

BAB 2

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Pondasi

Pondasi adalah struktur yang digunakan untuk menumpu kolom dan dinding dan memindahkan beban ke lapisan tanah. Beton bertulang adalah material yang paling cocok sebagai pondasi untuk baik struktur beton bertulang maupun bangunan baja, jembatan, menara, dan struktur lainnya.

Beban dari kolom yang bekerja pada pondasi ini harus disebar ke permukaan tanah yang cukup luas sehingga tanah dapat memikul beban dengan aman. Jika tegangan tekan melebihi tekanan yang diizinkan, maka dapat menggunakan bantuan tiang pancang untuk membantu memikul tegangan tekan pada dinding dan kolom pada struktur.

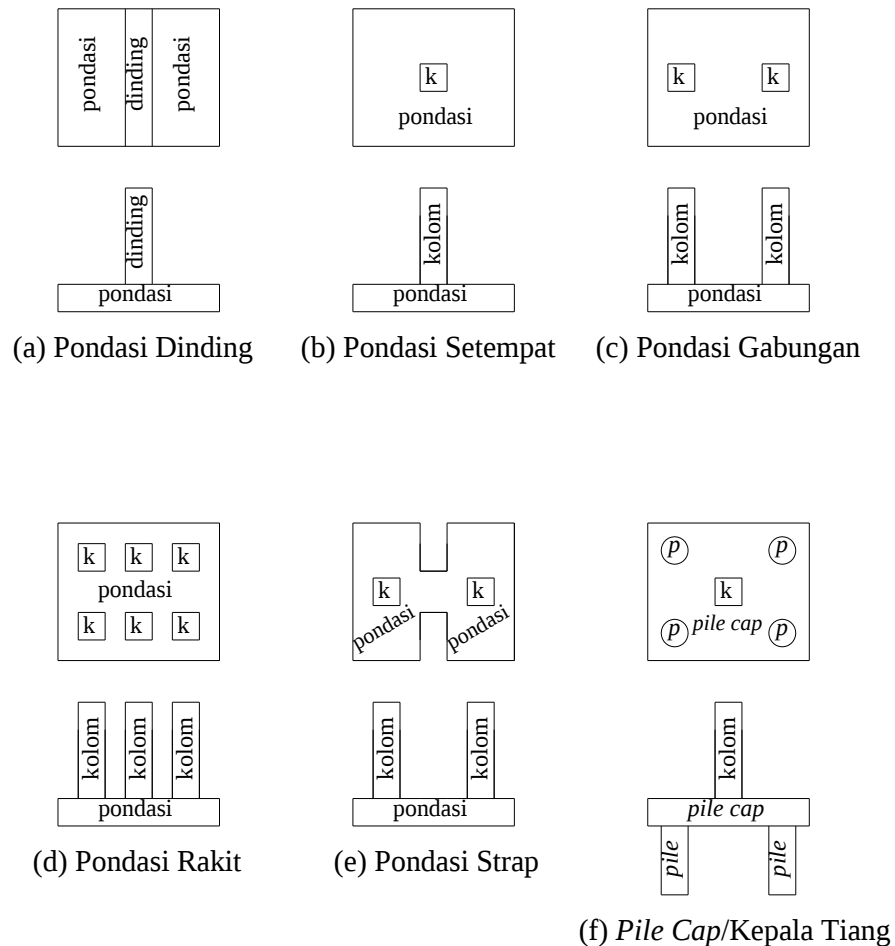
Diantara beberapa tipe pondasi beton bertulang yang biasa digunakan adalah jenis pondasi dinding, pondasi kolom tunggal atau pondasi setempat, pondasi gabungan, pondasi rakit atau mat atau terapung, pondasi strap, dan kepala tiang/*pile cap*.

- a. Pondasi dinding [Gambar 2.1(a)] secara sederhana adalah pelebaran dasar dinding sehingga cukup untuk mendistribusi beban ke dasar tanah. Pondasi dinding biasanya digunakan, khususnya pada sekeliling gedung dan kadang-kadang pada beberapa dinding bagian dalam.
- b. Pondasi kolom tunggal atau pondasi setempat [Gambar 2.1(b)] digunakan untuk memikul beban dari suatu kolom tunggal. Pondasi jenis ini paling

sering digunakan, khususnya untuk beban yang relatif ringan dan kolom-kolomnya tidak terlalu berdekatan.

- c. Pondasi gabungan [Gambar 2.1(c)] digunakan untuk memikul beban dua kolom atau lebih. Pondasi gabungan akan lebih ekonomis jika dua kolom atau lebih mendapat beban yang berat dan karena jarak kolom yang berdekatan, jika direncanakan sebagai pondasi setempat maka pondasi tersebut akan saling tumpang tindih. Pondasi setempat biasanya berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang dan jika digunakan sebagai kolom pada garis batas kepemilikan, akan melewati garis tersebut. Suatu pondasi untuk kolom seperti ini yang digabungkan dengan satu kolom interior akan dapat direncanakan supaya tetap berada di dalam garis batas kepemilikan.
- d. Pondasi rakit atau mat atau terapung [Gambar 2.1(d)] adalah suatu pelat beton bertulang menerus di atas tanah yang cukup luas untuk memikul banyak kolom dan dinding. Pondasi jenis ini digunakan pada tanah dengan kekuatan rendah atau jika beban kolom besar tetapi tidak digunakan pondasi tiang. Untuk kasus ini, pondasi setempat akan menjadi sangat besar sehingga akan lebih ekonomis untuk menggunakan pondasi rakit atau mat untuk seluruh luas tanah.
- e. Pondasi strap [Gambar 2.1(e)] hampir mirip dengan pondasi gabungan, perbedaannya adalah pondasi ini berdiri sendiri untuk kolom satu dengan kolom yang lain. Pondasi-pondasi ini digabung dengan balok strap yang berfungsi untuk meneruskan gaya momen lentur dari beban dinding.
- f. Kepala tiang/*pile cap* [Gambar 2.1(f)] adalah pelat beton bertulang yang digunakan untuk menyebarkan beban kolom ke tiang pancang. *Pile cap* harus

