

**BAB III**  
**PERENCANAAN *FOOT PLATE***  
**DENGAN *COUNTER WEIGHT***

**3.1. Uraian Umum**

Fondasi bangunan umumnya mempunyai bentuk simetris pada kedua arah atau salah satu salib sumbunya. Bentuk ini memungkinkan beban sentris yang bekerja merata diterima oleh tanah dasar fondasi. Pada keadaan tertentu diperoleh bentuk-bentuk fondasi yang tidak simetris (asimetris) akibat keterbatasan tanah, dekat fondasi lama, gaya-gaya yang bekerja ataupun adanya lubang-lubang fondasi yang digunakan untuk menempatkan pipa-pipa air dan sebagainya. Metode analisis untuk kedua hal tersebut sedikit berbeda, tetapi pada prinsipnya sama (Suryolelono, 1997).

Fondasi sebagai suatu komponen struktur beton bertulang harus direncanakan dengan mengacu pada ketentuan-ketentuan yang terdapat pada SK SNI T-15-1991-03. Pelat yang memikul sebuah kolom, didefinisikan sebagai Fondasi Pelat (*isolated* atau *spread footing*). Menurut Cernica (1995) bentuk fondasi pelat bisa bermacam-macam, yang biasa adalah persegi dan biasanya lebih ekonomis, tetapi bentuk persegi panjang digunakan apabila tempat untuk fondasi tersebut dibatasi pada satu arahnya, atau ketika bebannya tidak sentris terhadap satu arahnya.

## **3.2. Perencanaan Fondasi Telapak**

### **3.2.1. Kriteria Perencanaan**

Menurut Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03) (Departemen Pekerjaan Umum, 1991) syarat-syarat fondasi adalah :

#### **1. Pasal 3.8.1. Umum**

Komponen fondasi harus memenuhi :

- 1) Ketentuan dalam pasal 3.8 berlaku untuk merencanakan fondasi setempat dan, bila sesuai, juga berlaku untuk kombinasi fondasi setempat dan fondasi pelat penuh;
- 2) Ketentuan tambahan untuk kombinasi fondasi setempat dan fondasi pelat penuh diberikan dalam ayat 3.8.10.

#### **2. Pasal 3.8.2. Beban dan Reaksi**

Komponen fondasi harus diperhitungkan menahan beban dan reaksi tanah sesuai dengan ketentuan berikut :

- 1) Fondasi harus diproporsikan untuk menahan beban terfaktor dan reaksi tanah yang timbul akibat beban tersebut, sesuai dengan ketentuan perencanaan yang berlaku dalam tata cara ini dan seperti yang tercantum dalam pasal 3.8;
- 2) Luas bidang dasar dari fondasi harus ditetapkan berdasarkan gaya dan momen tidak terfaktor yang disalurkan oleh fondasi pada tanah dan tekanan tanah izin yang ditentukan berdasarkan prinsip mekanika tanah;

### 3. Pasal 3.8.4. Momen di dalam Fondasi telapak

Besarnya momen lentur yang bekerja pada fondasi telapak dan cara mendistribusikan tulangnya harus memenuhi ketentuan berikut :

- 1) Momen luar pada di sebarang penampang fondasi telapak harus ditentukan dengan membuat potongan vertikal pada fondasi, dan menghitung momen dari semua gaya yang bekerja pada satu bidang fondasi telapak yang dipotong oleh bidang vertikal tersebut;
- 2) Momen terfaktor maksimum dari sebuah fondasi setempat, harus dihitung berdasarkan butir sebelumnya untuk penampang kritis yang terletak sebagai berikut :
  - (1) pada muka kolom untuk fondasi telapak yang mendukung kolom ;
  - (2) setengah dari jarak yang diukur dari bagian tengah ke tepi dinding untuk fondasi yang menahan dinding pasangan;
  - (3) Setengah dari jarak yang diukur dari muka kolom ke tepi pelat alas baja, untuk fondasi yang menahan kolom yang menggunakan pelat dasar baja.
- 3) Pada fondasi telapak satu arah, dan fondasi dua arah bujur sangkar, tulangan harus tersebar merata pada seluruh lebar fondasi
- 4) Pada fondasi segi empat dua arah, tulangan harus terbagi sebagai berikut :
  - (1) Tulangan dalam arah panjang harus tersebar merata pada seluruh lebar fondasi;
  - (2) Untuk tulangan dalam arah pendek, sebagian dari tulangan total yang diberikan dalam persamaan (3.8.1) harus tersebar merata

