

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pondasi

Pondasi merupakan komponen struktur bangunan yang terletak paling bawah dan berfungsi sebagai penghubung antara struktur atas dengan tanah dasar, karena pondasi inilah yang akan memikul dan menahan beban yang bekerja di atasnya. Dalam perencanaan pondasi perlu diperhitungkan besar beban yang diterima dan daya dukung tanah setempat. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan (Sarifah et al., 2023).

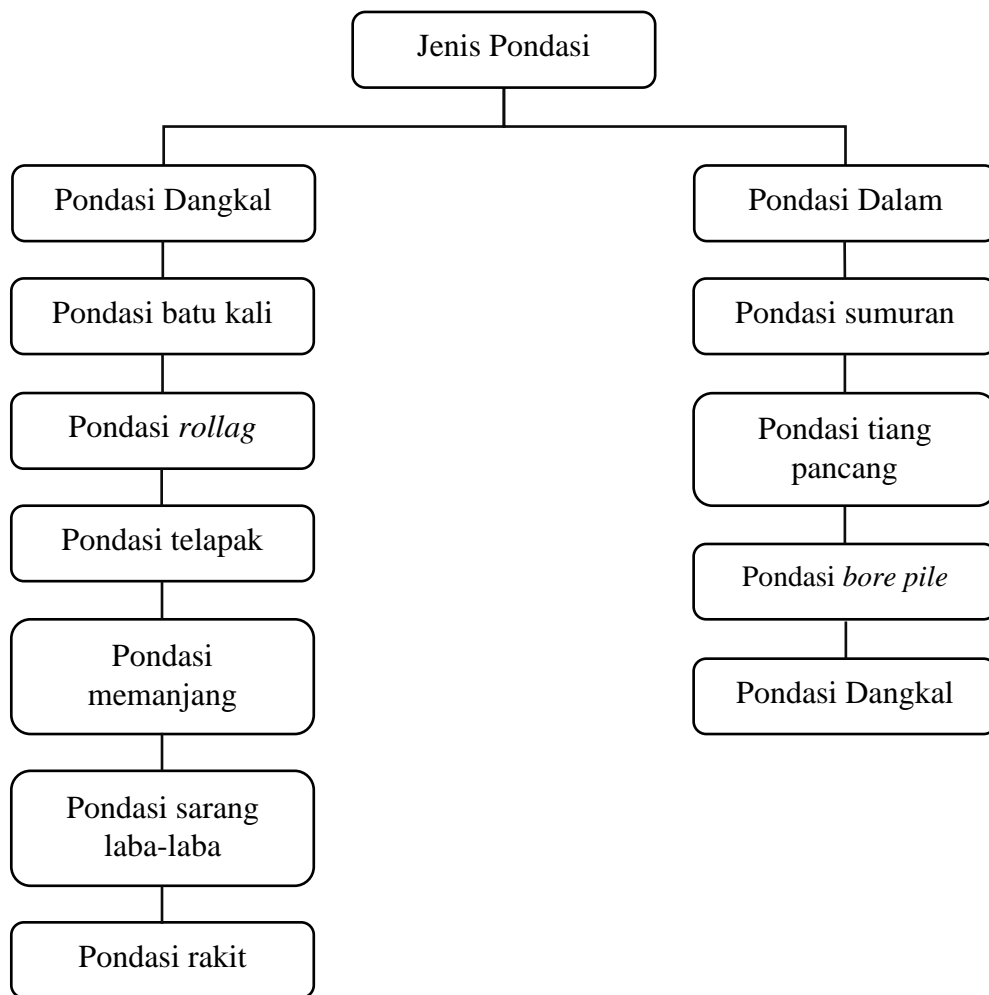
Pondasi adalah struktur bagian bawah yang terhubung langsung dengan tanah dan berfungsi menahan seluruh beban hidup maupun beban mati yang berada di atasnya dan gaya-gaya luar. Pondasi juga berfungsi meneruskan beban menuju lapisan tanah pendukung dibawahnya. Menurut Bowles (1997), dalam Tanjung et al. (2024) menyatakan bahwa pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri ke dalam tanah atau batuan yang terletak dibawahnya.