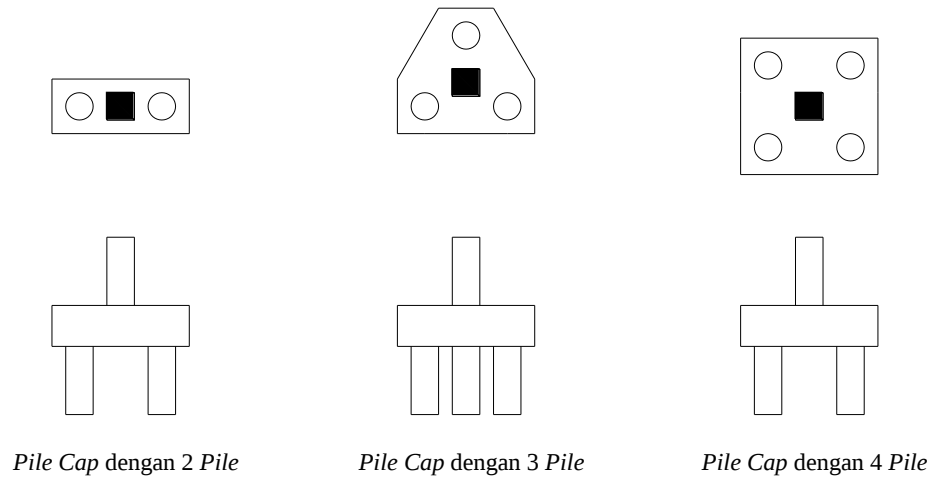
memiliki dimensi dan tebal yang tepat agar tidak mengalami kegagalan geser satu arah maupun geser dua arah. Selain itu penulangan *pile cap* harus sesuai dengan momen lentur yang terjadi.



Gambar 2.1 Tipe-tipe Pondasi

2.2 Perencanaan *Pile Cap*

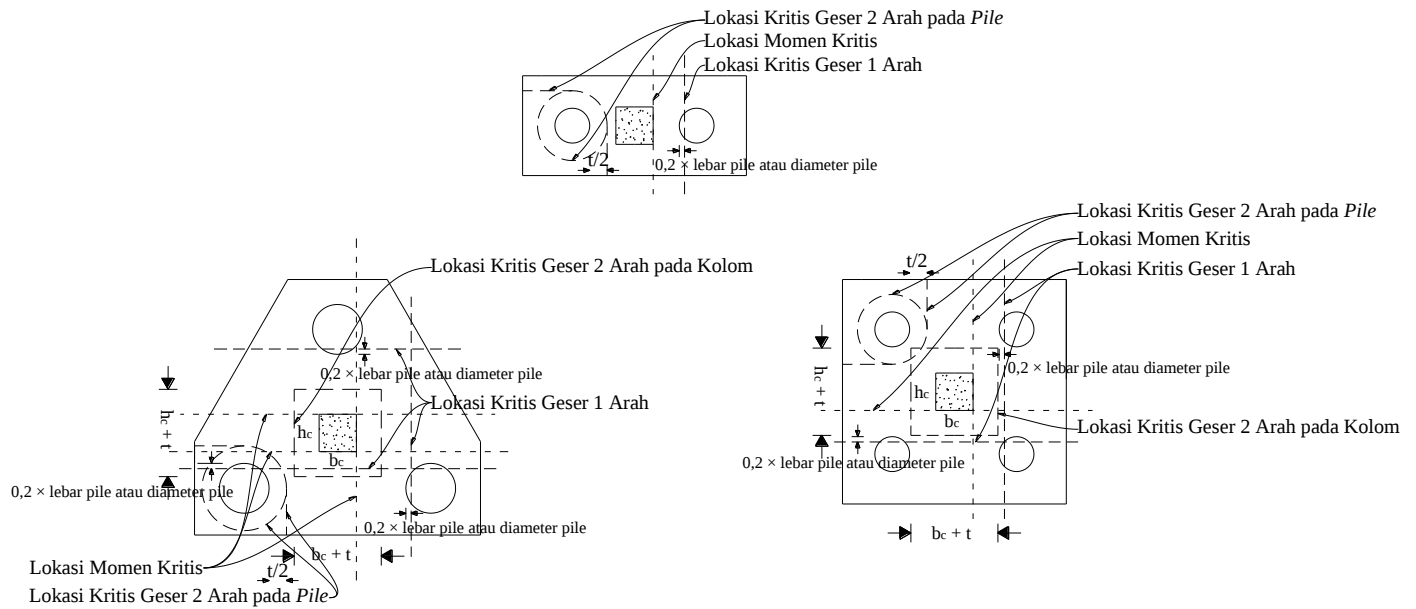
Pada penelitian ini, jenis *pile cap* yang akan dibahas adalah *pile cap* dengan dua *pile*, *pile cap* dengan tiga *pile*, dan *pile cap* dengan empat *pile*.



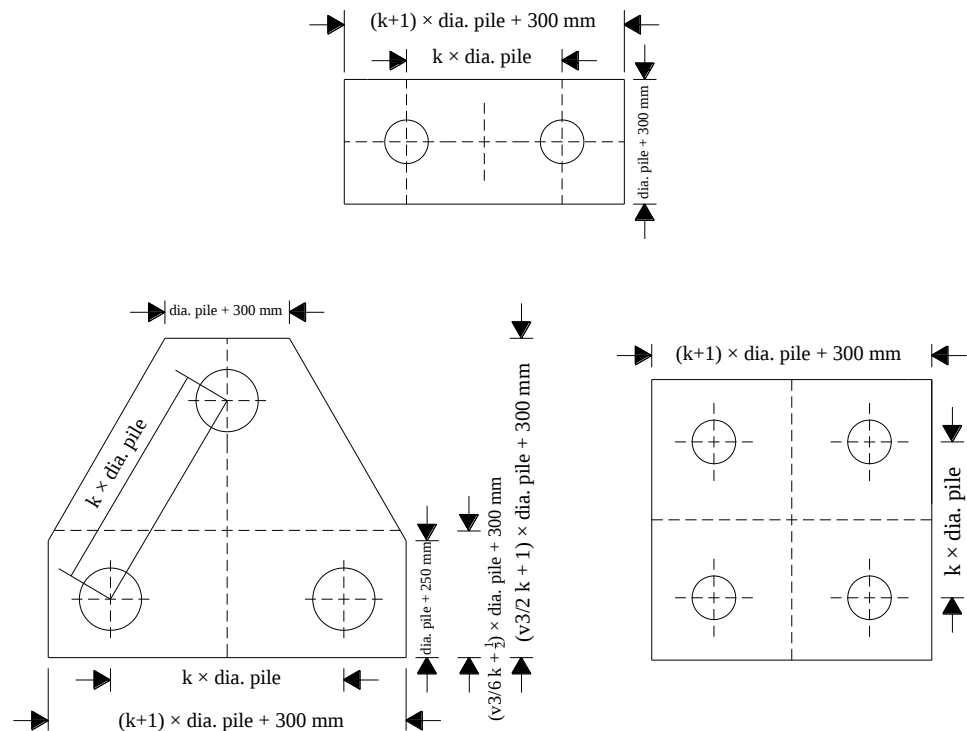
Gambar 2.2 *Pile Cap*

Hal-hal yang harus di hitung dalam perencanaan *pile cap* adalah sebagai berikut.

