

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Pondasi

Pondasi merupakan struktur bangunan yang letaknya berada di bagian paling bawah dan berguna untuk menopang beban seluruh struktur bangunan, pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Pondasi sendiri adalah bagian dasar dari suatu bangunan yang bersentuhan langsung dengan tanah, berfungsi untuk menahan beban bangunan di atasnya serta menyalurkan beban tersebut ke dalam tanah [7].

Pondasi merupakan elemen struktural paling bawah dari suatu bangunan yang berperan dalam mendistribusikan beban struktur ke lapisan tanah atau batuan pendukung di bawahnya. Pondasi adalah elemen struktural yang memiliki keterkaitan langsung dengan tanah dan berperan penting dalam sistem kestabilan bangunan. Setiap jenis bangunan, termasuk konstruksi berat, memerlukan pondasi sebagai media untuk mentransfer beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung. Pondasi diposisikan di bawah permukaan tanah dan berfungsi untuk menahan serta menyalurkan beban vertikal maupun lateral ke tanah di bawahnya.

2.2 Klasifikasi Pondasi

Pondasi merupakan elemen konstruksi dasar dari suatu bangunan yang bersentuhan langsung dengan tanah. Fungsinya adalah untuk menopang struktur bangunan di atasnya dengan cara menyalurkan beban, baik secara vertikal maupun horizontal, secara bertahap dan merata ke lapisan tanah di bawahnya [8].

Secara umum, pondasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal digunakan ketika lapisan tanah keras berada dekat dengan permukaan, sehingga tidak memerlukan penggalian yang dalam. Sementara itu, pondasi dalam digunakan apabila lapisan tanah keras terletak jauh di bawah permukaan tanah, sehingga diperlukan pengeboran atau pemancangan, seperti yang diterapkan pada konstruksi jembatan dan gedung. Salah satu contoh pondasi dalam adalah pondasi tiang. Pemilihan jenis pondasi ini ditentukan berdasarkan besar beban yang harus ditopang dari struktur di atasnya, apakah beban tersebut ringan

atau berat, serta mempertimbangkan karakteristik tanah tempat bangunan didirikan [9].

Pondasi dangkal merupakan jenis pondasi yang dirancang untuk menahan beban ringan dan langsung menyalurkan beban tersebut ke tanah di bawahnya. Sementara itu, pondasi dalam digunakan untuk menopang beban yang lebih besar, dengan cara menyalurkan beban tersebut hingga mencapai lapisan tanah keras atau batuan yang berada jauh di bawah permukaan [10].

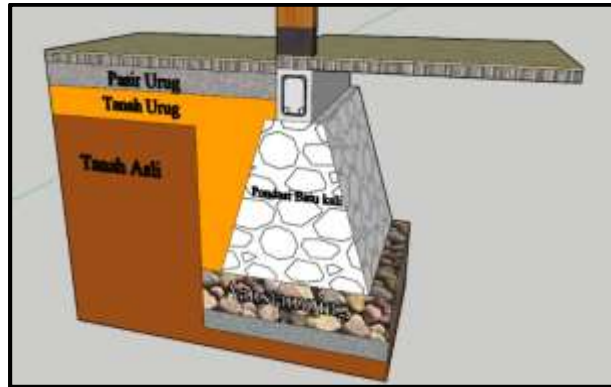
2.2.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal merupakan jenis pondasi yang umumnya dipakai untuk menopang struktur bangunan ringan atau bangunan yang memiliki beban relatif kecil. Pondasi dangkal adalah jenis pondasi yang biasanya digunakan untuk mendukung struktur bangunan ringan atau bangunan dengan beban yang tidak terlalu berat dan jenis pondasi ini digunakan ketika lapisan tanah keras berada dekat dengan permukaan tanah, sehingga tidak memerlukan penggalian yang dalam [11].

Pondasi dangkal digunakan pada lapisan tanah yang letaknya cukup dekat dengan permukaan. Jenis pondasi ini biasanya digunakan untuk konstruksi ringan seperti rumah tinggal, garasi, pagar, atau bangunan kecil lainnya. Pondasi dangkal memiliki beberapa jenis. Berikut adalah jenis-jenis pondasi dangkal:

1. Pondasi Batu Kali

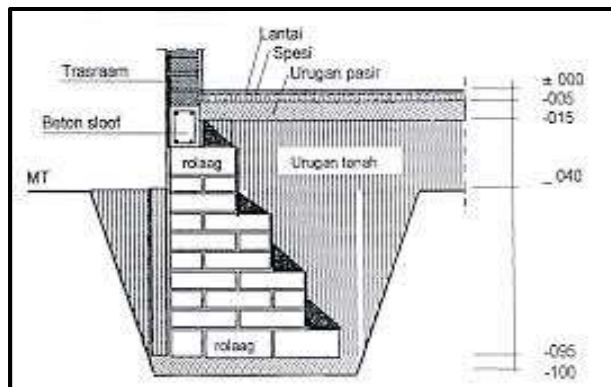
Pondasi batu kali adalah jenis pondasi dangkal yang menggunakan batu alam sebagai material utama. Batu-batu tersebut disusun secara berlapis dan diikat dengan campuran semen dan pasir untuk membentuk struktur yang kokoh. Pondasi ini umumnya digunakan pada bangunan dengan beban ringan hingga sedang, seperti rumah tinggal, pagar, dan bangunan kecil lainnya. Keunggulan pondasi batu kali meliputi biaya yang relatif rendah, kemudahan dalam pelaksanaan, serta kemampuan menyesuaikan dengan kondisi tanah yang stabil. Namun, pondasi ini kurang cocok untuk tanah yang lunak atau memiliki daya dukung rendah. Pelaksanaan metode pasangan batu kali dilakukan secara langsung dilapangan, pondasi ini menggunakan batu kali (batu belah alami) yang disusun dan direkatkan dengan campuran mortar (semen dan pasir), dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Pondasi Batu Kali

2. Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

Pondasi batu bata adalah pondasi yang terbuat dari material batu bata sebagai bahan utamanya. Seluruh batu bata ini disusun sedemikian rupa untuk membentuk suatu pondasi yang mampu menahan beban bangunan di atasnya kemudian meneruskannya ke dalam tanah. Karena memiliki daya dukung yang tidak terlalu tinggi, pondasi batu bata biasanya diterapkan pada konstruksi yang sederhana, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



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

3. Pondasi Telapak

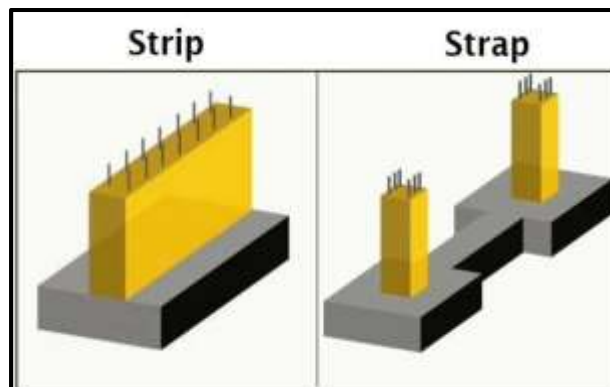
Pondasi telapak adalah pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi. Pondasi ini umumnya dibangun di atas tanah pendukung pondasi dengan membuat suatu tumpuan yang bentuk dan ukurannya sesuai dengan beban bangunan dan daya dukung tanah pondasi tersebut. Pondasi telapak memiliki peran penting dalam menyalurkan beban struktur bangunan ke tanah di bawahnya, dan pondasi ini biasanya terbuat dari beton bertulang dan berbentuk persegi, persegi panjang, atau lingkaran, tergantung bentuk dan beban kolom yang didukung, dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Pondasi Telapak

4. Pondasi Memanjang

Pondasi memanjang adalah jenis pondasi yang membentang secara horizontal mengikuti panjang bangunan atau elemen struktural di atasnya. Pondasi memanjang juga digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain, dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Pondasi Memanjang

5. Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSLL) terdiri dari pelat beton tipis menerus yang diperkuat oleh rib-rib tegak tipis dan tinggi di bawahnya. Rib-rib ini disusun sedemikian rupa sehingga membentuk pola segitiga yang kaku dan stabil, menyerupai sarang laba-laba. Rongga di antara rib-rib diisi dengan lapisan tanah atau pasir yang dipadatkan dengan baik. Susunan ini memungkinkan pondasi untuk menyalurkan beban secara merata ke tanah di bawahnya, dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

6. Pondasi Rakit

Pondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*) adalah jenis pondasi dangkal yang berupa pelat beton bertulang besar yang menutupi seluruh area bawah bangunan. Pondasi rakit digunakan untuk mengetahui beban keseluruhan gedung, daya dukung yang dihasilkan, serta besarnya penurunan dan stabilitas struktur yang akan terjadi. Pondasi rakit cocok digunakan jika tanah memiliki daya dukung yang rendah, dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Pondasi Rakit

2.2.2 Pondasi Dalam

Pondasi dalam merupakan elemen penting dalam struktur bangunan yang didirikan di atas tanah dengan daya dukung rendah pada permukaan. Berbeda dari pondasi dangkal yang hanya memanfaatkan lapisan tanah atas, pondasi dalam dirancang untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah keras yang terletak jauh di bawah permukaan.