dalam suatu lebar jalur (sumbunya berimpit dengan sumbu kolom atau pedestal) yang sama dengan panjang dari sisi pendek fondasi telapak. Sisa tulangan yang dibutuhkan dalam arah pendek harus disebar merata diluar jalur tersebut diatas.

$$\frac{2}{(\beta + 1)} \dots\dots\dots (3-1)$$

dimana,  $\beta$  = sisi panjang / sisi lebar

#### 4. Pasal 3.8.5. Geser dalam Fondasi

Besarnya gaya geser yang bekerja pada penampang kritis, harus dihitung berdasarkan asumsi berikut :

- 1) kuat geser pada fondasi harus sesuai dengan Ayat 33.10.11;
- 2) berdasarkan ketentuan pasal 3.4, lokasi dari penampang kritis untuk geser pada dinding yang mendukung kolom. Untuk fondasi yang mendukung suatu kolom penampang kritisnya diukur dari lokasi yang didefinisikan dalam Ayat 3.8.4 butir 2 sub butir 3.

#### 5. Pasal 3.8.6. Pengembangan dari Tulangan dalam Fondasi

Pengembangan tulangan dalam komponen fondasi harus mengikuti ketentuan berikut :

- 1) pengembangan dari tulangan dalam fondasi harus sesuai dengan ketentuan Pasal 3.11;
- 2) gaya tarik atau tekan dari tulangan pada setiap penampang harus dikembangkan pada setiap sisi dari penampang dengan panjang penyaluran, bengkokan (hanya tarik) atau alat mekanis, atau kombinasi dari beberapa kemungkinan tersebut;

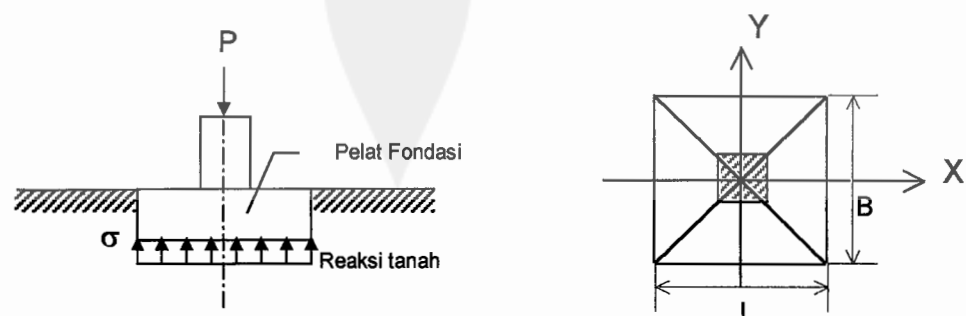
- 3) penampang kritis untuk pengembangan dari tulangan harus berada pada lokasi yang didefinisikan pada Ayat 3.8.4 butir 2 untuk momen terfaktor maksimum, dan pada semua bidang vertikal dimana terjadi perubahan dari penampang atau penulangan, lihat juga Ayat 3.11.10 butir 6.
6. Pasal 3.8.7. Tebal minimum Fondasi

Tebal fondasi di atas tulangan tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk fondasi di atas tanah; ataupun tidak kurang dari 300 mm untuk fondasi diatas ring.