- Dimensi *pile cap*
- Kuat geser satu arah *pile cap*
- Kuat geser dua arah *pile cap* pada kolom
- Kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile*
- Momen lentur *pile cap*



Gambar 2.3 Penampang Kritis untuk Perhitungan Gaya Geser dan Momen Lentur



Gambar 2.4 Dimensi Pile Cap (Sumber : *Pile Design and Construction*

Practice (Fourth Edition), M.J. Tomlinson, 1994

2.2.1 Perencanaan *Pile Cap* dengan Dua *Pile*

a. Dimensi *pile cap*

Perhitungan panjang *pile cap* untuk *pile cap* dengan dua *pile* (berdasarkan Sumber : *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition), M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) adalah sebagai berikut :

$$\ell_w = (k+1) \times D + 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

ℓ_w = panjang *pile cap* (mm)

D = diameter *pile* (mm)

k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)

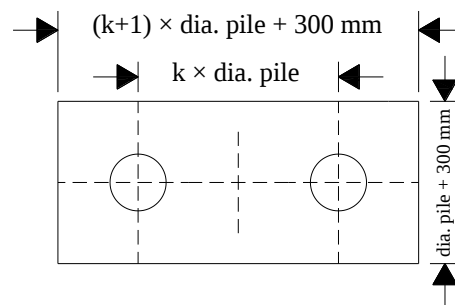
Perhitungan lebar *pile cap* untuk *pile cap* dengan dua *pile* (berdasarkan Sumber : *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition), M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) adalah sebagai berikut :

$$b_w = D + 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

b_w = lebar *pile cap* (mm)

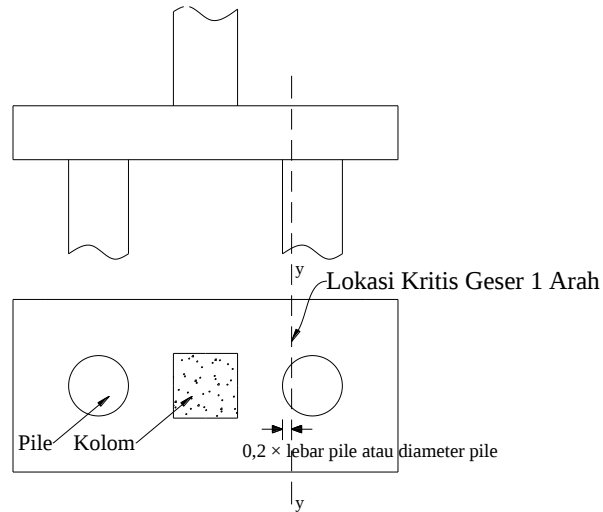
D = diameter *pile* (mm)



Gambar 2.5 *Pile Cap* dengan Dua *Pile*

b. Kuat geser satu arah *pile cap*

Kuat geser satu arah adalah kuat geser nominal secara satu arah yang disumbangkan oleh beton (V_{c1}).



Gambar 2.6 Lokasi Kritis Geser Satu Arah

Perhitungan kuat geser satu arah berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 89 ketentuan bab 13.3(1(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c1} = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w t \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

V_{c1} = kuat geser nominal beton secara satu arah (N)

f_c' = mutu beton (MPa)

b_w = lebar pile cap (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

Nilai kuat geser satu arah yang diijinkan (ϕV_{c1}) harus lebih besar dari gaya geser satu arah ultimit (V_{u1}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser satu arah ($\phi V_{c1} \geq V_{u1}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI

03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3)))]. Gaya geser satu arah ultimit adalah besarnya gaya geser satu arah yang dihasilkan dari daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser satu arah ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u1} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

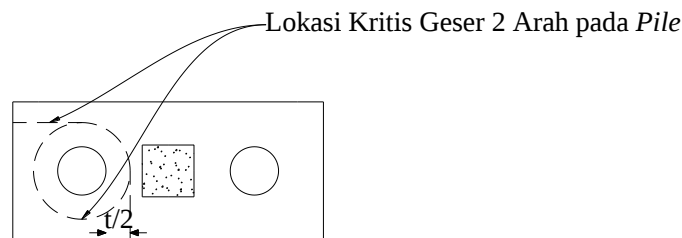
V_{u1} = gaya geser satu arah ultimit (N)

$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser satu arah

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u1} > \phi V_{c1}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

c. Kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile*



Gambar 2.7 Lokasi Kritis Geser Dua Arah pada *Pile*

Perhitungan kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile* berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 89 ketentuan bab 13.3(1(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c3} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w t \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

V_{c3} = kuat geser nominal beton secara dua arah pada *pile* (N)

f'_c = mutu beton (MPa)

b_w = panjang area kritis geser dua arah (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

Nilai kuat geser dua arah pada *pile* yang diijinkan (ϕV_{c3}) harus lebih besar dari gaya geser dua arah pada *pile* ultimit (V_{u3}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser dua arah ($\phi V_{c3} \geq V_{u3}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]). Gaya geser dua arah pada *pile* ultimit adalah besarnya gaya geser dua arah yang dihasilkan dari daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser dua arah pada *pile* ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u3} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

V_{u3} = gaya geser dua arah ultimit pada *pile* (N)

$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser dua arah pada *pile*

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u3} > \phi V_{c3}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

d. Momen lentur *pile cap*

Momen lentur *pile cap* adalah momen lentur yang dihasilkan dari besarnya beban yang dipikul dikalikan dengan jarak tegak lurus dari tengah *pile* menuju titik kritis akibat pembebanan (dalam hal ini adalah titik di muka kolom). Besarnya beban yang dipikul adalah jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur dikalikan dengan daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan besarnya beban total yang dipikul *pile cap* adalah sebagai berikut :

$$P_u = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.7)$$

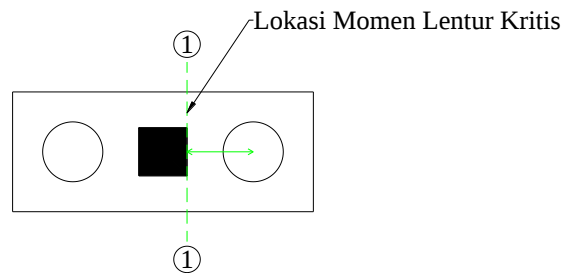
dengan :

P_u = beban ultimit (N)