Pondasi dalam merupakan bagian dari struktur bawah bangunan yang bertugas menyalurkan beban dari konstruksi ke lapisan tanah keras yang terletak cukup dalam di bawah permukaan. Pondasi dalam digunakan ketika lapisan tanah

keras berada jauh di bawah permukaan tanah dan tidak memungkinkan penggunaan pondasi dangkal. Pondasi dalam adalah pondasi yang menyalurkan beban struktur ke kedalaman lebih dari 3 meter dari permukaan tanah atau sampai mencapai lapisan tanah keras yang cukup stabil untuk mendukung beban tersebut.

Sebuah pondasi digolongkan sebagai pondasi dalam apabila rasio antara kedalaman pondasi (D_f) dan lebarnya (B) melebihi angka sepuluh ($D_f/B > 10$). Pondasi dalam digunakan ketika lapisan tanah dekat permukaan tidak mampu mendukung beban bangunan. Tiang pancang atau *bore pile* digunakan untuk menyalurkan beban ke lapisan yang lebih dalam dan lebih kuat. Pondasi dalam memiliki beberapa jenis yaitu:

1. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran (*caisson foundation*) adalah tipe pondasi dalam yang dibangun dalam bentuk sumur silindris yang diturunkan ke dalam tanah dan diisi beton setelah mencapai lapisan tanah keras. Cocok untuk struktur berat seperti jembatan atau menara. Berdasarkan beberapa Jurnal Teknik Sipil Indonesia, pondasi sumuran umumnya dibuat dengan cara manual di lokasi pembangunan, digunakan pada bangunan bertingkat rendah hingga sedang, serta cocok untuk kondisi tanah lunak dengan lapisan keras di bawahnya (biasanya < 10 meter), dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Pondasi Sumuran

2. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah jenis pondasi dalam yang digunakan untuk menyalurkan beban bangunan ke tanah keras di kedalaman tertentu, biasanya dipancang menggunakan alat berat atau ditanam secara manual, tergantung jenis dan kondisinya. Pondasi tiang pancang memberikan solusi efektif pada kondisi

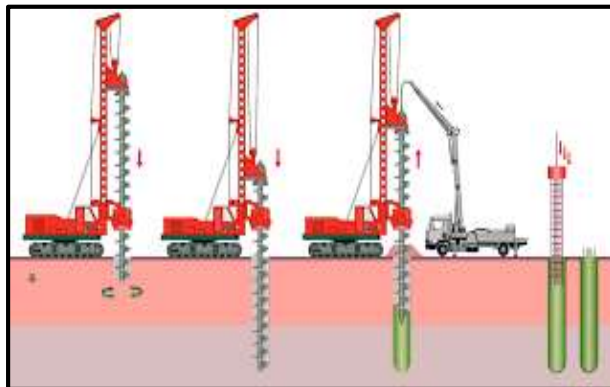
tanah lunak dan tidak stabil. Berdasarkan hasil analisis statis dan dinamis, tiang pancang dapat menyalurkan beban dengan aman ke lapisan tanah keras di kedalaman lebih dari 20 meter, dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Pondasi Tiang Pancang

3. Pondasi *Bore Pile*

Pondasi tiang bor adalah pondasi dalam berbentuk silinder vertikal yang dibuat dengan mengebor tanah dan mengecor beton di dalam lubang bor, digunakan untuk menyalurkan beban ke tanah keras. Pondasi *bore pile* merupakan solusi yang sangat efektif pada daerah padat penduduk karena tidak menimbulkan getaran, serta mampu mencapai daya dukung tinggi dengan diameter dan kedalaman yang dapat disesuaikan, dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Pondasi *Bore Pile*

4. Pondasi *Strauss*

Metode Strauss digunakan untuk membuat pondasi dalam berdiameter kecil (biasanya 30–40 cm), dilakukan secara manual tanpa alat berat, dan cocok untuk pembangunan di area terbatas atau padat penduduk. Pondasi *Strauss* cocok digunakan pada proyek rumah tinggal dua lantai di area padat penduduk karena tidak menimbulkan getaran dan dapat dikerjakan tanpa alat berat. Dari segi biaya,

pondasi Strauss lebih murah dibanding *bore pile* bermesin, namun memiliki keterbatasan pada diameter dan kedalaman tiang (umumnya <10 meter), dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Pondasi *Strauss*

2.3 Pondasi Tiang Pancang

2.3.1 Pengertian Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah keras di kedalaman tertentu. Pondasi ini umumnya digunakan saat lapisan tanah bagian atas tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk menopang beban struktur.