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 jenis-jenis pondasi dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.

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. Apabila perbandingan antara kedalaman pondasi dan lebar pondasi lebih kecil atau sama ($D_f \leq B$) maka konstruksi pondasi yang digunakan pada tanah tersebut adalah pondasi dangkal, anggapan bahwa penyebaran tegangan pada struktur pondasi ke tanah dibawahnya yang berupa lapisan penyangga (*bearing stratum*) yang kuat lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi (Aisah et al., 2023).



Gambar 2. 1 Jenis-jenis Pondasi

Pondasi dangkal memiliki beberapa jenis, berikut adalah jenis-jenis pondasi dangkal:

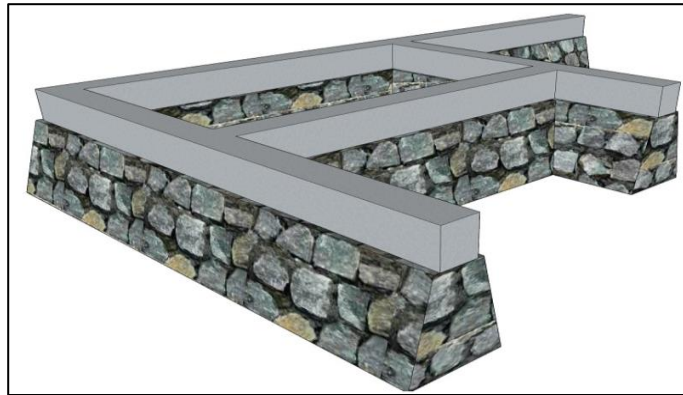
a. Pondasi Batu Kali

Pondasi batu kali mempunyai kekuatan yang baik dengan harga yang murah, umumnya jenis ini banyak digunakan. Pondasi batu kali umumnya mempunyai tinggi 60-80 cm dengan lebar bawahnya 60-80 cm sedangkan atasnya 25-30 cm dengan bentuk trapesium (Aisah et al., 2023), dapat dilihat pada Gambar 2.2.

b. Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

Pondasi batu bata *rolag* adalah jenis pondasi yang terdiri dari batu bata yang disusun secara melingkar (*Rollag*) dan diletakkan dibawah tanah untuk menopang

beban bangunan. Pondasi batu bata *rollag* biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban relatif ringan seperti teras saja (Gambar 2.3)



Gambar 2. 2 Pondasi Batu Kali



Gambar 2. 5 Pondasi Batu Bata (*Rollag*)

c. Pondasi Telapak

Pondasi telapak atau pondasi pelat adalah jenis pondasi yang terdiri dari pelat beton yang datar dan lebar. Pondasi telapak ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memiliki beban relatif ringan seperti rumah tinggal, Gedung kantor, dan lain-lain (Siahaan, 2023). Pondasi ini digunakan pada daya dukung tanah yang tidak terlalu jelek, dapat dilihat pada Gambar 2.4.

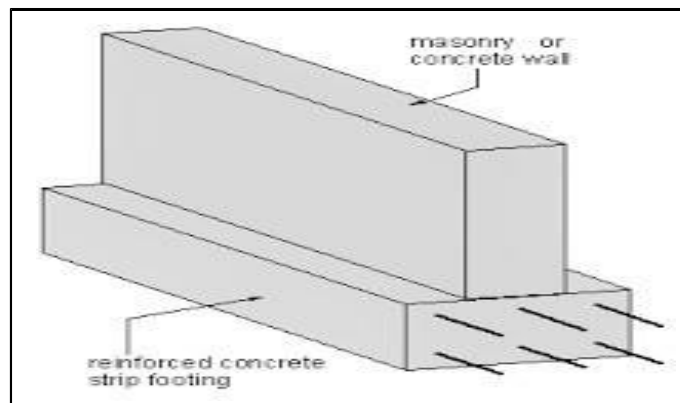
d. Pondasi Memanjang

Pondasi memanjang adalah jenis pondasi yang terdiri dari dinding beton yang panjang dan sempit yang di letakkan dibawah 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 seperti Gambar 2.5.