### 3.2.2. Penentuan Kuat Dukung

#### 3.2.2.1. Beban Titik Sentris

Jenis beban titik sentris ( $P$ ) ini merupakan resultante gaya-gaya vertikal yang bekerja pada bangunan tersebut. Beban titik sentris adalah beban yang bekerja atau garis kerja beban ( $P$ ) tersebut melalui pusat alas fondasi ( $O$ ). Dalam hal ini digunakan anggapan bahwa tanah di bawah pelat fondasi adalah homogen, sehingga reaksi tanah akibat beban yang bekerja ( $\sigma$ ) merata pada seluruh fondasi (Suryolelono, 1997)



**Gambar 3.1.** Tegangan tanah akibat beban titik sentris

Bilamana lebar fondasi ( $B$ ) dan panjang fondasi ( $L$ ) maka luas fondasi :

$$A = B \cdot L \dots\dots\dots (3-2)$$

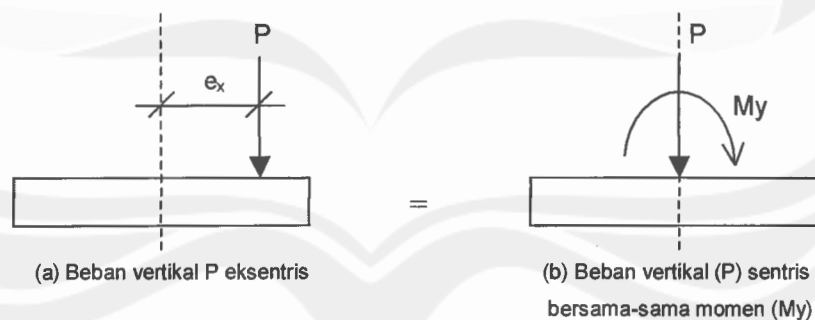
Reaksi tanah akibat beban yang bekerja :

$$\sigma = P / A \dots\dots\dots (3-3)$$

### 3.2.2.2. Beban Eksentris

Analisis beban eksentris sebenarnya sudah dilakukan secara tidak langsung. Kalau diperhatikan kondisi beban eksentris sebenarnya dapat diganti atau dibayangkan sebagai suatu kombinasi beban sentris dengan beban momen. (Suryolelono,1997)

Beban vertikal eksentris dapat dianalogikan dengan beban momen dan beban vertikal sentris terhadap pusat berat fondasi (0)



**Gambar 3.2.** Skema beban vertikal eksentris ( $P$ ) dengan eksentrisitas ( $e_x$ )

Dalam pengertian umum, tekanan tanah bersih didistribusikan yang berkaitan dengan beban eksentrik dapat dirumuskan sebagai :

$$q = (P / A) + (M_x \cdot c_1 / I_x) + (M_y \cdot c_2 / I_y) \dots\dots\dots (3-4)$$

dengan,

$P$  = beban

$A$  = Luasan Fondasi pelat =  $B \times L$

$M_x$  = Momen arah -  $x$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Momen arah - } y \\
 I_x &= \text{Momen Inersia - } x = LB^3 / 12 \\
 I_y &= \text{Momen Inersia - } y = BL^3 / 12 \\
 c_1 &= B / 2 \\
 c_2 &= L / 2
 \end{aligned}$$

Korespondensi tekanan tanah oleh beban-beban dengan kondisi tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 2.2.a dan 2.2.b, adalah bijaksana untuk mengatur sedemikian hingga  $q_{min} \geq 0$  (sehingga  $q$  tidak berharga negatif) (Cernica 1995).

Sehingga :

$$q_{min} = (P / A) - (M_x.c_1 / I_x) - (M_y.c_2 / I_y) \geq 0 \dots\dots\dots(3-5)$$

Menurut Suryolelono (1993), Keadaan ini berarti beban eksentris berada diluar teras ( $> B/6$ ). Bilamana ini terjadi, maka diagram kuat dukung tanah di bawah fondasi ( $\sigma$ ) akan timbul problema tarik dan desak. Berdasarkan anggapan bahwa struktur tanah merupakan suatu bahan bergradasi, sehingga dianggap tanah tidak mampu menahan tarik (menerima tegangan tarik) jadi tanah hanya mampu menerima tegangan desak.