$\sum pile'$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Pada *pile cap* dengan dua *pile*, kemungkinan lentur kritis (kemungkinan momen lentur terbesar) yang akan terjadi seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.8 Lokasi Momen Lentur Kritis *Pile Cap* dengan Dua *Pile*

Berikut merupakan cara perhitungan untuk masing-masing momen lentur :

$$M_{u1} = P_{u1} \left(\frac{kD}{2} - \frac{b_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

M_{u1} = momen lentur kritis (Nmm)

P_{u1} = beban ultimit (N)

k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)

D = diameter *pile* (mm)

b_c = lebar kolom (mm)

h_c = tinggi kolom (mm)

Untuk penulangan *pile cap* dengan dua *pile* arah y cukup menggunakan rasio distribusi tulangan minimum karena momen yang terjadi sangat kecil. Untuk kasus ini, tulangan untuk M_{u1} atau M_{ux} diletakkan dibagian bawah.

e. Tebal *pile cap*

Perhitungan tebal *pile cap* adalah sebagai berikut.

$$H = t + d_s + \frac{1}{2}\phi \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

H = tebal *pile cap* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

d_s = selimut beton (selimut beton yang digunakan = 75 mm
[berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 41 ketentuan bab
9.7(1)])

ϕ = diameter tulangan (mm)

2.2.2 Perencanaan *Pile Cap* dengan Tiga *Pile*

a. Dimensi *pile cap*

Perhitungan panjang *pile cap* untuk *pile cap* dengan tiga *pile* (berdasarkan Sumber : *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition), M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) adalah sebagai berikut :

$$\ell_w = (k+1) \times D + 300mm \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan :

ℓ_w = panjang *pile cap* (mm)

D = diameter *pile* (mm)

k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)

Perhitungan lebar *pile cap* untuk *pile cap* dengan tiga *pile* (berdasarkan Sumber : *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition), M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) adalah sebagai berikut :

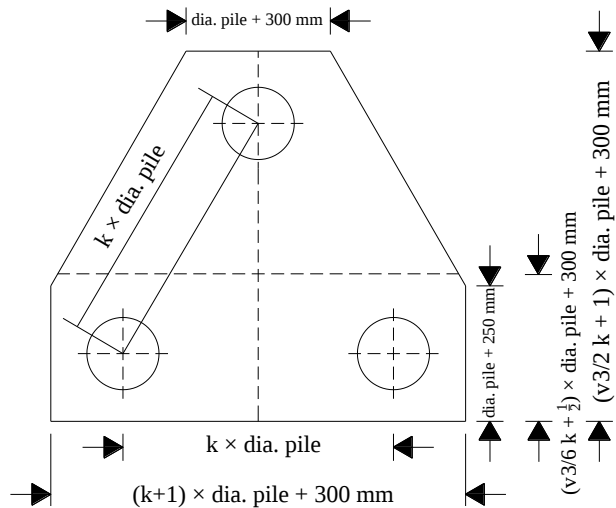
$$b_w = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} k + 1 \right) \times D + 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

b_w = lebar *pile cap* (mm)

D = diameter *pile* (mm)

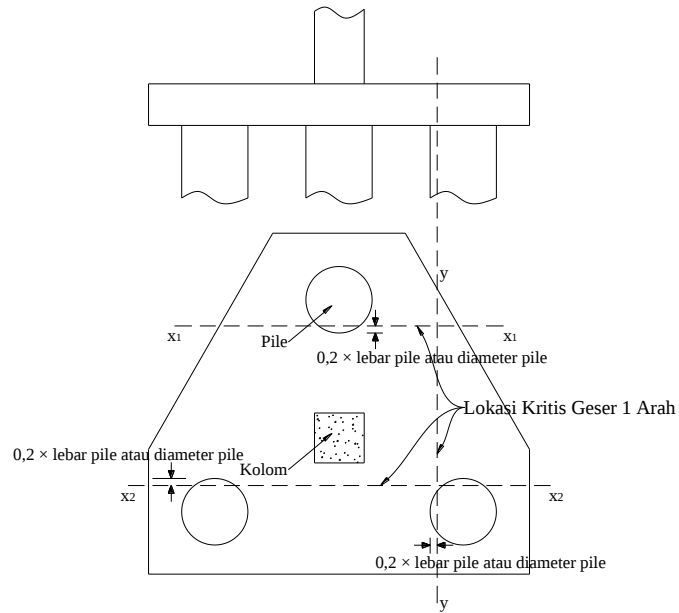
k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)



Gambar 2.9 *Pile Cap* dengan Tiga *Pile*

b. Kuat geser satu arah *pile cap*

Kuat geser satu arah adalah kuat geser nominal secara satu arah yang disumbangkan oleh beton (V_{c1}).



Gambar 2.10 Lokasi Kritis Geser Satu Arah

Perhitungan kuat geser satu arah berdasarkan SNI 03-2847-2002

halaman 89 ketentuan bab 13.3(1(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c1} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \ell_w t \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan :

V_{c1} = kuat geser nominal beton secara satu arah (N)

f'_c = mutu beton (MPa)

ℓ_w = panjang *pile cap* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

Nilai kuat geser satu arah yang diijinkan (ϕV_{c1}) harus lebih besar dari gaya geser satu arah ultimit (V_{u1}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser satu arah ($\phi V_{c1} \geq V_{u1}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]). Gaya geser satu arah ultimit adalah besarnya gaya geser satu arah yang dihasilkan dari daya

dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser satu arah ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u1} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan :

V_{u1} = gaya geser satu arah ultimit (N)

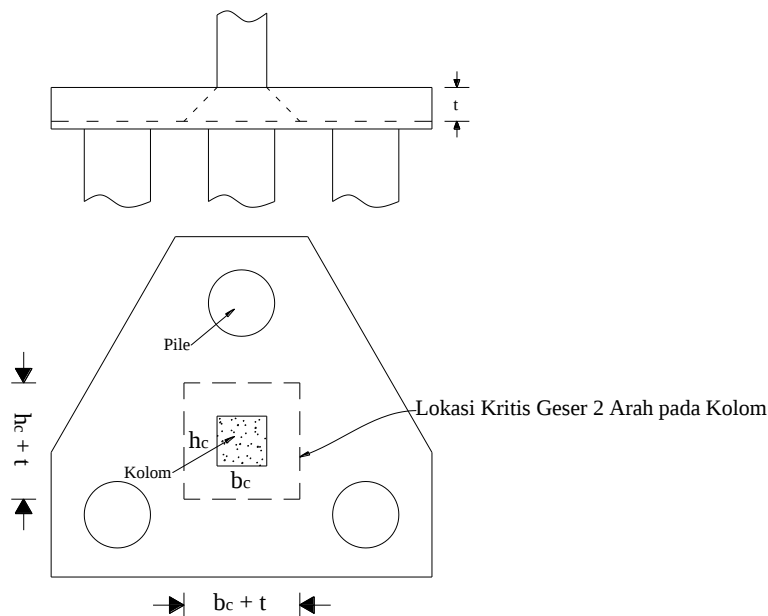
$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser satu arah

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u1} > \phi V_{c1}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

c. Kuat geser dua arah *pile cap* pada kolom

Kuat geser dua arah adalah kuat geser nominal secara dua arah yang disumbangkan oleh beton (V_{c2}).



