

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pengertian Pondasi**

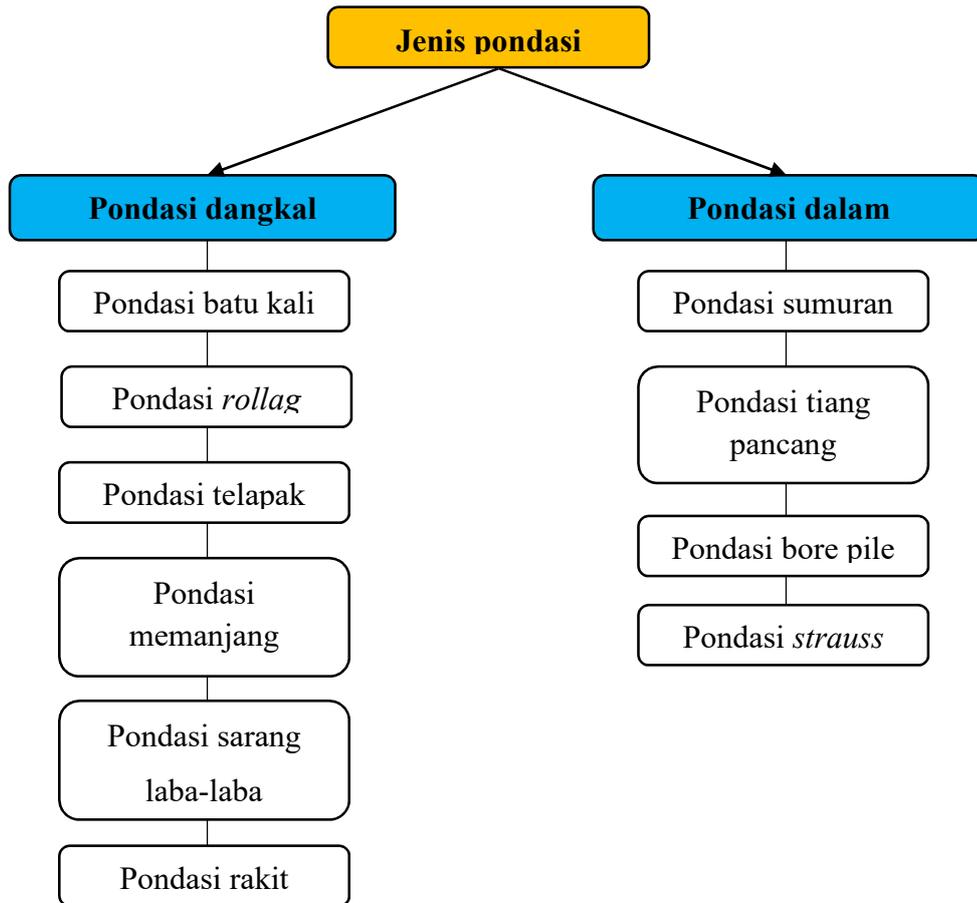
Pondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang mempunyai peranan sangat penting dalam menyalurkan gaya dari elemen konstruksi bagian atas ke tanah dasar. Oleh sebab itu, kekuatan pondasi harus mempertimbangkan kesesuaian antara beban dari konstruksi dan kemampuan dukung tanah. Secara umum pondasi adalah suatu struktur yang terletak dipermukaan atau didalam lapisan tanah yang berfungsi sebagai landasan dan juga untuk menyalurkan beban diatasnya kedalam tanah. Oleh karena itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, bebab-beban yang bekerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain.

Pondasi adalah salah satu dari konstruksi bangunan yang terletak di bagian bawah sebuah konstruksi, pondasi mempunyai peran penting terhadap sebuah bangunan, dimana pondasi menanggung semua beban konstruksi bagian atas ke lapisan tanah yang berada di bagian bawahnya [5].

Sedangkan menurut Jalil dkk, pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya [6].

#### **2.2 Jenis-Jenis Pondasi**

Pondasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang hanya mampu menerima beban relatif kecil dan secara langsung menerima beban bangunan. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang mampu menerima beban bangunan yang besar dan meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang sangat dalam. Klasifikasi atau pengelompokkan jenis-jenis pondasi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2. 1** Jenis-jenis pondasi

### 2.2.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah jenis pondasi yang biasanya digunakan untuk mendukung struktur bangunan ringan atau bangunan dengan beban yang tidak terlalu berat [7].

Apabila kedalaman pondasi lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi, maka pondasi tersebut dapat dikatakan sebagai pondasi dangkal, dan anggapan bahwa penyebaran tegangan pada struktur pondasi ke tanah dibawahnya yang berupa lapisan penyangga (*bearing stratum*) lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi [8].

Pondasi dangkal memiliki beberapa jenis. Berikut adalah jenis-jensi pondasi dangkal :

a. Pondasi Batu Kali

Pondasi batu kali biasanya hanya dipakai untuk konstruksi yang tidak berat, seperti pagar, rumah tinggal sederhana yang tidak bertingkat.

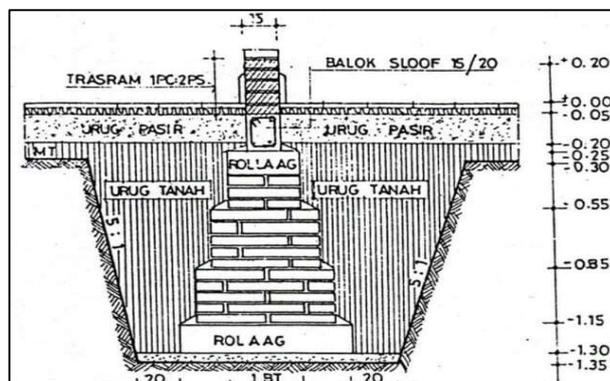
Pondasi batu kali biasanya ditempatkan menerus untuk pondasi dinding, diteruskan ke tanah melalui pondasi menerus sepanjang dinding bangunan. Kedalaman pondasi batu kali umumnya bervariasi, tetapi idealnya antara 60 hingga 100 cm untuk rumah satu lantai, dan bisa lebih dalam (100 cm atau lebih) untuk rumah dua lantai atau jika kondisi tanah kurang stabil. Pondasi batu kali hanya mempertimbangkan berat beban yang bekerja tanpa mempertimbangkan beban momen yang terjadi, yang oleh karena itu kurang tepat apabila dipakai pada konstruksi bangunan yang berat/bertingkat tinggi (Gambar 2.2).