Pondasi tiang pancang adalah elemen struktur vertikal panjang yang digunakan untuk mentransfer beban dari permukaan tanah ke lapisan tanah yang lebih stabil dan kuat di bawahnya. Tiang-tiang ini bisa bekerja dengan dua cara utama: *bearing capacity* (menumpu pada tanah keras di bawah) dan *skin friction* (gesekan sepanjang sisi tiang dengan tanah).

Tiang pancang sangat efektif ketika digunakan pada kondisi tanah lunak di permukaan. Karena dibuat secara pracetak dan dipancang menggunakan alat berat seperti hammer hidrolik atau diesel, tiang ini dapat langsung menembus tanah lunak hingga mencapai lapisan keras.

Pondasi tiang pancang secara formal dijelaskan dalam SNI 8460:2017, yaitu sebagai tiang struktural yang dipancang ke dalam tanah untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah keras atau batuan. Tiang ini dapat terbuat dari bahan beton, baja, kayu, atau kombinasi, dan dipasang dengan cara ditumbuk atau ditekan.

Pondasi tiang pancang merupakan solusi yang ideal untuk proyek konstruksi yang menghadapi kondisi tanah tidak stabil, beban struktural yang besar, atau

kebutuhan akan efisiensi waktu dan kemampuan menahan beban lateral. Penggunaan pondasi ini dapat meningkatkan stabilitas bangunan, mengurangi potensi penurunan tanah, serta mempercepat proses konstruksi, menjadikannya pilihan yang tepat untuk berbagai jenis bangunan seperti gedung tinggi, jembatan, dan pelabuhan.

2.3.2 Jenis Jenis Pondasi Tiang Pancang

Setiap jenis pondasi tiang pancang memiliki keuntungan dan kelemahan masing-masing, sehingga pemilihan jenis yang tepat harus disesuaikan dengan kondisi tanah serta kebutuhan struktural bangunan. Berikut adalah berbagai jenis pondasi tiang pancang:

A. Tiang Pancang Beton

Pondasi tiang pancang beton adalah salah satu jenis pondasi tiang pancang yang terbuat dari bahan beton, baik yang dicetak di pabrik (beton pracetak) atau dibuat langsung di lokasi (beton *sitemix*). Tiang pancang beton adalah batang beton bertulang atau prategang yang digunakan sebagai elemen pondasi dalam dan dipasang ke dalam tanah dengan alat pemancang untuk mencapai lapisan tanah keras. Penggunaan tiang pancang beton dalam konstruksi sangat umum karena daya dukungnya yang tinggi dan keawetannya, dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Tiang Pancang Beton

B. Tiang Pancang Baja

Tiang pancang baja umumnya memiliki bentuk profil H dan menawarkan kekuatan yang sangat tinggi karena materialnya berupa baja. Hal ini menjadikan tiang ini lebih aman selama proses pengangkutan dan pemancangan, karena tidak mudah mengalami kerusakan seperti risiko patah pada tiang beton pracetak. Oleh karena itu, tiang pancang baja sangat cocok digunakan dalam kondisi yang

memerlukan tiang panjang dengan daya dukung ujung yang besar, dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Tiang Pancang Baja

C. Tiang Pancang Kayu

Tiang pancang kayu umumnya dibuat dari batang kayu yang telah diawetkan, dan biasanya dipancang dengan bagian ujung yang lebih kecil mengarah ke bawah sebagai titik runcing. Namun, dalam kondisi tertentu, bagian yang lebih besar (pangkal batang kayu) dapat dipancang terlebih dahulu, misalnya pada tanah yang sangat lunak. Hal ini dilakukan agar ujung yang lebih tebal dapat mencapai lapisan tanah yang lebih keras, sehingga mampu memberikan daya dukung yang lebih baik. Pemakaian tiang pancang kayu ini adalah cara tertua dalam penggunaan tiang pancang sebagai pondasi. Tiang kayu akan tahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh dibawah muka air tanah, dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Tiang Pancang Kayu

D. Tiang Pancang Komposit

Tiang pancang komposit merupakan jenis tiang yang terbentuk dari gabungan dua material berbeda yang berfungsi secara bersamaan sebagai satu

kesatuan tiang. Dalam beberapa kasus, tiang ini dibuat dengan menyambungkan bagian atas dan bawah menggunakan bahan yang berbeda, misalnya beton di atas permukaan air tanah dan kayu tanpa perlakuan khusus di bagian bawah. Namun, karena proses penyambungan tersebut cukup rumit dan memerlukan biaya tambahan, metode ini jarang digunakan dalam pelaksanaan. Implementasi tiang pancang jenis ini misalnya kombinasi material antara beton dengan baja, dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Tiang Pancang Komposit

2.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

Kapasitas dukung pondasi tiang pancang adalah kemampuan atau kapasitas sebuah pondasi tiang pancang untuk menahan dan menyalurkan beban dari struktur di atasnya ke lapisan tanah yang lebih dalam dan kuat. Satuan yang digunakan untuk kapasitas dukung tiang pancang adalah satuan gaya (misalnya, kilonewton (kN) atau ton).