### 3.2.3. Tekanan Tanah terfaktor

Adapun di lapangan untuk analisis fondasi perlu dilakukan pengelompokan beban tersebut di atas yang bekerja pada bangunan fondasi, dan beban-beban tersebut biasanya bekerja bersama-sama atau kombinasinya. Secara umum beban yang bekerja dapat digolongkan menjadi lima, beban mati ( $D$ ), beban hidup ( $L$ ), beban angin ( $W$ ), beban gempa ( $E$ ), dan beban khusus ( $K$ ). (Suryolelono, 1997)

Kombinasi pembebanan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 adalah sebagai berikut :

Kuat perlu ( $U$ ) untuk kondisi menahan beban mati ( $D$ ) dan beban hidup ( $L$ ) :

$$U = 1,2 D + 1,6 L \dots \dots \dots (3-6)$$

Dengan demikian maka  $P$  (Beban yang bekerja pada fondasi),  $M_x$ , dan  $M_y$  (Momen yang bekerja pada fondasi) menggunakan kombinasi pembebanan tersebut.

Sehingga tekanan tanah terfaktor yang diakibatkan oleh beban yang bekerja ( $q_u$ ) :

$$q_u = P_u / A \dots \dots \dots (3-7)$$

dengan :  $P_u = \text{beban terfaktor} = 1,2 D + 1,6 L$

Tekanan tanah terfaktor inilah yang kemudian dipergunakan dalam perhitungan Kuat Geser dan Momen rencana.

#### 3.2.4. Persyaratan terhadap Kuat Geser

Disamping harus memenuhi syarat-syarat kuat dukung tanah dan lentur, fondasi telapak juga harus aman terhadap terjadinya keruntuhan premature karena adanya tarik diagonal pada beton, sebagai akibat bekerjanya kombinasi tegangan geser dan tegangan lentur. Tarik diagonal ini merupakan penyebab utama dari retak miring, sehingga keruntuhan fondasi telapak karena geser sebenarnya adalah keruntuhan tarik di arah retak miring.



### 3.2.4.1. Pemeriksaan Kuat Geser Satu Arah

Gaya geser rencana menurut satu arah (*wide-beam*) dihitung dari:

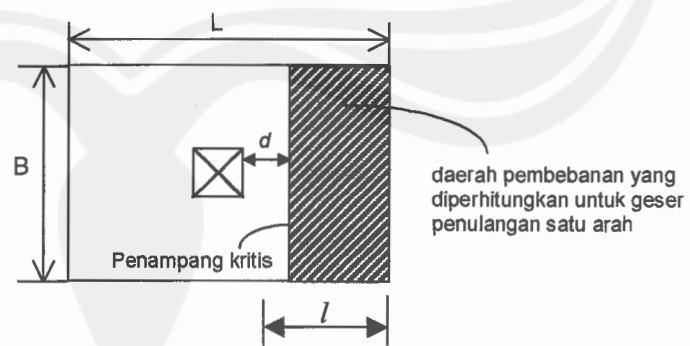
$$V_u \leq \phi \cdot V_c \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$v_c = \left[ \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right] \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

$$V_u = q_u \cdot L' \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

$$v_u = V_u / (b_w \cdot d) \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

dengan :  $V_u$  = kuat geser ultimit  
 $V_c$  = kuat geser nominal beton  
 $b_w$  = 1 m (tinjauan per-1 m lebar fondasi telapak)  
 $d$  = Tinggi efektif fondasi pelat  
 $q_u$  = Tekanan tanah terfaktor  
 $L'$  = panjang daerah pembebanan geser untuk penulangan satu arah



Gambar 3.3. Analisis geser fondasi satu arah

### 3.2.4.2. Pemeriksaan Kuat Geser Dua Arah

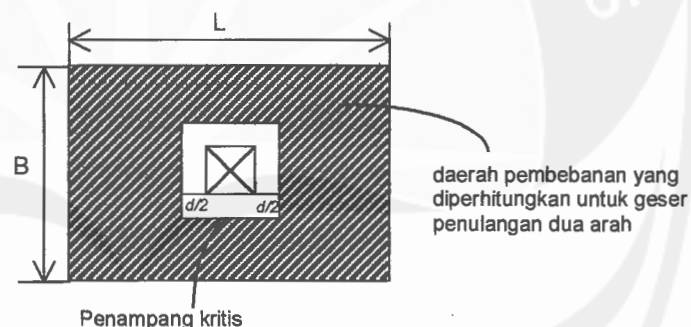
Gaya geser rencana menurut dua arah (*two way action-beam*) atau Gaya geser pons dihitung dari :

$$v_c = (\sqrt{f'_c} / 3) \dots\dots\dots (3-12)$$

$$v_u = P_t / (\text{perimeter} \cdot d) \dots\dots\dots (3-13)$$

dengan :