Gambar 2. 8 Pondasi Telapak



Gambar 2. 11 Pondasi Memanjang

e. Pondasi Konstruksi Sarang Laba-laba

Pondasi sarang laba-laba atau pondasi anyaman (KSSL) merupakan jenis pondasi yang terdiri dari balok-balok kayu atau beton yang disusun secara anyaman, membentuk pola seperti sarang laba-laba (Gambar 2.6).

f. Pondasi Rakit

Pondasi *raft* (pondasi rakit) adalah jenis pondasi yang terdiri dari pelat beton bertulang yang tebal dan luas, berfungsi mendistribusikan beban secara merata ke tanah. Salah satu kelebihan pondasi rakit yaitu cocok untuk tanah yang lunak, dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 14 Pondasi Konstruksi Sarang Laba-laba



Gambar 2. 15 Pondasi Rakit

2.3.1 Pondasi Dalam

Pondasi dalam merupakan jenis pondasi yang meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah keras atau batuan yang letaknya jauh dari permukaan. Pondasi dalam digunakan bila lapisan tanah didasar pondasi tidak mampu mendukung beban yang dilimpahkan dan terletak cukup dalam. Umumnya dikatakan pondasi dalam apabila $D > 4B$ sampai $5B$ (Gazali et al., 2021).

Oleh karena itu penentuan sifat tanah di kedalaman yang relevan harus dilakukan dengan hati-hati agar pemilihan pondasi bisa tepat sasaran dan ekonomis. Pondasi sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

a. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran adalah pondasi yang dibuat dengan menggali lubang silinder kemudian dicor menggunakan beton atau campuran batu dan mortar. Pondasi

sumuran merupakan pondasi peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebar (B) lebih kecil atau sama dengan 4, sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$ (Waruwu & Tanjung, 2022), dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 18 Pondasi Sumuran

b. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan apabila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat angin (Muchti et al., 2024), dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 19 Pondasi Tiang Pancang

c. Pondasi *Bore Pile*

Pondasi *Bore Pile* atau sebuah tiang bor dibuat dengan cara penggalian sebuah lubang bor yang kemudian diisi dengan material beton dengan memberikan penulangan terlebih dahulu (Sarifah et al., 2023), dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 20 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 *Bore Pile* adalah pondasi *strauss* memiliki diameter yang lebih besar dan lebih dalam.



Gambar 2. 23 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 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 mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam Hutami (2013), dalam Fachlepi et al. (2021).

Pondasi tiang digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam (Waruwu & Tanjung, 2022).

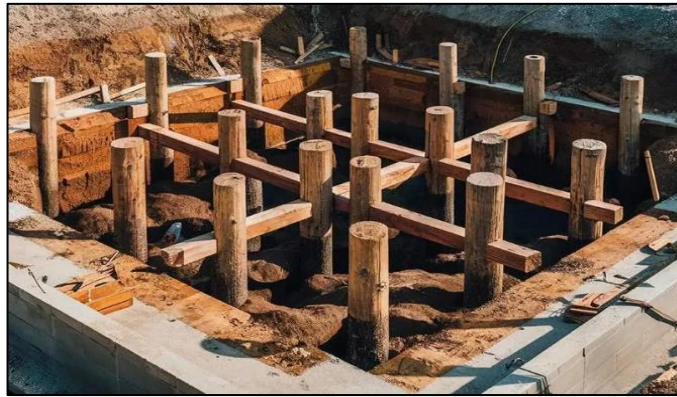
Penggunaan pondasi tiang pancang dapat memberikan kekuatan dan stabilitas tambahan struktur. Pemilihan bahan dan metode konstruksi yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa pondasi tiang pancang dapat memenuhi kebutuhan beban dan kondisi tanah yang spesifik.