**Gambar 2. 2** Pondasi Batu Kali

b. Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

Pondasi batu bata rollag adalah jenis pondasi yang terdiri dari batu bata yang disusun secara melingkar (*rollag*) dan diletakkan di bawah tanah untuk menopang beban bangunan. Pondasi batu bata rollag ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban yang relatif ringan seperti yang digambarkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

c. Pondasi Telapak

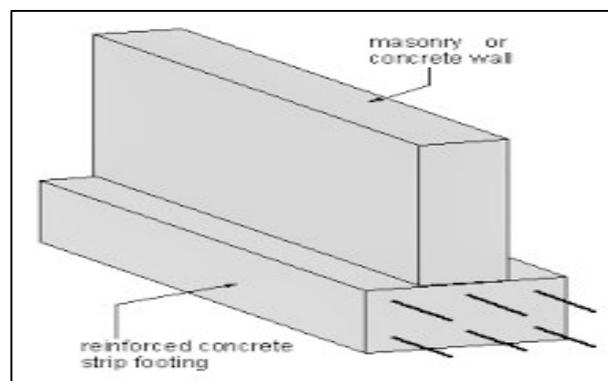
Pondasi telapak atau pondasi pelat adalah jenis pondasi yang terdiri dari pelat beton yang datar dan lebar, yang diletakkan di atas tanah untuk menopang beban bangunan. Pondasi telapak ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban yang relatif ringan, seperti rumah tinggal, gedung kantor, dan lain-lain. Pondasi ini digunakan pada daya dukung tanah yang tidak terlalu jelek, sesuai yang dicontohkan dalam (Gambar 2.4).



**Gambar 2. 4** Pondasi Telapak

d. Pondasi Memanjang

Pondasi memanjang adalah jenis pondasi yang terdiri dari dinding beton yang panjang dan sempit, yang diletakkan di bawah tanah untuk menopang beban bangunan. Pondasi memanjang ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban yang relatif berat, seperti gedung tinggi, jembatan, dan lain-lain (Gambar 2.5).



**Gambar 2. 5** Pondasi Memanjang

e. Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Gambar 2.6 memperlihatkan tentang pondasi sarang laba-laba atau pondasi anyaman (KSSL) yang merupakan jenis pondasi yang terdiri dari balok-balok kayu atau beton yang disusun secara anyaman, membentuk pola seperti sarang laba-laba. Pondasi ini digunakan untuk menopang beban bangunan yang relatif ringan, seperti rumah tinggal, gedung kantor, dan lain-lain.



**Gambar 2. 6** Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

f. Pondasi Rakit

Pondasi rakit atau pondasi *floating* adalah jenis pondasi yang terdiri dari pelat beton yang tebal dan luas, yang diletakkan di atas tanah yang lembek atau tidak stabil. Pondasi rakit ini dirancang untuk mengapung di atas tanah dan untuk mendistribusikan beban bangunan secara merata ke tanah sehingga dapat menopang beban bangunan yang relatif berat (Gambar 2.7). Salah satu kelebihan pondasi rakit yaitu cocok untuk tanah yang lunak.



**Gambar 2. 7** Pondasi Rakit

### 2.2.2 Pondasi Dalam

Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras yang terletak relatif jauh dari permukaan [9].

Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Pada kenyataannya pondasi panjang lebih mahal daripada pondasi tiang-tiang pendek yang dibentuk seperti kaki-kaki tersebar, bahkan mungkin lebih mahal daripada pondasi telapak.

Oleh karena itu haruslah sangat berhati-hati dalam menentukan sifat tanah untuk kedalaman yang mungkin penting sehingga kita dapat menentukan secara tepat pondasi yang kita butuhkan tanpa berlebihan. Pondasi dalam memiliki beberapa jenis yaitu:

#### a. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran atau kaison diartikan sebagai pondasi yang tersusun atas pipa beton yang ditanam dalam tanah membentuk sumur kemudian dicor di tempat menggunakan bahan batu belah dan beton sebagai isinya. Diameter pondasi sumuran biasanya berkisar antara 1-3 meter. Pondasi ini dapat diterapkan pada lahan-lahan konstruksi yang kedalaman lapisan tanah kerasnya berkisar 3-5 meter. Perbedaan antara pondasi sumuran dengan pondasi dangkal menurut nilai kedalaman ( $D_f$ ) dibagi lebarnya ( $B$ ). Untuk pondasi sumuran  $D_f/B > 4$ , dan untuk pondasi dangkal  $D_f/B \leq 1$  (Gambar 2.8).



**Gambar 2. 8** Pondasi Sumuran

b. Pondasi Tiang Pancang

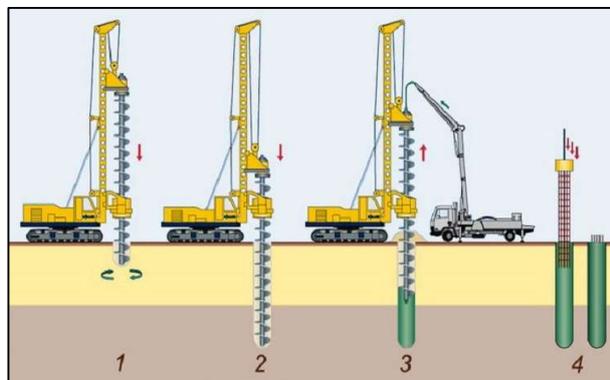
Pondasi tiang pancang adalah jenis pondasi dalam yang terdiri dari tiang-tiang beton atau baja yang dipancang ke dalam tanah hingga mencapai lapisan tanah yang stabil dan kuat. Tiang-tiang pancang ini berfungsi sebagai penopang beban bangunan dan mentransfer beban tersebut ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Gambar 2.9 menjelaskan salah satu contoh pondasi tiang pancang tersebut.