Gambar 2.11 Lokasi Kritis Geser Dua Arah pada Kolom

Nilai kuat geser dua arah *pile cap* pada kolom adalah nilai terkecil yang didapat berdasarkan rumus dari SNI 03-2847-2002 halaman 109-110 ketentuan bab 13.12(2(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c2}^1 = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o t}{6} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$V_{c2}^2 = \left(\frac{\alpha_s t}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o t}{12} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$V_{c2}^3 = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_o t \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan :

V_{c2} = kuat geser nominal beton secara dua arah pada kolom (N)

f_c' = mutu beton (MPa)

b_o = keliling dari sisi kritis *pile cap* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

α_s = 40 untuk kolom dalam, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut

Nilai kuat geser dua arah pada kolom yang diijinkan (ϕV_{c2}) harus lebih besar dari gaya geser dua arah pada kolom ultimit (V_{u2}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser dua arah ($\phi V_{c2} \geq V_{u2}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]). Gaya geser dua arah ultimit adalah besarnya gaya geser dua arah yang dihasilkan dari daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser dua arah pada kolom ultimit adalah sebagai berikut:

$$V_{u2} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan :

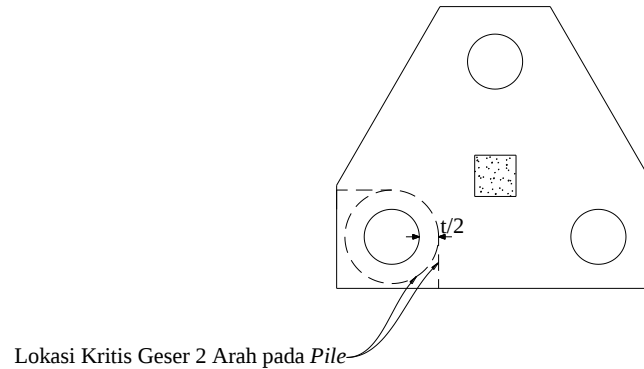
V_{u2} = gaya geser dua arah ultimit pada kolom (N)

$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser dua arah pada kolom

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u2} > \phi V_{c2}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

d. Kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile*



Gambar 2.12 Lokasi Kritis Geser Dua Arah pada *Pile*

Perhitungan kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile* berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 89 ketentuan bab 13.3(1(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c3} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w t \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan :

V_{c3} = kuat geser nominal beton secara dua arah pada *pile* (N)

f'_c = mutu beton (MPa)

b_w = panjang area kritis geser dua arah pada *pile* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

Nilai kuat geser dua arah pada *pile* yang diijinkan (ϕV_{c3}) harus lebih besar dari gaya geser dua arah pada *pile* ultimit (V_{u3}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser dua arah ($\phi V_{c3} \geq V_{u3}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]).

Gaya geser dua arah pada *pile* ultimit adalah besarnya gaya geser dua arah yang dihasilkan dari daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser dua arah pada *pile* ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u3} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan :

V_{u3} = gaya geser dua arah ultimit pada *pile* (N)

$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser dua arah pada *pile*

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u3} > \phi V_{c3}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

e. Momen lentur *pile cap*

Momen lentur *pile cap* adalah momen lentur yang dihasilkan dari besarnya beban yang dipikul dikalikan dengan jarak tegak lurus dari tengah *pile* menuju titik kritis akibat pembebanan (dalam hal ini adalah titik di muka kolom). Besarnya beban yang dipikul adalah jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur dikalikan dengan daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan besarnya beban total yang dipikul *pile cap* adalah sebagai berikut :

$$P_u = \sum pile' \times Q_u \dots\dots\dots (2.20)$$

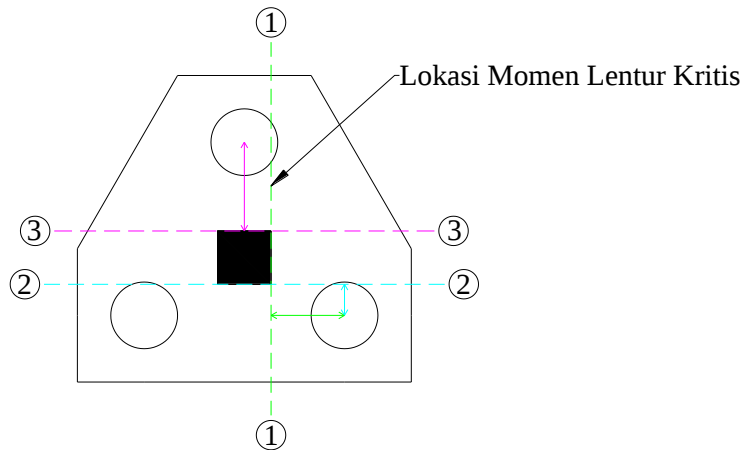
dengan :

P_u = beban ultimit (N)

$\sum pile'$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Pada *pile cap* dengan tiga *pile*, kemungkinan lentur kritis (kemungkinan momen lentur terbesar) yang akan terjadi seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.13 Lokasi Momen Lentur Kritis *Pile Cap* dengan Tiga *Pile*

Berikut merupakan cara perhitungan untuk masing-masing momen lentur :

$$M_{u1} = P_{u1} \left(\frac{kD}{2} - \frac{b_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.21)$$

$$M_{u2} = P_{u2} \left(\frac{\sqrt{3}kD}{6} - \frac{h_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

$$M_{u3} = P_{u3} \left(\frac{1}{3} \sqrt{3}kD - \frac{h_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan :

M_{u1} = momen lentur kritis pertama (Nmm)

M_{u2} = momen lentur kritis kedua (Nmm)

M_{u3} = momen lentur kritis ketiga (Nmm)

$P_{u1,2,3}$ = beban ultimit (N)

k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)

D = diameter *pile* (mm)

b_c = lebar kolom (mm)

h_c = tinggi kolom (mm)