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:

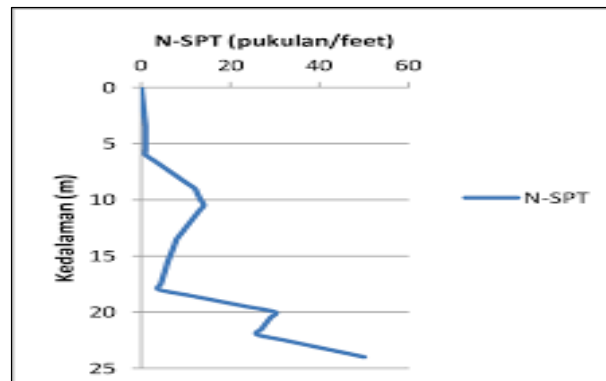
$$Q_p = 40 (L_b/B) N^* \quad (\text{Kn/m}^2) \dots \dots \dots (2.1)$$

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 (N_{spt}) pada titik 10 kali diameter pondasi diatas ujung pondasi hingga 4 kali diameter dibawah ujung pondasi. Untuk lebih memperjelas dalam menentukan nilai rata-rata dari

jumlah tumbukan dalam uji penetrasi standar tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 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/cm²)

A_p = luas tiang pancang (cm²)

JHL = jumlah perlawanan konus (kg/cm)

P = keliling tiang pancang (cm)

3. Berdasarkan uji laboratorium

Berikut beberapa rumus yang digunakan dalam uji laboratorium untuk menentukan kapasitas dukung pondasi tiang pancang:

A. Pengujian Triaksial:

$$\sigma'_v = \sigma'_c + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

σ'_v = tekanan vertikal efektif

σ'_c = tekanan konsolidasi

σ'_1 = tekanan utama mayor

σ'_3 = tekanan utama minor

B. Pengujian Geser Langsung:

$$\tau = c + \sigma'_n * \tan(\phi) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

T = gesekan geser

c = kohesi

σ'_n = tekanan normal efektif

ϕ = sudut geser dalam

Hasil pengujian laboratorium ini dapat digunakan untuk menentukan parameter-parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang pancang.

2.4.1 Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

1. Berdasarkan N-SPT

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

$$Q_p \text{ tiang} = 4 \times A_p \text{ tiang} \times N_p \text{ rata-rata} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

Q_p tiang = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p tiang = Luas penampang ujung tiang pancang (ft²)

N_p rata-rata = Nilai NSPT rata-rata disekitar ujung tiang

Daya dukung ujung (Q_p) untuk tanah non-kohesif:

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

Q_p tiang = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p tiang = Luas penampang ujung tiang pancang (m²)

N_p = Nilai N-SPT 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:

$$Q_b = q_c \times A_b \dots \dots \dots (2.8)$$

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 Penetration Test*)

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:

$$Q_b = A_b \times (c' N_c + \sigma'_v N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

Q = daya dukung ujung tiang

A_b = luas penampang ujung tiang

c' = kohesi efektif

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung

σ'_v = tekanan vertikal efektif

γ = 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 (Q_s)

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

1. Berdasarkan rumus N-SPT

A. Tiang perpindahan besar

$$Q_s \text{ tiang} = \frac{A_s \text{ tiang} \times \tilde{N}}{50} \dots \dots \dots (2.10)$$

B. Tiang perpindahan kecil

$$Q_s \text{ tiang} = \frac{A_s \text{ tiang} \times \tilde{N}}{100} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

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

A_s tiang = Luas selimut dinding tiang (ft^2)

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

C. Daya dukung selimut tiang (Q_s) untuk tanah non-kohefif:

$$Q_s = 0,2 \times N-SPT \times A_s \text{ tiang} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

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

A_s tiang = Luas selimut dinding tiang (ft^2)

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:

$$Q_s = p \times JHP \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

Q_s = daya dukung selimut tiang

P = keliling tiang

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat

3. Berdasarkan uji laboratorium

$$Q_s = A_s \times f_s \dots \dots \dots (2.14)$$

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:

$$F_s = c'a + \sigma'n \tan(\delta) \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

$c'a$ = adhesi antara tanah dan tiang

$\sigma'n$ = tekanan normal efektif

δ = 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:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

Q_u = Daya dukung *ultimate* (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung *friksi* tiang (ton)

2.4.4 Daya Dukung *Allowable* (Izin)

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

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

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

Q_u = Daya dukung *ultimate* (ton)

SF = Faktor keamanan, untuk SF yang digunakan untuk daya dukung dapat dilihat pada Tabel 2.1.