- $P_t$  = gaya beban total
- $\text{perimeter} = 4 \times (\text{kolom} + d)$
- $v_c$  = batas tegangan geser dari penampang yang dapat melawan beban lentur dan geser
- $v_u$  = tegangan geser akibat  $V_u$



**Gambar 3.4.** Analisa geser fondasi dua arah

### 3.2.5. Persyaratan terhadap Momen Rencana

Bila beban luar terus bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keretakan fondasi pelat, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Karena itu perancangan harus mendesain penampang elemen fondasi pelat atau penampang beton bertulang sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Perencanaan penulangan fondasi pelat menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan dimensi fondasi pelat, mutu beton dan mutu baja.
2. Menghitung beban rencana terfaktor ( $M_u$ )
3. Mengasumsikan tinggi efektif :  $d = h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan.}$
4. Menghitung nilai :  $M_u = \phi M_n$ ..... (3-14)
5. Menghitung luas tulangan perimeter panjang :  $A_s / m'$
6. Menentukan nilai  $\rho = A_s / b.d$  ..... (3-15)  
 Nilai  $\rho$  harus memenuhi syarat  $\rho_{min} < \rho$  ..... (3-16)
7. Menentukan diameter tulangan dan jumlahnya.

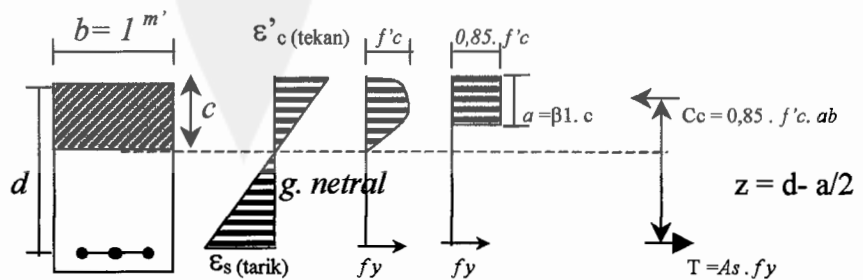
Gaya desak beton :  $C_c = 0,85.f'c.b.a$ ..... (3-17)

Gaya tarik baja :  $T = A_s.f_y$ ..... (3-18)

Kesetimbangan gaya :

$$C_c = T \rightarrow a = \frac{A_s.f_y}{0,85.f'c.b} = n . A_s \dots\dots\dots (3-19)$$

dengan  $n = \frac{f_y}{(0,85 . f'c . b)}$



**Gambar 3.5.** Distribusi tegangan regangan pada pelat fondasi perimeter panjang

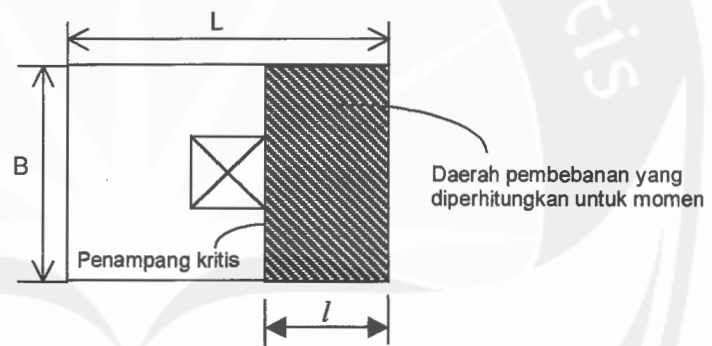
Momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (3-20)$$

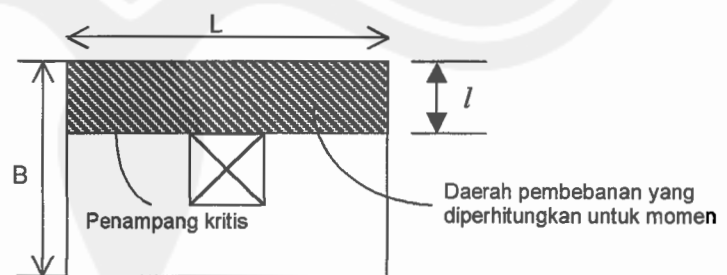
Momen ultimit ( $M_u$ )

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l^2 \dots \dots \dots (3-21)$$

Dengan  $l$  adalah panjang daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk Momen atau dari tepi sampai dengan penampang kritis.