Arah tulangan pada M_{u2} dan M_{u3} adalah sama. Nilai M_{ux} adalah nilai M_{u1} . Nilai M_{uy} adalah nilai yang terbesar antara M_{u2} dan M_{u3} . Untuk M_u yang lebih besar, maka penulangan diletakkan dibagian bawah.

f. Tebal *pile cap*

Perhitungan tebal *pile cap* adalah sebagai berikut.

$$H = t + d_s + \frac{1}{2}\phi \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan :

H = tebal *pile cap* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

d_s = selimut beton (selimut beton yang digunakan = 75 mm
[berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 41 ketentuan bab
9.7(1)])

ϕ = diameter tulangan (mm)

2.2.3 Perencanaan *Pile Cap* dengan Empat *Pile*

a. Dimensi *pile cap*

Perhitungan panjang *pile cap* untuk *pile cap* dengan empat *pile* (berdasarkan Sumber : *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition), M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) adalah sebagai berikut :

$$\ell_w = (k+1) \times D + 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan :

ℓ_w = panjang *pile cap* (mm)

D = diameter *pile* (mm)

k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)

Perhitungan lebar *pile cap* untuk *pile cap* dengan empat *pile* (berdasarkan Sumber : *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition), M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) adalah sebagai berikut :

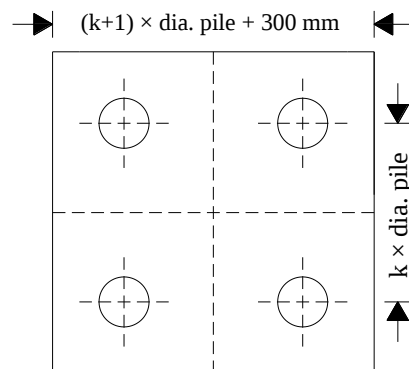
$$b_w = (k+1) \times D + 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan:

b_w = lebar *pile cap* (mm)

D = diameter *pile* (mm)

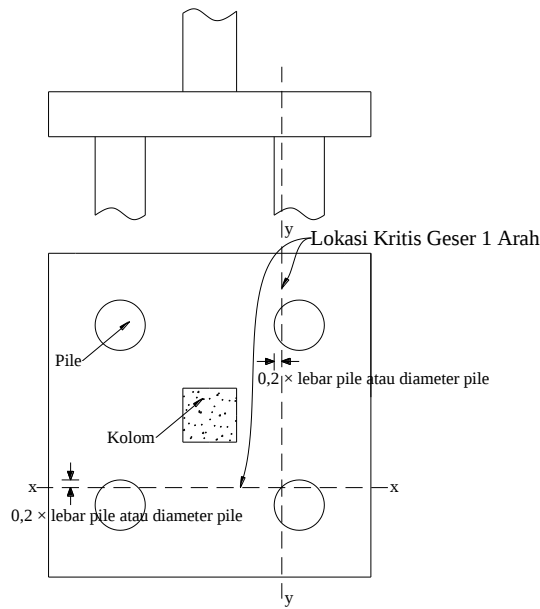
k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)



Gambar 2.14 *Pile Cap* dengan Empat *Pile*

b. Kuat geser satu arah *pile cap*

Kuat geser satu arah adalah kuat geser nominal secara satu arah yang disumbangkan oleh beton (V_{c1}).



Gambar 2.15 Lokasi Kritis Geser Satu Arah

Perhitungan kuat geser satu arah berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 89 ketentuan bab 13.3(1(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c1} = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w d \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan :

V_{c1} = kuat geser nominal beton secara satu arah (N)

f_c' = mutu beton (MPa)

b_w = lebar *pile cap* (mm)

d = tebal efektif *pile cap* (mm)

Nilai kuat geser satu arah yang diijinkan (ϕV_{c1}) harus lebih besar dari gaya geser satu arah ultimit (V_{u1}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser satu arah ($\phi V_{c1} \geq V_{u1}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]). Gaya geser satu arah ultimit adalah besarnya gaya geser satu arah yang dihasilkan dari daya

dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser satu arah ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u1} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.28)$$

dengan :

V_{u1} = gaya geser satu arah ultimit (N)

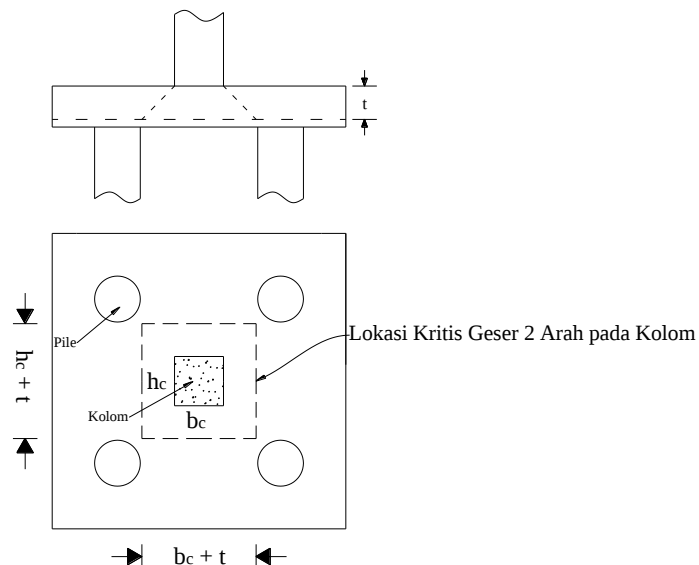
$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser satu arah

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u1} > \phi V_{c1}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

c. Kuat geser dua arah *pile cap* pada kolom

Kuat geser dua arah adalah kuat geser nominal secara dua arah yang disumbangkan oleh beton (V_{c2}).