2.3.2 Jenis-jenis Pondasi Tiang Pancang

Tiap jenis tiang pancang tentu punya kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Oleh karena itu, kita harus memilih tipe yang paling dengan kondisi tanah di lapangan serta kebutuhan beban bangunan yang akan dibuat. Berikut adalah beberapa jenis tiang pancang tersebut :

a. Tiang kayu

Tiang pancang kayu (Gambar 2.12) adalah tiang yang dibuat dari kayu, umumnya berdiameter antara 10-25 cm. Tiang kayu cerucuk, yang banyak dipakai di Indonesia untuk perbaikan kapasitas dukung tanah lunak berdiameter antara 80-10 cm dan panjang 4 m. Tiang 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. 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. 26 Tiang Pancang Kayu

b. Tiang beton pracetak

Tiang beton pracetak yaitu tiang dari beton yang dicetak di suatu tempat dan kemudian diangkut ke lokasi rencana bangunan. Tiang beton umumnya berbentuk prisma atau bulat (Gambar 2.13). 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. Panjang tiang beton pracetak biasanya berkisar diantara 20 sampai 40 m. Untuk tiang beton berlubang bisa sampai 60 m. Beban maksimum untuk tiang ukuran kecil berkisar diantara 300 sampai 800 KN.



Gambar 2. 27 Tiang Beton Pracetak

c. Tiang baja profil

Tiang baja profil termasuk tiang pancang, dengan bahan yang dibuat dari baja profil. Tiang ini mudah penanganannya dan dapat mendukung beban pukulan yang besar waktu dipancang pada lapisan yang keras. Tiang baja profil berbentuk profil H, empat persegi panjang, segi enam dan lain-lainnya (Gambar 2.14)



Gambar 2. 28 Tiang pancang baja

d. Tiang pancang komposit

Beberapa kombinasi bahan tiang pancang atau tiang bor dengan tiang pancang dapat digunakan untuk mengatasi masalah-masalah pada kondisi tanah tertentu. Problem pembusukan tiang kayu diatas muka air tanah misalnya, dapat diatasi dengan memancang tiang komposit yang terdiri tiang beton dibagian atas yang disambung dengan tiang kayu dibagian bawah zona muka air tanah, dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 31 Tiang pancang komposit

2.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

1. Berdasarkan rumus N-spt

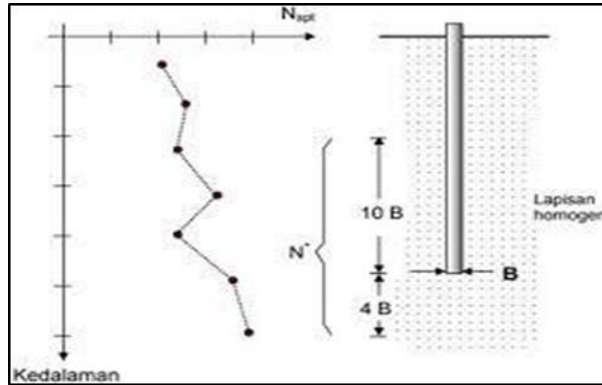
Berdasarkan catatan dari kasus-kasus dilapangan, Mayerhof (1976) mengusulkan untuk mengestimasi daya dukung ujung pondasi tiang yang ditanam didalam tanah homogen menggunakan nilai pukulan uji penetrasi standar (N-spt), dengan persamaan pendekatan :

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

dengan nilai batasan daya dukung ujung sebesar :

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

Dimana N^* adalah nilai rata-rata pukulan uji penetrasi standar (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 jumlah tumbukan uji penetrasi standard tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 32 Daya dukung berdasarkan nilai pukulan N_{spt}

2. Berdasarkan rumus CPT

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

$$Q_{ult} = (qc \times A_p) + (JHL \times P) \quad (2.3)$$

Dimana :

Q_{ult} = daya dukung ultimate (kg)

Q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

A_p = luas tiang pancang (cm^2)

JHL = jumlah perlawanan konus (kg/cm)

P = keliling tiang pancang (cm)

2.4.1 Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

1. Berdasarkan N_{spt}

Berdasarkan nilai N_{spt} (Meyerhof, 1956) perhitungan tahanan ujung tiang (Q_p tiang) pada tanah berpasir dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