**Gambar 2. 9** Pondasi Tiang Pancang

c. Pondasi *Bore Pile*

Pondasi *Bore Pile* atau pondasi tiang bor adalah jenis pondasi dalam yang terdiri dari tiang-tiang beton yang dibuat dengan cara pengeboran (*Boring*) ke dalam tanah hingga mencapai lapisan tanah yang stabil dan kuat (Gambar 2.10). Tiang-tiang *Bore Pile* ini berfungsi sebagai penopang beban bangunan dan mentransfer beban tersebut ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil.



**Gambar 2. 10** Pondasi *Bore Pile*

#### d. Pondasi *Strauss*

Pondasi *Strauss* adalah jenis pondasi dalam yang terdiri dari tiang-tiang beton yang dibuat dengan cara pengeboran (*Boring*) ke dalam tanah hingga mencapai lapisan tanah yang stabil dan kuat (dapat dilihat pada Gambar 2.11). Namun, yang membedakan pondasi *Strauss* dengan pondasi *Bore Pile* adalah bahwa pondasi *Strauss* memiliki diameter yang lebih besar dan lebih dalam.



**Gambar 2. 11** Pondasi *Strauss*

### 2.3 Pondasi Tiang Pancang

#### 2.3.1 Pengertian Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah di dalam massa tanah. Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentrasfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam [10].

Pondasi tiang pancang berfungsi sebagai penyalur beban pondasi hingga ke lapisan tanah keras yang memiliki kapasitas daya dukung tinggi. Daya dukung tiang pancang diperoleh dari daya dukung ujung (*End Bearing Capacity*) daya dukung geser atau selimut (*Friction Bearing Capacity*) [11].

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*Bearing Capacity*), yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang

cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya terletak sangat dalam. Fondasi tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas terutama pada bangunan – bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya – gaya penggulingan akibat beban angin [12].

Penggunaan pondasi tiang pancang dapat memberikan kekuatan dan stabilitas tambahan pada struktur. Pemilihan bahan dan metode konstruksi yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa pondasi tiang pancang dapat memenuhi kebutuhan beban dan kondisi tanah yang spesifik.

### 2.3.2 Jenis-Jenis Pondasi Tiang Pancang

Jenis pondasi tiang pancang memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda-beda, sehingga perlu dipilih jenis yang sesuai dengan kondisi tanah dan kebutuhan bangunan. Berikut adalah jenis-jenis pondasi tiang pancang :

#### a. Tiang pancang beton

Tiang pancang beton adalah jenis tiang pancang yang terbuat dari beton yang dicor di tempat atau dipabrikasi, kemudian dipancang ke dalam tanah untuk menopang beban bangunan. Tiang pancang beton umumnya berbentuk prisma atau bulat. Ukuran diameter yang biasanya dipakai untuk tiang yang tidak berlubang di antara 20 sampai 60 cm. Untuk tiang yang berlubang diameternya dapat mencapai 140 cm (gambar 2.12).



**Gambar 2. 12** Tiang pancang beton

#### b. Tiang pancang baja

Tiang pancang baja adalah jenis tiang pancang yang terbuat dari baja yang kuat dan tahan lama, yang digunakan untuk menopang beban bangunan dengan cara dipancang ke dalam tanah. Tiang pancang baja memiliki

beberapa karakteristik yaitu memiliki kekuatan yang sangat tinggi, tahan lama, serta dapat digunakan di berbagai kondisi tanah. Dapat dilihat pada Gambar 2.13.



**Gambar 2. 13** Tiang pancang baja

c. Tiang pancang kayu

Tiang pancang kayu adalah tiang yang dibuat dari kayu, umumnya berdiameter 10-25 cm (Gambar 2.14). Tiang kayu cerucuk, yang banyak dipakai di Indonesia untuk perbaikan kapasitas daya dukung tanah lunak berdiameter antara 8-10 cm dan panjang 4 m. Tiang pancang kayu lebih murah dan mudah penanganannya. Permukaan tiang dapat dilindungi ataupun tidak dilindungi tergantung dari kondisi tanah. Tiang kayu ini dapat mengalami pembusukan atau rusak akibat dimakan serangga. Tiang kayu yang selalu terendam air biasanya lebih awet. Untuk menghindari kerusakan pada waktu pemancangan, ujung tiang dilindungi dengan sepatu dari besi. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh tiang kayu tunggal dapat mencapai 270-300 Kn.



**Gambar 2. 14** Tiang pancang kayu

d. Tiang pancang komposit

Pondasi tiang pancang komposit adalah jenis pondasi tiang pancang yang memadukan berbagai macam jenis bahan lain seperti beton, kayu maupun baja. Tiang pancang yang paling sering digunakan adalah pondasi tiang pancang baja dan pondasi tiang pancang beton. Pemakaian jenis tiang pancang bergantung pada beberapa aspek dilapangan, seperti jenis tanahnya atau kebutuhan daya dukung pondasi itu sendiri. Implementasi tiang pancang jenis ini misalnya kombinasi material antara baja dengan beton. Dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2. 15** Tiang pancang komposit

## 2.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

### 1. Berdasarkan rumus N-spt

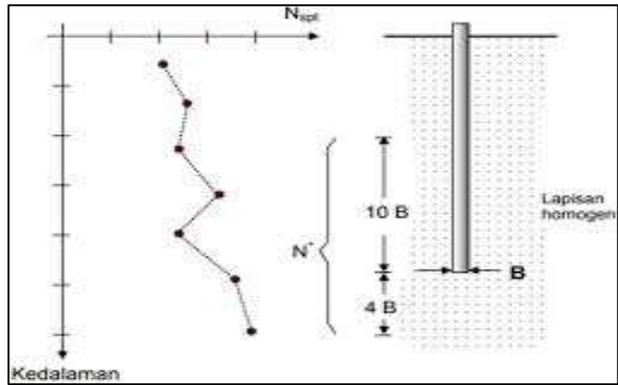
Berdasarkan catatan dari kasus-kasus di lapangan, Meyerhof (1976) mengusulkan untuk mengestimasi daya dukung ujung pondasi tiang yang ditanam didalam tanah homogen menggunakan nilai pukulan uji penetrasi standard (N-spt), dengan persamaan pendekatan :

$$q_p = 40 (L_b/B) N^* \quad (\text{Kn/m}^2) \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan nilai batasan daya dukung ujung sebesar :

$$9P \leq 400 N^* \quad (\text{Kn/m}^2) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana  $N^*$  adalah nilai rata-rata pukulan uji penetrasi standard (Nspt) pada titik 10 kali diameter pondasi diatas ujung pondasi hingga 4 kali diameter dibawah ujung pondasi. Untuk lebih memperjelas dalam menentukan nilai rata-rata jumlah tumbukan uji penetrasi standard tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2.16.