**Gambar 3.6.** Analisis momen lentur fondasi arah memanjang



**Gambar 3.7.** Analisis momen lentur fondasi arah melintang

### 3.2.6. Perencanaan Penulangan

Untuk merencanakan kebutuhan penulangan sesuai momen rencana maka

$Mu = \phi Mn$ . rumus akan menjadi :

$$Mu = \phi . As . fy (d - a/2) \quad \text{atau}$$

$$Mu = \phi . As . fy \left( d - \frac{n . As}{2} \right) \dots\dots\dots (3-22)$$

$$\frac{Mu}{\phi . fy} = As . d - \frac{n . As^2}{2} \quad \text{atau}$$

$$\frac{n . As^2}{2} - As . d = \frac{Mu}{\phi . fy} \dots\dots\dots (3-23)$$

$$As^2 - \left( \frac{2d}{n} As \right) = \frac{2 . Mu}{\phi . fy . n . 1000} \dots\dots\dots (3-24)$$

dengan :  $1 / 1000 =$  untuk mengkonversi  $Mu$  dari  $kN/m^2$  ke  $N/mm^2$

$Cc =$  Gaya desak beton

$T =$  Gaya tarik baja

$b =$  Lebar fondasi pelat

$d =$  Tinggi efektif fondasi pelat

$a =$  Kedalaman blok tegangan beton tekan

$As =$  Luas tulangan

$\rho =$  Rasio tulangan tarik

$f'c =$  Kuat tekan beton

$fy =$  Tegangan luluh baja

Jumlah kebutuhan tulangan ( $As/m'$ ) kemudian dapat dicari dengan menyelesaikan persamaan kuadrat.

Rasio penulangan untuk tulangan :

$$\rho = As / (b . d) \dots\dots\dots (3-25)$$

Syarat rasio penulangan untuk komponen lentur adalah :

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \dots \dots \dots (3-26)$$

Perhitungan penulangan total ( $A_{Stotal}$ ) :

$$A_{Stotal} = A_s / m' \cdot B \dots \dots \dots (3-27)$$

Jumlah tulangan kebutuhan ( $n_{tul}$ ) :

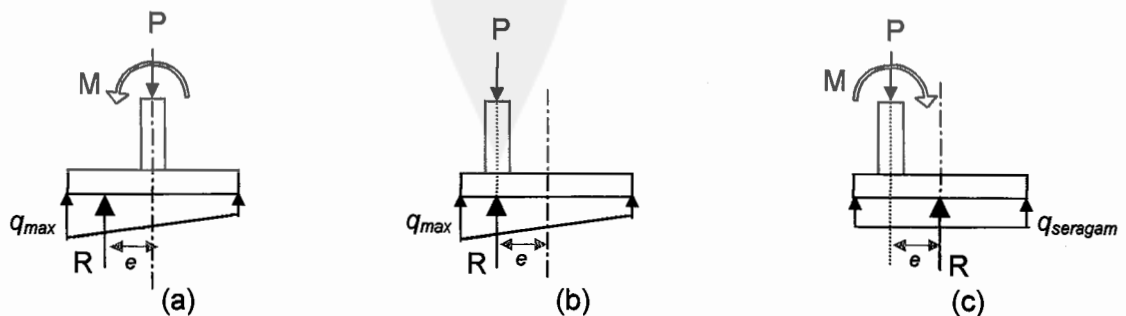
$$n_{tul} = \frac{A_{Stotal}}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} \dots \dots \dots (3-28)$$

Perhitungan jarak antar tulangan (*Spasi*) :

$$Spasi = \frac{Panjang\ area - (2 \times selimut\ beton) - diam.\ tulangan}{(n_{tul} - 1)} \dots \dots \dots (3-29)$$