Qp tiang = Daya dukung ujung tiang (ton)

Ap tiang = Luas penampang ujung tiang pancang (ft²)

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

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

$$Qp = 40 \times Nb \times Ap \quad (2.5)$$

Keterangan :

Qp tiang = Daya dukung ujung tiang (ton)

Ap tiang = Luas penampang ujung tiang pancang (m²)

Np = 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 :

$$Qb = qc \times Ab \quad (2.6)$$

dengan batasan :

qc = nilai CPT rata-rata pada interval 8D diatas dan 4D di bawah ujung tiang pancang

Dimana :

Qb = daya dukung ujung tiang pancang

Qc = nilai CPT (*Cone Resistance*)

Ab = 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 (Qb) berdasarkan hasil pengujian laboratorium dapat bervariasi tergantung pada jenis pengujian dan parameter tanah yang digunakan. Berikut contoh rumus berdasarkan pengujian triaksial :

$$Qb = Ab \times (c' Nc + \sigma'v Nq + 0,5 \gamma B N\gamma) \quad (2.7)$$

Dimana :

Qb = daya dukung ujung tiang

Ab = 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 di korelasikan 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

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

- b. Tiang perpindahan kecil

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

Keterangan :

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

A_s tiang = Luas selimut dinding tiang (ft²)

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

- c. Daya dukung selimut tiang (Q_s) untuk tanah non-kohesif :

$$Q_s = 0,2 \times \text{NSPT rata-rata di sepanjang tiang} \quad (2.10)$$

Keterangan :

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

A_s tiang = Luas selimut dinding tiang (ft²)

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 :

$$Q_s = p \times \text{JHP} \quad (2.11)$$

Keterangan :

Q_s = daya dukung selimut tiang

P = keliling tiang

JHP = jumlah hambatan pelekat

3. Berdasarkan uji laboratorium

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

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 :

$$F_s = c'a + \sigma'n \tan(\delta) \quad (2.13)$$

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 :

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

Keterangan :

Q_u = Daya dukung *ultimate* (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung *frikasi* tiang (ton)

2.4.4 Daya Dukung *Allowable* (Izin)

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

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

Keterangan :

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

Qu = Daya dukung *ultimate* (ton)

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

Menurut Reese & O'Neil, 1989 menentukan keamanan dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

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 : *Hardiyanto, 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 faktor keamanan (FK) untuk Qs lebih rendah dari pada faktor 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 (N_p), dengan rumus sebagai berikut :

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

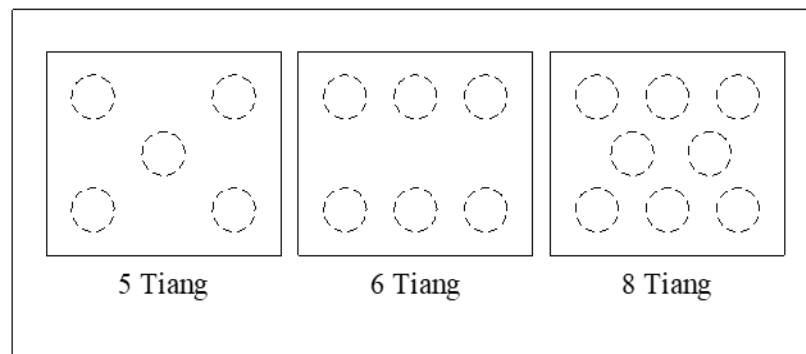
Keterangan :

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 2.17.