**Gambar 2. 16** Daya dukung berdasarkan nilai pukulan  $N_{spt}$

2. Berdasarkan rumus CPT

Perhitungan daya dukung ultimate pondasi tiang pancang menurut Mayerhof (1956) dapat dilihat pada Persamaan 2.3 dibawah ini :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times P) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- $Q_{ult}$  = daya dukung ultimate (kg)
- $Q_c$  = tahanan ujung sondir (kg/cm<sup>2</sup>)
- $A_p$  = luas tiang pancang (cm<sup>2</sup>)
- JHL = jumlah perlawanan konus (kg/cm)
- P = keliling tiang pancang (cm)

**2.4.1 Daya Dukung Ujung Tiang (Qp)**

1. Berdasarkan N-spt

Berdasarkan nilai N-SPT (Mayerhof, 1956), Perhitungan tahanan ujung tiang (Qp tiang) pada tanah berpasir dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_p \text{ tiang} = 4 \times A_p \text{ tiang} \times N_p \text{ rata-rata} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- $Q_p \text{ tiang}$  = Daya dukung ujung tiang (ton)
- $A_p \text{ tiang}$  = Luas penampang ujung tiang pancang (ft<sup>2</sup>)
- $N_p \text{ rata-rata}$  = Nilai NSPT rata-rata disekitar ujung tiang

Daya dukung ujung (Qp) untuk tanah non-kohefif :

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

- $Q_p \text{ tiang}$  = Daya dukung ujung tiang (ton)

$A_p$  tiang = Luas penampang ujung tiang pancang ( $m^2$ )  
 $N_p$  = Nilai NSPT rata-rata disekitar ujung tiang

2. Berdasarkan rumus CPT

Rumus Mayerhof untuk daya dukung ujung pondasi tiang pancang berdasarkan data CPT (*Cone Penetration Test*) pada tanah berpasir adalah:

$$Q_b = q_c \times A_b \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan batasan:

$q_c$  = nilai CPT rata-rata pada interval 8D di atas dan 4D di bawah ujung tiang pancang

Dimana:

- $Q_b$  = daya dukung ujung tiang pancang
- $q_c$  = nilai CPT (*Cone Resistance*)
- $A_b$  = luas penampang ujung tiang pancang
- $D$  = diameter tiang pancang

Rumus ini digunakan untuk menghitung daya dukung ujung tiang pancang pada tanah berpasir berdasarkan nilai CPT.

3. Berdasarkan uji laboratorium

Rumus untuk menentukan daya dukung ujung tiang ( $Q_b$ ) berdasarkan hasil pengujian laboratorium dapat bervariasi tergantung pada jenis pengujian dan parameter tanah yang digunakan. Berikut contoh rumus berdasarkan pengujian triaksial :

$$Q_b = A_b \times (c' N_c + \sigma'v N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

- $Q_b$  = daya dukung ujung tiang
- $A_b$  = luas penampang ujung tiang
- $c'$  = kohesi efektif
- $N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor daya dukung
- $\sigma'v$  = tekanan vertikal efektif
- $\gamma$  = berat volume tanah
- $B$  = lebar atau diameter tiang

Rumus ini dapat digunakan untuk menentukan daya dukung ujung tiang berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Namun, perlu diingat bahwa hasil

pengujian laboratorium perlu dikorelasikan dengan kondisi lapangan untuk mendapatkan hasil yang akurat.

### 2.4.2 Daya Dukung Selimut Tiang (Qs)

Perhitungan tahanan selimut tiang (Qs tiang) didapat dari persamaan berikut:

1. Berdasarkan rumus N-spt

a. Tiang perpindahan besar

$$Q_s \text{ tiang} = \frac{A_s \text{ tiang} \times \tilde{N}}{50} \dots \dots \dots (2.8)$$

b. Tiang perpindahan kecil

$$Q_s \text{ tiang} = \frac{A_s \text{ tiang} \times \tilde{N}}{100} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

Qs tiang = Daya dukung selimut / friksi tiang (ton)

As tiang = Luas selimut dinding tiang (ft<sup>2</sup>)

N-SPT rata-rata = Nilai NSPT rata-rata di sepanjang tiang

c. Daya dukung selimut tiang (Qs) untuk tanah non-kohefif :

$$Q_s = 0,2 \times N\text{-SPT} \times A_s \text{ tiang} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

Qs tiang = Daya dukung selimut / friksi tiang (ton)

As tiang = Luas selimut dinding tiang (ft<sup>2</sup>)

N-SPT rata-rata = Nilai NSPT rata-rata di sepanjang tiang

2. Berdasarkan rumus CPT

Untuk mendapatkan daya dukung selimut tiang maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_s = p \times JHP \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

Qs = daya dukung selimut tiang

P = keliling tiang

JHP = jumlah hambatan pelekat

3. Berdasarkan uji laboratorium

$$Q_s = A_s \times f_s \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

$Q_s$  = daya dukung selimut tiang pancang

$A_s$  = luas permukaan tiang pancang

$F_s$  = gesekan kulit ultimit

$f_s$  dapat dihitung menggunakan rumus:

$$f_s = c'a + \sigma'n \tan(\delta) \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

$c'a$  = adhesi antara tanah dan tiang

$\sigma'n$  = tekanan normal efektif

$\delta$  = sudut geser antara tanah dan tiang

Nilai  $f_s$  juga dapat diperoleh dari hasil pengujian geser langsung atau pengujian CPT (*Cone Penetration Test*) skala kecil.