Gambar 2.16 Lokasi Kritis Geser Dua Arah pada Kolom

Nilai kuat geser dua arah *pile cap* pada kolom adalah nilai terkecil yang didapat berdasarkan rumus dari SNI 03-2847-2002 halaman 109-110 ketentuan bab 13.12(2(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c2}^1 = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o t}{6} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$V_{c2}^2 = \left(\frac{\alpha_s t}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o t}{12} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$V_{c2}^3 = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_o t \dots\dots\dots (2.31)$$

dengan :

V_{c2} = kuat geser nominal beton secara dua arah pada kolom (N)

f_c' = mutu beton (MPa)

b_o = keliling dari sisi kritis *pile cap* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

α_s = 40 untuk kolom dalam, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut

Nilai kuat geser dua arah pada kolom yang diijinkan (ϕV_{c2}) harus lebih besar dari gaya geser dua arah pada kolom ultimit (V_{u2}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser dua arah ($\phi V_{c2} \geq V_{u2}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]). Gaya geser dua arah pada kolom ultimit adalah besarnya gaya geser dua arah pada kolom yang dihasilkan dari daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser dua arah pada kolom ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u2} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.32)$$

dengan :

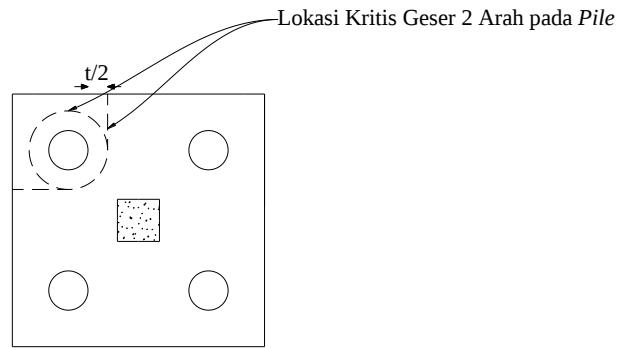
V_{u2} = gaya geser dua arah ultimit pada kolom (N)

$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser dua arah pada kolom

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u2} > \phi V_{c2}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

d. Kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile*



Gambar 2.17 Lokasi Kritis Geser Dua Arah pada *Pile*

Perhitungan kuat geser dua arah *pile cap* pada *pile* berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 89 ketentuan bab 13.3(1(1)) adalah sebagai berikut :

$$V_{c3} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w t \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan :

V_{c3} = kuat geser nominal beton secara dua arah pada *pile* (N)

f'_c = mutu beton (MPa)

b_w = panjang area kritis *single pile punching* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

Nilai kuat geser dua arah pada *pile* yang diijinkan (ϕV_{c3}) harus lebih besar dari gaya geser dua arah pada *pile* ultimit (V_{u3}) agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan geser dua arah ($\phi V_{c3} \geq V_{u3}$; ϕ untuk geser sebesar 0,75 [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 61 ketentuan bab 11.3(2(3))]).

Gaya geser dua arah pada *pile* ultimit adalah besarnya gaya geser dua arah yang dihasilkan dari daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan gaya geser dua arah pada *pile* ultimit adalah sebagai berikut :

$$V_{u3} = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan :

V_{u3} = gaya geser dua arah ultimit pada *pile* (N)

$\sum pile$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area geser dua arah pada *pile*

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Jika $V_{u3} > \phi V_{c3}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah.

e. Momen lentur *pile cap*

Momen lentur *pile cap* adalah momen lentur yang dihasilkan dari besarnya beban yang dipikul dikalikan dengan jarak tegak lurus dari tengah *pile* menuju titik kritis akibat pembebanan (dalam hal ini adalah titik di muka kolom). Besarnya beban yang dipikul adalah jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur dikalikan dengan daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan besarnya beban total yang dipikul *pile cap* adalah sebagai berikut :

$$P_u = \sum pile' \times Q_u \dots\dots\dots (2.35)$$

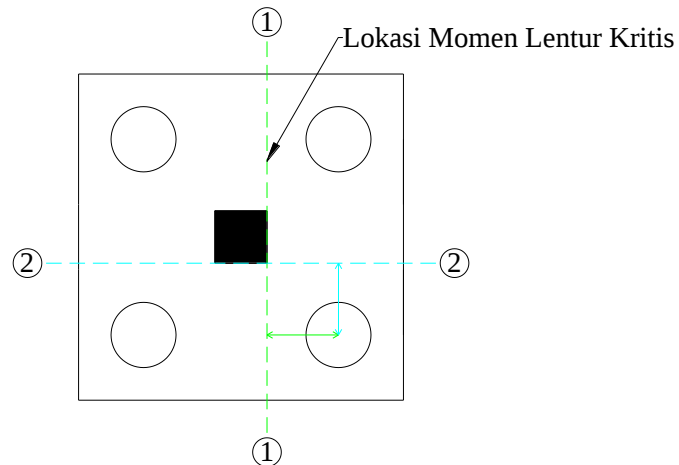
dengan :

P_u = beban ultimit (N)

$\sum pile'$ = jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur

Q_u = daya dukung ultimit 1 *pile* (N)

Pada *pile cap* dengan empat *pile*, kemungkinan lentur kritis (kemungkinan momen lentur terbesar) yang akan terjadi seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.18 Lokasi Momen Lentur Kritis *Pile Cap* dengan Empat *Pile*

Berikut merupakan cara perhitungan untuk masing-masing momen lentur :

$$M_{u1} = P_{u1} \left(\frac{kD}{2} - \frac{b_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.36)$$

$$M_{u2} = P_{u2} \left(\frac{kD}{2} - \frac{h_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan :

M_{u1} = momen lentur kritis pertama (Nmm)

M_{u2} = momen lentur kritis kedua (Nmm)

$P_{u1,2}$ = beban ultimit (N)

k = variabel jarak *pile cap* (2 – 3)

D = diameter *pile* (mm)

b_c = lebar kolom (mm)

h_c = tinggi kolom (mm)

Nilai M_{ux} adalah nilai dari M_{u1} . Nilai M_{uy} adalah nilai dari M_{u2} . Untuk M_u yang lebih besar, maka penulangan diletakkan dibagian bawah.

f. Tebal *pile cap*

Perhitungan tebal *pile cap* adalah sebagai berikut.

$$H = t + d_s + \frac{1}{2}\phi \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan :

H = tebal *pile cap* (mm)

t = tebal efektif *pile cap* (mm)

d_s = selimut beton (selimut beton yang digunakan = 75 mm
[berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 41 ketentuan bab
9.7(1)])

ϕ = diameter tulangan (mm)

2.3 Perhitungan Penulangan *Pile Cap*

2.3.1 Rasio Distribusi Tulangan

Setelah didapat nilai M_u , maka langkah selanjutnya adalah mencari rasio distribusi tulangan (ρ), rasio distribusi tulangan minimum (ρ_{min}), dan rasio distribusi tulangan maksimum (ρ_{max}). Rasio distribusi tulangan haruslah memenuhi syaratnya, dimana $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$. Jika $\rho_{min} > \rho$, maka rasio distribusi tulangan yang digunakan dalam perhitungan adalah ρ_{min} . Jika $\rho > \rho_{max}$, maka tebal *pile cap* harus ditambah sampai $\rho < \rho_{max}$. Berikut adalah cara perhitungan ρ , ρ_{min} , dan ρ_{max} .

$$\rho = \frac{0,85 f_c' \left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_u}{0,34 b t^2 f_c'}} \right)}{f_y} \dots\dots\dots (2.39)$$

SNI 03-2847-2002 halaman 54 dan halaman 70 ketentuan bab 12.3(3).