Gambar 2. 33 Pola Kelompok tiang

2.4.6 Jarak antar tiag Pondasi

Jarak antar tiang pondasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{1,5 \times D \times m \times n}{M+n-2} \quad (2.17)$$

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 ($E_g \leq 1$)

$$\text{Jarak tiang ke tepi} = S \leq 1,25 D \quad (2.18)$$

Keterangan :

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

D = Diameter tiang (m)

2.4.7 Efisiensi Kelompok Tiang (E_g)

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

$$E_g = 1 - (\theta) \left[\frac{(n-1) m + (m-1)n}{90 (mn)} \right] \quad (2.19)$$

Keterangan :

m = jumlah baris tiang

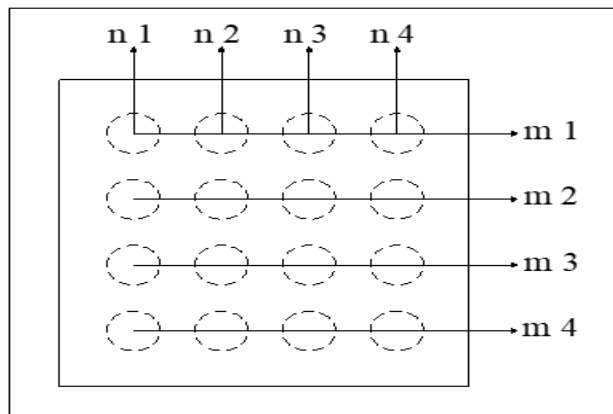
n = jumlah tiang dalam satu baris

θ = 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. 34 Baris kelompok tiang

2.4.8 Daya Dukung Kelompok Tiang

Dengan rumus :

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

Keterangan :

Q_{tk} = daya dukung kelompok tiang

E_g = efisiensi kelompok tiang

Qall = 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 (sijjin) menurut Terzaghi (1969)

$$S_{ijjin} = 10\% \times D \quad (2.21)$$

Keterangan :

Sijjin = penurunan yang diijinkan

D = diameter tiang pancang

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

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

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)

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

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 (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 $\alpha = 0,67$.

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

Keterangan :

S_p = penurunan akibat deformasi aksial tiang (cm)

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

C_p = koefisien empiris (kg)

D = diameter tiang (cm)

Q_p = tahanan ujung tiang (kg/cm^2)

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 :

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

Keterangan :

$Q_{ws} / P \times L$ = 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^2)

v_s = angka poisson tanah

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

Untuk nilai poisson 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 modulus elastisitas untuk berbagai tanah (E_s), 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 :

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

Keterangan :

S_g = 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.

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.

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, untuk gambar pons bekerja satu arah dilihat pada Gambar 2.19. Apabila hanya geser dan lentur yang bekerja, maka kekuatan yang disumbangkan beton adalah:

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

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

$$\frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f'c \cdot b_0 \cdot d} \quad (2.28)$$

Keterangan :

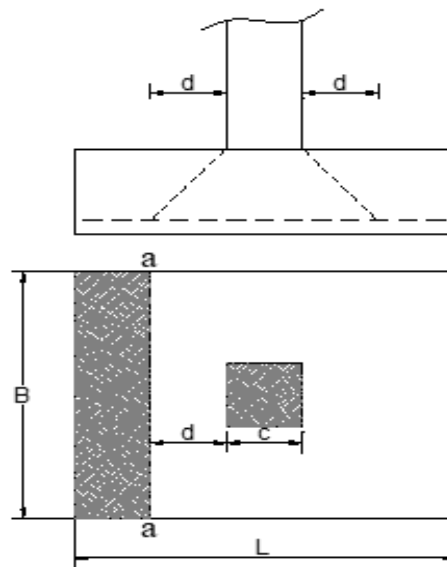
V_u = gaya geser sejarak d dari muko kolom

V_c = geser beton

B_0 = keliling penampang kritis pons yaitu $4(c + d)$

d = tinggi efektif

ϕ = 0,6 (faktor reduksi untuk geser)



Gambar 2. 35 Geser Satu Arah

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_0 dimana penampang kritis terjadi sejarak $1/2 d$ dari muka tumpuan, untuk gambar pons bekerja dua arah dilihat pada Gambar 2.20. Kontrol geser dua geser dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \frac{\sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d}{6} \quad (2.29)$$

$$V_c = \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_0}\right) \frac{\sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d}{12} \quad (2.30)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d \quad (2.31)$$

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 :

$$\frac{V_u}{\phi} = V_n \leq V_c + V_s \leq 4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot c \cdot b_w \cdot D \quad (2.32)$$