### 2.4.3 Daya Dukung *Ultimate*

Perhitungan daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) dapat dianalisa dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

$Q_u$  = Daya dukung *ultimate* (ton)

$Q_p$  = Daya dukung ujung tiang (ton)

$Q_s$  = Daya dukung *frikksi* tiang (ton)

### 2.4.4 Daya Dukung *Allowable* (Izin)

Perhitungan daya dukung yang diijinkan ( $Q_{all}$ ) dapat dianalisa dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$Q_{all}$  = Daya dukung yang diijinkan (ton)

$Q_u$  = Daya dukung *ultimate* (ton)

$S$  = Faktor keamanan, untuk SF yang digunakan untuk daya dukung dapat dilihat pada tabel

Menurut Reese & O' Neil, 1989 menentukan faktor keamanan dapat dilihat dalam Tabel 2.1 dibawah ini

**Tabel 2. 1** Faktor Aman untuk Pondasi Dalam

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

(Sumber : Hardiyatmo, H.C, 2015)

Keterangan :

1. Bangunan monumental, umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti Tugu Monas, Monumen Garuda Wisnu Kencana, jembatan-jembatan besar, dan lain-lain.
2. Bangunan permanen, umumnya adalah bangunan gedung, jembatan, jalan raya dan jalan kereta api, dan memiliki umur rencana 50 tahun.
3. Bangunan sementara, umur rencana bangunan kurang dari 25 tahun, bahkan mungkin hanya beberapa saat saja selama masa konstruksi.
4. Kontrol Baik: kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi didasarkan pada program penyelidikan geoteknik yang tepat dan professional terdapat informasi uji pembebanan di atau dekat proyek dan pengawasan konstruksi di laksanakan secara ketat.
5. Kontrol normal: situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi diatas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tiang.
6. Kontrol kurang tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, pengawasan pekerjaan kurang, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik.

Pengambilan factor keamanan (FK) untuk Qs lebih rendah dari pada factor keamanan untuk Qp karena gerakan yang dibutuhkan untuk memobilisasi gesekan jauh lebih kecil daripada gerakan untuk memobilisasi tahanan ujung. Di Indonesia umumnya digunakan  $FK = 2.5$  baik untuk gesekan selimut maupun untuk daya dukung tiang pancang.

**2.4.5 Kebutuhan Jumlah Tiang Pancang**

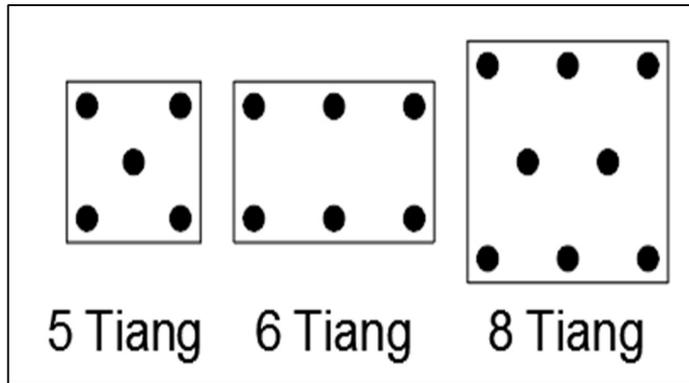
Kebutuhan Jumlah Tiang (Np), dengan rumus sebagai berikut :

$$N_p = \frac{V}{Q_{all}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

- Np = Kebutuhan Jumlah Tiang
- V = Berat total bangunan (ton)
- Qall = Daya dukung yang diijinkan (ton)

Untuk pola kelompok tiang, dapat dilihat pada Gambar 2.17.



**Gambar 2. 17** Pola kelompok tiang

**2.4.6 Jarak antar tiang Pondasi**

Jarak antar tiang pondasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{1,57 \times D \times m \times n}{M + n - 2} \dots \dots \dots (2.17)$$

Kebanyakan peraturan bangunan menyatakan jarak minimum antara tiang sebesar 2 kali diameter sedangkan jarak optimal antara tiang umumnya adalah antara 2,5 – 3 kali diameter, yang kemudian dapat didasarkan pada ketentuan sebagai berikut :

1. Jika  $S \geq 3.D$ , daya dukung kelompok tiang dapat diambil sama besar dengan jumlah dari seluruh daya dukung tiang ( $E_g \geq 1$ )
2. Jika  $2,5 \leq S \leq 3.D$ , maka gunakan formula efisiensi yang ada ( $E_g \leq 1$ )

Jarak tiang ke tepi =  $S \leq 1,25 D \dots \dots \dots (2.18)$

Keterangan :

S = Jarak masing-masing tiang dalam kelompok tiang dihitung dari as ke as (m)

D = Diameter tiang (m)

### 2.4.7 Efisiensi Kelompok Tiang (Eg)

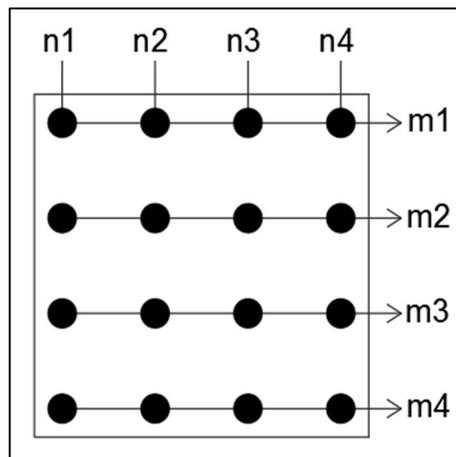
Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang (Eg) berdasarkan rumus Converse Labbarre dari Uniform Building Code AASHTO dapat dilihat pada rumus dibawah ini sebagai berikut:

$$Eg = 1 - \frac{\theta [(n-1)m + (m-1)n]}{90(mn)} \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

- m = jumlah baris tiang
- n = jumlah tiang dalam satu baris
- $\theta$  = arc.tg (d/s), dalam ( $^{\circ}$ )
- s = jarak pusat ke pusat tiang (m)
- d = diameter tiang (m)

Untuk baris kelompok tiang, dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Baris kelompok tiang

### 2.4.8 Daya Dukung Kelompok Tiang

Dengan rumus :

$$Q_{tk} = E_g \times n_p \times Q_{all} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

- $Q_{tk}$  = daya dukung kelompok tiang
- $E_g$  = efisiensi kelompok tiang
- $Q_{all}$  = daya dukung tiang tunggal yang diizinkan
- V = gaya aksial yang terjadi

## 2.5 Penurunan Pondasi Tiang Pancang

Pada waktu tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan. Beberapa metode hitungan penurunan telah diusulkan, berikut ini akan dipelajari penurunan tiang tunggal dan kelompok tiang.