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left[0,85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \right] \dots\dots\dots (2.40)$$

SNI 03-2847-2002 halaman 48 ketentuan bab 9.12(2(1)) dan halaman 72 ketentuan bab 12.5(3).

$$f_y < 300 \rightarrow \rho_{\min} = 0,002 \dots\dots\dots (2.41)$$

$$300 \leq f_y \leq 400 \rightarrow \rho_{\min} = 0,0018 \dots\dots\dots (2.42)$$

$$f_y > 400 \rightarrow \rho_{\min} = \frac{400(0,0018)}{f_y} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\rho_{\min} = \frac{4}{3} \rho \dots\dots\dots (2.44)$$

dengan :

- ρ = rasio distribusi tulangan
- f_c' = mutu beton (MPa)
- f_y = mutu baja (MPa)
- M_u = momen lentur kritis (Nmm)
- b = lebar/panjang pile cap (mm)
- t = tebal efektif pile cap (mm)
- $\rho_{\max}$ = rasio distribusi tulangan maksimum
- $\rho_{\min}$ = rasio distribusi tulangan minimum
- $f_c' \leq 30 \rightarrow \beta_1 = 0,85$

$$f'_c > 30 \rightarrow \beta_1 = 0,85 - (0,008(f'_c - 30))$$

* β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Jika dari hasil perhitungan didapat $\beta_1 < 0,65$ maka $\beta_1 = 0,65$.

Nilai ρ_{min} diambil yang terbesar dari persamaan 2.43 dan persamaan 2.40 atau 2.41 atau 2.42.

2.3.2 Luas Penampang Tulangan

Untuk perhitungan luas penampang tulangan tarik (tulangan bagian bawah), digunakan rumus sebagai berikut :

$$A_s = \rho \times A_c \dots\dots\dots (2.45)$$

dengan :

A_s = luas penampang tulangan yang dibutuhkan (mm^2)

ρ = rasio distribusi tulangan

A_c = luas penampang *pile cap* (mm^2)

Untuk luas penampang tulangan tekan (tulangan bagian atas), perhitungan berdasarkan dari penelitian yang pernah dilakukan yaitu ("Kajian Luas Tulangan Tekan Pada Penampang Beton Dengan Tulangan Tunggal dan Tulangan Rangkap"; Sudarmanto, Maret 2009).

Sumber ini mengacu pada teori Wiratman (1971) dan Anonim (1977) dimana dikatakan bahwa besarnya tulangan tekan dapat ditetapkan secara langsung melalui tabel lenturnya, yaitu dengan menetapkan rasio tulangan tekan terhadap tarik, $\delta = 0,2; 0,4; 0,6$ dan seterusnya. Bila rasio tulangan tarik maksimum tulangan tunggal sudah mencukupi, besarnya tulangan tekan dapat

diambil sembarang, misalnya 0,2 kali tulangan tariknya. Konsep ini menempatkan tulangan tekan sekecil apapun dan tulangan tarik sebagai pasangan kopelnya dapat meningkatkan kapasitas lentur pada penampang beton.

Dari sumber ini, didapat hasil bahwa pada mutu baja, $f_y = 240$ MPa, mutu beton, $f_c' = 20-35$ MPa, $\delta = 0,2; 0,4$, dan $0,6$ besarnya penyimpangan masing-masing sebesar 2,44 %, 4,52 %, dan 5,47 %. Sedangkan pada mutu baja, $f_y = 400$ MPa, mutu beton, $f_c' = 20-35$ MPa, $\delta = 0,2; 0,4$, dan $0,6$ besarnya penyimpangan masing-masing sebesar 1,5 %, 2,72 %, dan 2,88 %. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa besarnya penyimpangan jumlah tulangan meningkat sebanding dengan peningkatan δ , dan menurun sebanding dengan peningkatan mutu baja. Untuk δ lebih besar dari 0,5 besarnya penyimpangan dapat dihitung dengan interpolasi yaitu sebesar 4,99 % yang ekuivalen dengan 5 %, sehingga pengaruhnya tak boleh diabaikan.

Dari sumber ini, disarankan bahwa untuk desain bangunan gedung tahan gempa, dirasa perlu adanya tabel lentur untuk desain tulangan rangkap dengan $\delta \geq 0,5$. Pada penelitian ini, δ yang dipakai adalah 0,5. Jadi luas tulangan tekan = 50 % dari luas tulangan tarik.

2.3.3 Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_{sx}} \dots\dots\dots (2.46)$$

dengan :

n = jumlah tulangan yang dibutuhkan

A_s = luas penampang tulangan yang dibutuhkan (mm^2)

A_{sx} = luas penampang tulangan yang digunakan (mm^2)

2.3.4 Jarak Tulangan

Perhitungan jarak tulangan untuk arah x (tulangan sejajar dengan panjang *pile cap*) adalah sebagai berikut :

$$x_x = \frac{b_w - 2d_s}{n - 1} \dots\dots\dots (2.47)$$

dengan :

x = jarak tulangan (mm)

b_w = lebar *pile cap* (mm)

d_s = selimut beton (selimut beton yang digunakan = 75 mm [berdasarkan SNI 03-2847-2002 halaman 41 ketentuan bab 9.7(1)])

n = jumlah tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan jarak tulangan untuk arah y (tulangan sejajar dengan lebar *pile cap*) adalah sebagai berikut :

$$x_y = \frac{\ell_w - 2d_s}{n - 1} \dots\dots\dots (2.48)$$

dengan :

x = jarak tulangan (mm)

ℓ_w = panjang *pile cap* (mm)

d_s = selimut beton (selimut beton yang digunakan = 75 mm [berdasarkan SNI 03-2847-2002 ketentuan bab 9.7(1)])

n = jumlah tulangan yang dibutuhkan

Syarat jarak tulangan sesuai SNI 03-2847-2002 ("Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung") halaman 39 ketentuan bab 9.6(2) yaitu harus ≥ 25 mm. Jika perhitungan jarak tulangan < 25 mm, maka diameter tulangan harus diperbesar. Syarat jarak tulangan maksimum sesuai SNI 03-2847-2002 ("Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung") halaman 72 ketentuan bab 12.5(4) adalah < 3 kali tebal *pile cap* ataupun 450 mm. Jika perhitungan jarak tulangan > 3 kali tebal *pile cap* ataupun 450 mm, maka diameter tulangan harus diperkecil. Jarak tulangan yang didapat dari hasil perhitungan dibulatkan kebawah dengan kelipatan 25 untuk mempermudah pekerjaan di lapangan.