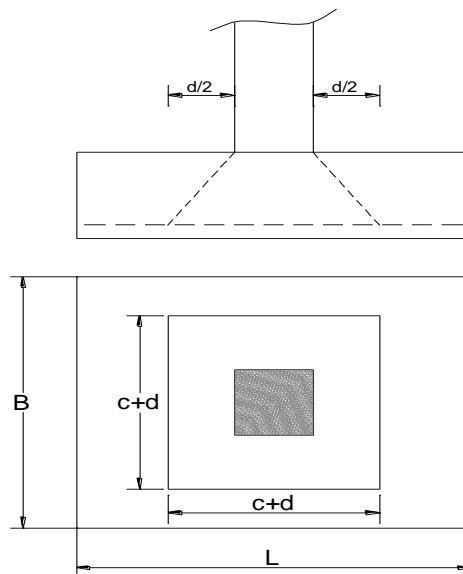
$$V_u = \frac{P_u}{A} (h_o^2 - b_o^2) \quad (2.33)$$

Keterangan :

V_s = kuat geser tulangan geser

P_u = beban terfaktor pada kolom

A = luas pondasi ($B \times L$)



Gambar 2. 36 Geser Dua Arah

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 :

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

Keterangan :

f_c = mutu beton yang digunakan untuk *pile cap*

b_o = panjang area geser pons

d = tebal *pile cap*

ϕ = reaksi tiang pancang berfaktor maksimum

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'

$$B' = \frac{\text{lebar } pile \text{ cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2} \quad (2.35)$$

Keterangan :

B' = lebar penampang kritis (mm)

b. Berat pile cap pada penampang kritis (mm)

q' = 2400 kg/cm³. Lebar *pile cap*. Tebal *pile cap*

$$M_u = 2 \left(\frac{P_u}{4} \right) (\text{lebar kolom}) - \frac{1}{2} \times q' \times B^2 \quad (2.36)$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) \quad (2.37)$$

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad (2.38)$$

Keterangan :

q' = berat *pile cap* pada 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 tuangan bagian atas bisa diberikan 20% dari tulangan utama.

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

$$K_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad (2.39)$$

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)

$$= h - d' - \emptyset \text{ tulangan}$$

d. Rasio tulangan yang dapat diperoleh dengan,

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(\frac{1 - \sqrt{1 - (2 \times m \times R_n)}}{f_y} \right) \quad (2.40)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,0018 \times 420}{420} \quad (2.41)$$

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

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

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.42)$$

Keterangan :

A_s = luas tulangan (mm^2)

ρ = rasio tulangan

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

$$A_{s_{\text{aktual}}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.43)$$

$$N = \frac{A_s}{A_{s_{\text{aktual}}}} \quad (2.44)$$

$$S = \frac{A_s}{A_{s_{\text{aktual}} \cdot N}} \times 1000 \quad (2.45)$$

Keterangan :

N = jumlah tulangan

S = jarak tulangan (mm)

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

Tabel 2. 5 Berat sendiri bangunan

No	Material	Berat	Keterangan
1	Baja	7850 kg/m ³	
2	Batu alam	2600 kg/m ³	
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung	500 kg/m ³	berat tumpuk
4	Batu karang	700 kg/m ³	berat tumpuk
5	Batu pecah	1450 kg/m ³	
6	Besi 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 1
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	11400 kg/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	
4	Dinding pasangan batako : berlubang : tebal dinding 20 cm (HB 20) tebal dinding 10 cm (HB 10)	200 kg/m ² 120 kg/m ²	
	tanpa lubang : tebal dinding 15 cm tebal dinding 10 cm	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	

Tabel 2. 7 Beban hidup pada lanate gedung

No	Material	Beban	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 took, pabrik, bengkel	125 Kg/m ²	
3	Sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit	250 Kg/m ²	
4	Ruang olahraga	400 Kg/m ²	
5	Ruang dansa	500 Kg/m ²	
6	Lantai dan balkon ruangan pertemuan	400 Kg/m ²	mesjid, 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, toko 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	300 Kg/m ²	minimum