### 2.5.1 Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Penurunan yang diijinkan (Sijin) menurut Terzaghi (1969)

$$S_{ijin} = 10\% \times D \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

Sijin = penurunan yang diijinkan

D = diameter tiang pancang

Untuk perencanaan, penurunan elastis pondasi tiang tunggal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_e = S_s + S_p + S_{ps} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

$S_e$  = penurunan elastis total pondasi tiang tunggal (cm)

$S_s$  = penurunan akibat deformasi aksial tiang (cm)

$S_a$  = penurunan dari ujung tiang (cm)

$S_{ps}$  = penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (cm)

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \times Q_s) \times L}{A_p \times E_p} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

$S_s$  = penurunan akibat deformasi aksial tiang (cm)

$Q_p$  = beban yang didukung ujung tiang (kg)

$Q_s$  = beban yang didukung selimut tiang (kg)

L = panjang tiang (cm)

$A_p$  = luas penampang tiang (cm<sup>2</sup>)

$E_p$  = modulus elastisitas tiang (kg/cm<sup>2</sup>)

$$= 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (SNI-03-2847-2002, Hal 54)}$$

$\alpha$  = koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang pondasi tiang

Vesic menyarankan nilai  $\alpha = 0,5$  untuk distribusi gesekan yang seragam atau parabolik sepanjang tiang. Untuk distribusi berbentuk segitiga (nol di puncak dan maksimum di dasar) nilai  $\alpha = 0,67$ .

$$S_p = \frac{C_p \times Q_p}{D \times q_p} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

$S_p$  = penurunan akibat deformasi aksial tiang (cm)

$Q_p$  = perlawanan ujung dibawah beban kerja atau beban ujung yang diijinkan (kg)

$C_p$  = koefisien empiris (kg)

$D$  = diameter tiang (cm)

$Q_p$  = tahanan ujung tiang (kg/cm<sup>2</sup>)

Untuk nilai koefisien  $C_p$  (koefisien empiris), dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Nilai koefisien  $C_p$

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (padat hingga lepas)	0,02 - 0,04	0,09 - 0,18
Lempung (teguh hingga lunak)	0,02 - 0,03	0,03 - 0,06
Lanau (padat hingga lepas)	0,03 - 0,05	0,09 - 0,12

(Sumber : Hardjasaputra, 2001)

Penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{ps} = \frac{Q_{ws} \times D}{P \times L \times E_s} (1 - v_s^2) \times I_{ws} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

$\frac{Q_{ws}}{P \times L}$  = gesekan rata-rata sepanjang tiang

$P$  = keliling tiang (cm)

$L$  = panjang tiang tertanam (cm)

$D$  = diameter atau sisi ting (cm)

$E_s$  = modulus elastisitas tanah ( kg/cm<sup>2</sup>)

$V_s$  = angka poison tanah

$I_{ws}$  = faktor pengaruh =  $2 + 0,35 \times \sqrt{L/D}$

Untuk nilai poison rasio tanah dan pasir ( $V_s$ ), dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Nilai Poisson Rasio Tanah dan Pasir

Tipe Tanah	Poisson's Rasio
Clay, saturated	0,5
Clay, Undrained	0,35 – 0,40
Clay, wit sand and silt	0,30 – 0,42
Sandy Soil	0,15 – 0,25
Sand	0,30 – 0,35

Untuk interval nilai modulud elastisitas untuk berbagai tanah (Es), dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4** Interval Nilai Modulus Elastisitas Untuk Berbagai Tanah

Jenis Tanah	Harga Modulus Elastisitas	
	kg/cm	psi
Tanah liat sangat lunak	3,5 - 30	50 - 400
Tanah liat lunak	20 - 50	250 - 600
Tanah liat sedang	40 - 80	600 - 1200
Tanah liat keras	70 - 180	1000 - 2500
Tanah liat berpasir	300 - 400	4000 - 6000
Pasir berlanau	70 - 200	1000 - 3000
Pasir lepas	100 - 250	1500 - 3500
Pasir padat	500 - 800	7000 - 12000
Pasir padat dan grosok	1000 - 2000	14000 - 28000

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

### 2.5.2 Penurunan Pondasi Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar daripada pondasi tiang tunggal karena pengaruh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Vesic memberikan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

- Sg = penurunan kelompok tiang (cm)
- S = penurunan pondasi tiang tunggal (cm)
- Bg = lebar kelompok tiang (cm)
- D = diameter atau sisi tiang tunggal (cm)

## 2.6 Pembebanan

Konstruksi pondasi harus mampu menahan beban yang bekerja di atasnya, sehingga gedung tersebut tidak mengalami keruntuhan. Adapun perhitungan pembebanan terdiri dari :

### 2.6.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektual dan struktural lainnya serta peralatan pelayanan yang terpasang seperti berat keran. Sehingga berat tentang komponen bangunan penting digunakan untuk menentukan besarnya beban mati suatu bangunan diperlihatkan dalam Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

**Tabel 2. 5** Berat sendiri bangunan

No	Material	Berat	Keterangan
1	Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>	
2	Batu alam	2600 kg/m <sup>3</sup>	
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung	500 kg/m <sup>3</sup>	berat tumpuk
4	Batu karang	700 kg/m <sup>3</sup>	berat tumpuk
5	Batu pecah	1450 kg/m <sup>3</sup>	
6	Besi tuang	7250 kg/m <sup>3</sup>	
7	Beton	2200 kg/m <sup>3</sup>	
8	Beton bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>	
9	Kayu	1000 kg/m <sup>3</sup>	kelas I
10	Kerikil, koral	1650 kg/m <sup>3</sup>	kering udara sampai lembab, tanpa diayak
11	Pasangan bata merah	1700 kg/m <sup>3</sup>	
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m <sup>3</sup>	
13	Pasangan batu cetak	2200 kg/m <sup>3</sup>	
14	Pasangan batu karang	1450 kg/m <sup>3</sup>	
15	Pasir	1600 kg/m <sup>3</sup>	kering udara sampai lembab
16	Pasir	1800 kg/m <sup>3</sup>	jenuh air
17	Pasir kerikil, koral	1850 kg/m <sup>3</sup>	kering udara sampai lembab
18	Tanah, lempung dan lanau	1700 kg/m <sup>3</sup>	kering udara sampai lembab
19	Tanah, lempung dan lanau	2000 kg/m <sup>3</sup>	Basah
20	Timah hitam / timbel	11400 kg/m <sup>3</sup>	