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	Kontrol	Kontrol	Kontrol
	Baik	Normal	Jelek	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

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 profesional 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 faktor keamanan (FK) untuk Q_s lebih rendah dari pada faktor keamanan untuk Q_p , karena gerakan untuk memobilisasi gesekan jauh lebih kecil dari pada gerakan untuk memobilisasi tahanan ujung. Di Indonesia digunakan $FK = 2,5$ baik untuk gesekan selimut maupun untuk daya dukung tiang pancang.

2.4.5 Kebutuhan Jumlah Tiang Pancang

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

$$N_p = \frac{V}{Q_{all}} \dots \dots \dots (2.18)$$

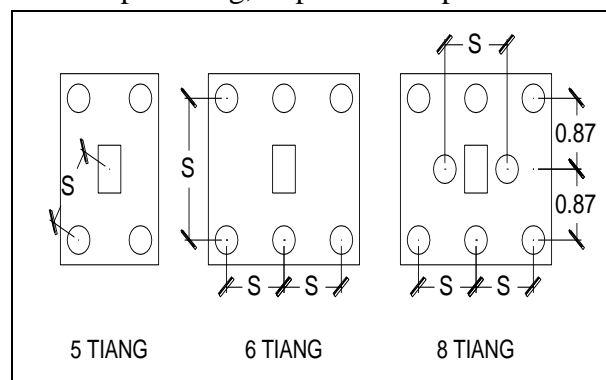
Keterangan:

N_p = Kebutuhan jumlah tiang

V = Berat total bangunan (ton)

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

Untuk pola kelompok tiang, dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut ini:



Gambar 2. 16 Pola Kelompok Tiang

2.4.6 Jarak Antar Tiang Pondasi

Jarak antar tiang pondasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \frac{1,57 \times D \times m \times n}{M + n - 2} \dots \dots \dots (2.19)$$

Kebanyakan peraturan bangunan menyatakan jarak minimum antara tiang sebesar 2 kali diameter sedangkan jarak optimal antara tiang umumnya adalah antara 1,5-3,5 kali diameter, yang kemudian dapat didasarkan pada ketentuan sebagai berikut:

Jika $S \geq 3,5 D$, daya dukung kelompok tiang dapat diambil sama besar dengan jumlah dari seluruh daya dukung tiang ($E_g \geq 1$)

Jika $21,5 \leq S \leq 3,5 D$, maka gunakan formula efisiensi yang ada ($E_g \leq 1$)

$$\text{Jarak tiang ke tepi} = S \leq 1,5 D \dots \dots \dots (2.20)$$

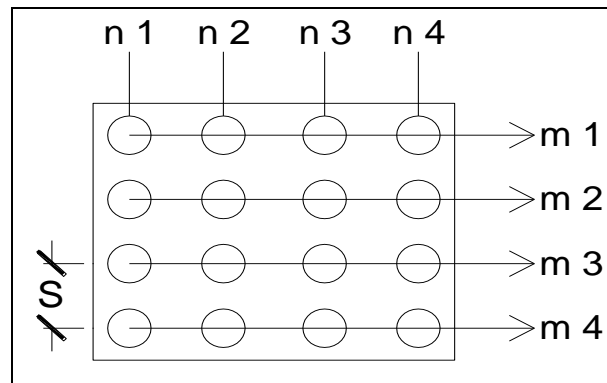
Keterangan:

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

D = Diameter tiang (m)

2.4.7 Efisiensi Kelompok Tiang (E_g)

Pada Gambar 2.17 menjelaskan tentang efisiensi kelompok tiang (E_g), dan dapat dilihat berupa Gambar dibawah ini:



Gambar 2. 17 Baris Kelompok Tiang

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

$$E_g = 1 - \frac{(\theta) [(n-1) m + (m-1)n]}{90 (mn)} \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris
 θ = $\arctg(d/s)$, dalam ($^{\circ}$)
 s = jarak pusat ke pusat tiang (m)
 d = diameter tiang (m)

2.4.8 Daya Dukung Kelompok Tiang

Dengan rumus:

$$Q_{tk} = E_g \times n_p \times Q_{all} \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

Q_{tk} = daya dukung kelompok tiang
 E_g = efisiensi kelompok tiang
 Q_{all} = daya dukung tiang tunggal yang diijinkan
 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 (S_{ijin}) menurut Terzaghi (1969)

$$S_{ijin} = 10\% \times D \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan:

S_{ijin} = penurunan yang diijinkan
 D = diameter tiang pancang

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

$$S_e = S_s + S_p + S_{ps} \dots \dots \dots (2.24)$$

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)

