)			Kaku	
	Pusat	Sudut	Rata-rata	I_p	I_m
Lingkaran	1,00	0,64	0,85	0,88*	
Bujur sangkar	1,12	0,36	0,95	0,82	3,70
Empat persegi panjang					
$L/B = 1,5$	1,36	0,68	1,20	1,06	4,12
2,0	1,53	0,77	1,31	1,20	4,38
5,0	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
10,0	2,52	1,26	2,25	2,10	4,93
100,0	3,38	1,69	2,96	3,40	5,06

Sumber : Hardiyatmo, 2011.

Tabel 4. Perkiraan rasio Poisson menurut Bowles

Macam tanah	μ
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir padat	0,2 - 0,4
Pasir kasar (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu (agak tergantung dari macamnya)	0,1 - 0,4
<i>Loess</i>	0,1 - 0,3

Sumber : Hardiyatmo, 2011.

Tabel 5. Perkiraan modulus elastis (E) menurut Bowles

Macam tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat lunak	300 – 3.000
Lunak	2.000 – 4.000
Sedang	4.500 – 9.000
Keras	7.000 – 20.000
Berpasir	30.000 – 42.500
Pasir	
Berlanau	5.000 – 20.000
Tidak padat	10.000 – 25.000
Padat	50.000 – 100.000
Pasir dan kerikil	
Padat	80.000 – 200.000
Tidak padat	50.000 – 140.000
Lanau	2.000 – 20.000
Loess	15.000 – 60.000
Serpih	140.000 – 1.400.000

Sumber: Hardiyatmo , 2011

Janbu mengusulkan persamaan penurunan segera rata-rata pada beban terbagi rata fleksibel berbentuk empat persegi panjang dan lingkaran yang terletak pada tanah elastis, homogen, dan isotropis dengan tebal terbatas, sebagai berikut:

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{qB}{E} \quad (\text{untuk } \mu = 0,5) \dots\dots\dots (36)$$

dengan,

S_i = penurunan segera (m)

μ_1 = faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal terbatas H

μ_0 = faktor koreksi untuk kedalaman pondasi D

B = lebar pondasi empat persegi panjang atau diameter lingkaran (m)

q = tekanan pondasi netto (pondasi di permukaan $q = q_n$) (kN/m²)

E = modulus elastisitas tanah (kN/m²)

b. Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan yang terjadi ketika gradien tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan di dalam 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. Konsolidasi primer dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{P'_0 + \Delta p}{P'_0} H \dots\dots\dots (17)$$

dengan,

C_c = indeks pemampatan

P'_0 = tekanan *overburden* efektif (kN/m²)

e_0 = angka pori awal

H = tebal lapisan tanah (m)