**Tabel 2. 6** Berat sendiri komponen bangunan

No	Material	Berat	Keterangan
1	Adukan, per cm tebal dari semen dari kapur, semen merah/tras	21 kg/m <sup>2</sup> 17 kg/m <sup>2</sup>	
2	Aspal, per cm tebal :	14 kg/m <sup>2</sup>	
3	Dinding pasangan bata merah : satu batu setengah batu	450 kg/m <sup>2</sup> 250 kg/m <sup>2</sup>	
4	Dinding pasangan batako : berlubang : tebal dinding 20 cm (HB 20) tebal dinding 10 cm (HB 10) tanpa lubang : tebal dinding 15 cm tebal dinding 10 cm	200 kg/m <sup>2</sup> 120 kg/m <sup>2</sup> 300 kg/m <sup>2</sup> 200 kg/m <sup>2</sup>	
5	Langit-langit & dinding, terdiri : semen asbes (eternit), tebal maks. 4mm kaca, tebal 3-5 mm	11 kg/m <sup>2</sup> 10 kg/m <sup>2</sup>	termasuk rusuk-rusuk, tanpa pengantung atau pengaku
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu	40 kg/m <sup>2</sup>	tanpa langit-langit, bentang maks. 5 m, beban hidup maks. 200 kg/m <sup>2</sup>
7	Penggantung langit-langit (kayu)	7 kg/m <sup>2</sup>	bentang maks. 5 m, jarak s.k.s. min. 0.80 m
8	Penutup atap genteng	50 kg/m <sup>2</sup>	dengan reng dan usuk / kaso per m <sup>2</sup> bidang atap
9	Penutup atap sirap	40 kg/m <sup>2</sup>	dengan reng dan usuk / kaso per m <sup>2</sup> bidang atap
10	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25)	10 kg/m <sup>2</sup>	tanpa usuk
11	Penutup lantai ubin, /cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>	ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan
12	Semen asbes gelombang (5 mm)	11 kg/m <sup>2</sup>	

### 2.6.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layanannya dan timbul akibat penggunaan suatu gedung. Termasuk beban manusia, perabotan yang dapat di pindah-pindah, kendaraan dan barang-barang lain. Karena besar dan lokasi beban yang selalu berubah-ubah maka penentuan beban hidup secara pasti adalah merupakan suatu hal yang cukup sulit sehingga untuk mempermudah penentuan nilai beban hidup menurut kegunaan suatu bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2. 7** Beban hidup pada lantai gedung

No	Material	Beban	Keterangan
1	Lantai dan tangga rumah tinggal	200 Kg/m <sup>2</sup>	kecuali yang disebut no. 2
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana Gudang-gudang selain untuk took, pabrik, bengkel	125 Kg/m <sup>2</sup>	
3	Sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit	250 Kg/m <sup>2</sup>	
4	Ruang olahraga	400 Kg/m <sup>2</sup>	
5	Ruang dansa	500 Kg/m <sup>2</sup>	
6	Lantai dan balkon ruangan pertemuan	400 Kg/m <sup>2</sup>	mesjid, gereja, ruang pegelaran / rapat, bioskop dengan penonton berdiri
7	Panggung penonton	500 Kg/m <sup>2</sup>	tempat duduk tidak tetap/ penonton berdiri
8	Tangga, bordes dan gang	300 Kg/m <sup>2</sup>	no. 3
9	Tangga, bordes dan gang	500 Kg/m <sup>2</sup>	no. 4, 5, 6, 7
10	Ruang pelengkap	250 Kg/m <sup>2</sup>	no. 3, 4, 5, 6, 7
11	Pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang alat dan mesin	400 Kg/m <sup>2</sup>	minimum
12	Gedung parkir bertingkat : Lantai bawah Lantai tingkat lainnya	800 Kg/m <sup>2</sup> 400 Kg/m <sup>2</sup>	
13	Balkon menjorok bebas keluar	300 Kg/m <sup>2</sup>	minimum

## 2.7 Perencanaan *Pile Cap*

*Pile cap* berfungsi untuk mengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. *Pile cap* biasanya terbuat dari beton bertulang. Perencanaan *pile cap* dilakukan anggapan sebagai berikut :

1. *Pile cap* sangat kaku
2. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*. Karena itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh *pile cap*.
3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata.

*Pile cap* dipengaruhi oleh tegangan geser ijin beton. Tegangan geser harus dihitung pada potongan terkritis. Momen lentur pada *pile cap* harus dihitung dengan menganggap momen tersebut bekerja pada pusat tiang ke permukaan kolom terdekat.

### 2.7.1 Dimensi *Pile Cap*

Jarak tiang mempengaruhi ukuran *pile cap*. Jarak tiang biasanya  $1,5D - 3D$  dan jarak tepi tiang  $3,5D$ . Adapun ketentuan ukuran *pile cap* berdasarkan SNI-03-2847-2002 adalah sebagai berikut :

- a. Ketebalan pondasi telapak diatas lapisan tulang bawah tidak boleh kurang dari 300 mm untuk pondasi telapak diatas pancang
- b. Tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm.
- c. Kuat geser pondasi telapak disekitar kolom, beban terpusat atau daerah reaksi ditentukan oleh kondisi terberat dari dua hal berikut:
  1. Aksi balok satu arah dimana masing-masing penampang kritis yang akan ditinjau menjangkau sepanjang bidang yang memotong seluruh pondasi telapak.
  2. Aksi dua arah dimana masing-masing penampang kritis yang akan perimeter ditinjau harus ditempatkan sedemikian sehingga penampang adalah minimum.