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \times Q_s) \times L}{A_p \times E_p} \dots \dots \dots (2.25)$$

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 (cm²)

E_p = modulus elastisitas tiang (kg/cm²)

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

α = 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 $\alpha = 0,67$.

$$S_p = \frac{C_p \times Q_p}{D \times q_p} \dots \dots \dots (2.26)$$

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/cm²)

Untuk nilai koefisien C_p (koefisien empiris), dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Faktor Aman Untuk Pondasi Dalam

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

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

$$S_{ps} = \frac{Q_{ws}}{P \times L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - v_s^2) \times I_{ws} \dots \dots \dots (2.27)$$

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/cm²)

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 sebagai berikut:

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

Tipe Tanah	<i>Poisson Rasio</i>
<i>Clay, saturated</i>	0,5
<i>Clay, Undrained</i>	0,35 – 0,40
<i>Clay, with sand and silt</i>	0,30 – 0,42
<i>Sandy Soil</i>	0,15 – 0,25
<i>Sand</i>	0,30 – 0,35

Untuk interval nilai modulus elastisitas untuk berbagai tanah (E_s), dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

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 berlanau	70-200	1000-3000

(Lanjutan) Tabel 2. 4 Interval Nilai Modulus Elastisitas Untuk Berbagai Tanah

Pasir lepas	100-250	1500-3500
Pasir liat berpasir	300-400	4000-6000
Pasir padat	500-800	7000-12000
Pasir padat dan grosok	1000-2000	14000-28000

2.5.2 Penurunan Pondasi Kelompok Tiang

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

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots \dots \dots (2.28)$$

Keterangan:

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

2.6 Pembebanan

Konstruksi pondasi harus mampu menahan beban yang bekerja diatasnya, 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+penggantung, 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 sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Berat Sendiri Bahan Bangunan

No	Material	Berat	Keterangan
1.	Baja	7850 Kg/m ³	
2.	Batu Alam	2600 Kg/m ³	

(Lanjutan) Tabel 2. 5 Berat Sendiri Bahan Bangunan

3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500 Kg/m ³	Berat tumpuk
4.	Batu karang	700 Kg/m ³	Berat tumpuk
5.	Batu pecah	1450 Kg/m ³	
6.	Batu tuang	7250 Kg/m ³	
7.	Beton	2200 Kg/m ³	
8.	Beton bertulang	2400 Kg/m ³	
9.	Kayu	1000 Kg/m ³	Kelas I
10.	Kerikil, koral	1650 Kg/m ³	Kering udara sampai lembab, tanpa diayak
11.	Pasangan bata merah	1700 Kg/m ³	
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 Kg/m ³	
13.	Pasangan batu cetak	2200 Kg/m ³	
14.	Pasangan batu karang	1450 Kg/m ³	
15.	Pasir	1600 Kg/m ³	Kering udara sampai lembab
16.	Pasir	1800 Kg/m ³	Jenuh air
17.	Pasir kerikil, koral	1850 Kg/m ³	Kering udara sampai lembab
18.	Tanah, lempung dan lanau	1700 Kg/m ³	Kering udara sampai lembab
19.	Tanah, lempung dan lanau	2000 Kg/m ³	Basah
20.	Timah hitam/timbel	11400Kg/m ³	

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 ² 17 kg/m ²	
2	Aspal, per cm tebal :	14 kg/m ²	
3	Dinding pasangan bata merah : satu batu setengah batu	450 kg/m ² 250 kg/m ²	

(Lanjutan) Tabel 2. 6 Berat Sendiri Komponen Bangunan

4	Dinding pasangan batako : berlubang : tebal dinding 20 cm (HB20) tebal dinding 10 cm (HB 10) tanpa lubang: tebal dinding 15 cm tebal dinding 10 cm	200 kg/m ² 120 kg/m ² 300 kg/m ² 200 kg/m ²	
5	Langit-langit & dinding, terdiri: semen asbes (eternit), tebal maks. 4mm kaca, tebal 3-5 mm	11 kg/m ² 10 kg/m ²	termasuk rusuk-rusuk, tanpa pengantung atau pengaku
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu	40 kg/m ²	tanpa langit-langit, bentang maks. 5 m, beban hidup maks. 200 kg/m ²
7	Penggantung langit-langit (kayu)	7 kg/m ²	bentang maks. 5 m, jarak s.k.s. min. 0.80 m
8	Penutup atap genteng	50 kg/m ²	dengan reng dan usuk / kaso per m ² bidang atap
9	Penutup atap sirap	40 kg/m ²	dengan reng dan usuk / kaso per m ² bidang atap
10	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25)	10 kg/m ²	tanpa usuk
11	Penutup lantai ubin, /cm tebal	24 kg/m ²	ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan
12	Semen asbes gelombang (5 mm)	11 kg/m ²	

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 sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Beban Hidup Pada Gedung

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

Menurut Hardiyatno, 2010 tebal *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-3,5D dan jarak tepi tiang 1,5D. Adapun ketentuan ukuran *pile cap* berdasarkan SNI-03-2847-2002 adalah sebagai berikut:

1. Ketebalan pondasi telapak diatas lapisan tulang bawah tidak boleh kurang dari 300 mm untuk pondasi telapak diatas pancang
2. Tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm.
3. 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 (Pamungkas dan Harianti, 2013).

2.7.2 Tinjau Terhadap Geser

Perilaku pondasi terhadap geser tidak berbeda dengan balok dan pelat.

A. 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:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_0 \cdot d \dots\dots\dots(2.29)$$

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

$$\frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b_0 \cdot d \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan:

V_u = gaya geser sejarak d dari muka kolom

V_c = geser beton

b_0 = keliling penampang kritis pons yaitu $4(c + d)$

d = tinggi efektif

ϕ = 0,6 (faktor reduksi untuk geser)

B. Kontrol terhadap geser pons yang bekerja dua arah

Bidang penampang kritis yang tegak lurus bidang pelat mempunyai keliling dengan masing-masing sisi sebesar b_0 dimana penampang kritis terjadi sejarak $\frac{1}{2}d$ dari muka tumpuan. Kontrol geser dua geser dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{3} \lambda \times \sqrt{f_c} \cdot b_0 \cdot d \dots\dots\dots(2.31)$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \times \sqrt{f_c} \cdot b_0 \cdot d \dots\dots\dots(2.32)$$

$$V_c = 0,083 \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_0} \right) \lambda \times \sqrt{f_c} \cdot b_0 \cdot d \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan:

β = 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_0 = keliling penampang kritis pons yaitu $4(c + d)$ Gaya geser nominal penampang:

$$\frac{V_u}{\phi} = V_n \leq V_c + \leq 4 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2.34)$$

$$V_u = \frac{P_u}{A} (h_0^2 - b_0^2) \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan:

V_s = kuat geser tulangan geser

P_u = beban teraktor pada kolom

A = luas *pile cap* (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:

$$V_c = 0,75 \times \sqrt{f'_c \cdot b_0 \cdot d} \dots \dots \dots (2.36)$$

$$V_c = (P_i)_{\max} - w_{fc} \dots \dots \dots (2.37)$$

Kontrol geser dua arah dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{1} \times \lambda \times \sqrt{f'_c \cdot b_0 \cdot d} \dots \dots \dots (2.38)$$

Keterangan:

f'_c = mutu beton yang digunakan untuk *pile cap*

b_0 = 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'

$$B' = \frac{\text{Lebar } pile \text{ cap}}{2} - \frac{\text{Lebar kolom}}{2} \dots \dots \dots (2.39)$$

Keterangan:

B' = lebar penampang kritis (mm)

B. Berat *pile cap* pada penampang kritis q'

q' = 2400 kg/cm². Lebar *pile cap*. Tebal *pile cap*

$$M_u = 2 \left(\frac{P_u}{4} \right) (\text{Lebar kolom}) - \frac{1}{2} \times q' B^2 \dots \dots \dots (2.40)$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) \dots \dots \dots (2.41)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \dots \dots \dots (2.42)$$

Keterangan:

q' = berat *pile cap* paa penampang kritis (kg/m³)

- 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)

$$K_{perlu} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.43)$$

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)
 $= h - d' - \varnothing \text{ tulangan}$

D. Rasio tulangan yang dapat diperoleh dengan,

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (2.44)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.45)$$

Pemeriksaan terhadap rasio tulangan tarik : $\rho_{min} < \rho < \rho_{perlu}$

Keterangan:

- f'_c = mutu beton (Mpa)
 f_y = mutu baja (Mpa)
 βI = rasio bentang panjang bersih terhadap bentang pendek bersih plat 0,85

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

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \text{ rencana} \dots \dots \dots (2.46)$$

Keterangan:

- A_s = luas tulangan (mm²)
 ρ = 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.

$$A_{s \text{ Aktual}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \dots \dots \dots (2.47)$$

$$N = \frac{A_s}{A_{s \text{ aktual}}} \dots \dots \dots (2.48)$$

$$S = \frac{A_s}{A_{s \text{ aktual}} \cdot n} \dots \dots \dots (2.49)$$

Keterangan:

N = jumlah tulangan

S = jarak tulangan (mm)

$A_{s \text{ Aktual}}$ = luas tulangan (m)