Perhitungan gaya geser 1 arah dan 2 arah untuk *pile cap* sama dengan perhitungan gaya geser 1 arah dan 2 arah pada pondasi telapak.

### 2.7.2 Tinjauan terhadap Geser

Perilaku pondasi terhadap geser tidak berbeda dengan balok dan pelat.

1. Kontrol terhadap geser pons yang bekerja satu arah

Penampang kritis terhadap geser pada pelat pondasi terletak sejarak  $d$  dari muka reaksi terpusat dan terletak pada bidang yang melintang pada seluruh lebar. Apabila hanya geser dan lentur yang bekerja, maka kekuatan yang disumbangkan beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b_0 \cdot d \dots \dots \dots (2.27)$$

Gaya geser nominal penampang sejarak  $d$  dari muka kolom harus lebih kecil au sama dengan kekuatan geser beton sehingga  $V_n < V_c$  maka :

$$\frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d \dots \dots \dots (2.28)$$

Keterangan:

$V_u$  = gaya geser sejarak  $d$  dari muka kolom

$V_c$  = geser beton

$b_o$  = keliling penampang kritis pons yaitu  $4(c + d)$

$d$  = tinggi efektif

$\phi = 0,6$  (faktor reduksi untuk geser)

2. Kontrol terhadap geser pons yang bekerja dua arah. Bidang penampang kritis yang tegak lurus bidang pelat mempunyai keliling dengan masing-masing sisi sebesar  $b_o$  dimana penampang kritis terjadi sejauh  $\frac{1}{2}d$  dari muka tumpuan. Kontrol geser dua geser dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \frac{\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d}{6} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$V_c = \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_o}\right) \frac{\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

$\beta$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom, daerah Terpusat atau daerah reaksi

$a_s$  = 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut

$f_c'$  = mutu beton (mpa)

$d$  = tinggi efektif *pile cap*

$b_o$  = keliling penampang kritis pons yaitu  $4(c + d)$

Gaya geser nominal penampang :

$$\frac{V_u}{\phi} = V_n \leq V_c + V_s \leq 4 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2.32)$$

$$V_u = \frac{P_u}{A} (h_o^2 - b_o^2) \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan :

$V_s$  = kuat geser tulangan geser

$P_u$  = beban teraktor pada kolom

$A$  = luas pondasi (B x L)

### 2.7.3 Perencanaan Tebal *Pile Cap*

Untuk merencanakan tebal *pile cap*, maka *pile cap* harus direncanakan agar kuat geser nominal beton ( $V_c$ ) lebih besar dari geser akibat kolom dan juga geser akibat tiang 1 arah dan geser 2 arah.

Kontrol geser satu arah dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = 0,75 \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \dots \dots \dots (2.34)$$

$$V_c = (P_i)_{\max} - w_{fc} \dots \dots \dots (2.35)$$

Keterangan :

$F_c'$  = mutu beton yang digunakan untuk *pile cap*

$b_o$  = panjang area geser pons

$d$  = tebal *pile cap*

$(P_i)_{\max}$  = reaksi tiang pancang berfaktor maksimum

$w_{fc}$  = berat pondasi pada area geser pons

#### 2.7.4 Penulangan *Pile Cap*

Penulangan *pile cap* dianggap sama dengan penulangan balok. Perencanaan penulangan *pile cap* mempunyai beberapa langkah sebagai berikut :

a. Lebar penampang kritis  $B'$

$$B' = \frac{\text{lebar } \textit{pile cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2} \dots \dots \dots (2.36)$$

Keterangan :

$B'$  = lebar penampang kritis (mm)

b. Berat *pile cap* pada penampang kritis  $q'$

$q'$  = 2400 kg/cm<sup>2</sup>. Lebar *pile cap*. Tebal *pile cap*

$$M_u = 2 \left( \frac{p_u}{4} \right) (\text{lebar kolom}) - \frac{1}{2} \times q' \times B^2 \dots \dots \dots (2.37)$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left( d - \frac{1}{2} a \right) \dots \dots \dots (2.38)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \dots \dots \dots (2.39)$$

Keterangan :

$q'$  = berat *pile cap* paa penampang kritis (kg/m<sup>3</sup>)

$P_u$  = beban aksial yang bekerja (kg)

$M_u$  = momen ultimate

$M_n$  = momen nominal

$A_s$  = luas tulangan terpasang, untuk tulangan bagian atas bisa

Diberikan 20% dari tulangan utama

c. Rencanakan sebagai balok persegi dengan lebar ( $b$ ) dan tinggi efektif ( $d$ )

$$K_{perlu} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.40)$$

Dimana :

$K_{perlu}$  = faktor panjang efektif komponen struktur tekan (mpa)

$M_u$  = momen yang terjadi pada balok (kg.m)

$b$  = lebar balok (m)

$h$  = tinggi balok (m)

$d$  = tinggi efektif (m)  
 $= h - d' - \emptyset$  tulangan

d. Rasio tulangan yang dapat diperoleh dengan,

$$\rho_b = \frac{1}{m} \times \left( \frac{1 - \sqrt{1 - (2 \times m \times R_n)}}{F_y} \right) \dots \dots \dots (2.41)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{F_y} \dots \dots \dots (2.42)$$

pemeriksaan terhadap rasio tulangan tarik :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

e. Bila harga rasio penulangan tarik memenuhi syarat maka dilanjutkan dengan perhitungan luas tulangan.

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2.43)$$

Keterangan :

$A_s$  = luas tulangan (mm<sup>2</sup>)

$P$  = rasio tulangan

f. Dengan hasil luas tulangan yang telah diketahui, maka dapat dilanjutkan dengan merencanakan diameter dan jarak tulangan yang disesuaikan dengan luas tulangan yang telah dihitung.

$$A_{s_{aktual}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \dots \dots \dots (2.44)$$

$$N = \frac{A_s}{A_{s_{aktual}}} \dots \dots \dots (2.45)$$

$$S = \frac{A_s}{A_{s_{aktual}} \cdot n} \times 1000 \dots \dots \dots (2.46)$$

Keterangan :

$N$  = jumlah tulangan

$S$  = jarak tulangan (mm)

$A_{s_{aktual}}$  = luas tulangan (mm)