### 3.3. Prinsip Mekanika Counter Weight

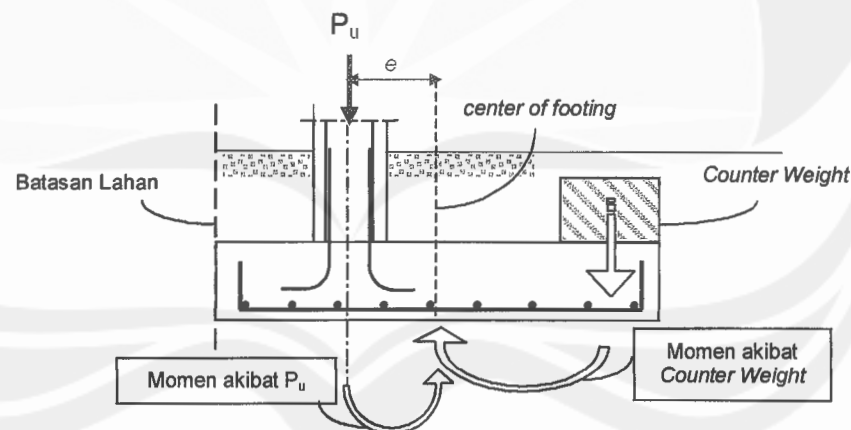
Sumber dari ketidak sentrisan pada fondasi dapat diakibatkan oleh beban konsentrik arah vertikal dengan kombinasi momen (gambar 2.1a) atau akibat dari kolom yang diletakkan tidak sentris dari pusat fondasi (gambar 2.1b). Dengan tujuan untuk tidak terlalu membebani tanah di beberapa titik pada fondasi, dan untuk menghilangkan kemiringan dari kolom dan fondasi, maka lebih baik yang digunakan adalah tegangan tanah seragam (Cernica, 1995).



Gambar 3.8. Tegangan tanah akibat beban eksentris

Dari gambar dan analisa diatas dapat diambil hipotesa bahwa diperlukan penyeimbang untuk beban eksentris (gambar 3.2.b) yaitu berupa momen penyeimbang, sehingga tekanan tanah yang ditimbulkan seragam atau merata pada semua titiknya (gambar 3.2.c).

Untuk menimbulkan momen penyeimbang tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan menambahkan *Counter Weight*. Penambahan *Counter Weight* pada sisi lain fondasi sebagai solusi menimbulkan momen yang diharapkan dapat menyeimbangkan momen akibat beban eksentrisitas.



Gambar 3.9. Prinsip Mekanika Counter Weight

Dari analisa prinsip mekanika dari *Counter Weight* (gambar 3.9) diperoleh bahwa semakin besar gaya beban yang dipikul mengalami eksentrisitas atau semakin besar eksentrisitas terhadap pusat fondasi maka *counter weight* yang dibutuhkan akan semakin besar.

Dengan demikian prinsip kesetimbangan momennya dapat diuraikan sebagai berikut :

$$M_{\text{omen akibat } P_u} = M_{\text{omen akibat Counter Weight}} \dots\dots\dots(3-30)$$

$$P_u \cdot e_x = \text{Volume Counter Weight} \times \gamma_{\text{beton}} \times e_{cw} \dots\dots\dots(3-31)$$

### 3.4. Formulasi Masalah

Sedangkan formulasi masalahnya adalah mencari harga *Foot Plate* ini dengan harga termurah, yaitu

$$F(x) = (VBT \times RPB) + (VTL \times BTL \times RPT) \dots\dots\dots(3-32)$$

Dimana :  $F(x)$  : fungsi dari harga Fondasi Pelat

$x$  : variabel desain yaitu lebar fondasi, panjang fondasi, tebal fondasi, diameter tulangan memanjang, diameter tulangan melintang, tebal dan panjang counter weight.

$VBT$  : Volume Beton

$RPB$  : Harga beton per- $m^3$

$VTL$  : Volume kebutuhan tulangan

$BTL$  : Berat tulangan per- $m^3$

$RPT$  : Harga tulangan per-kg

$$VBT = (B \times L \times t) + (B \times L_c \times t_c) \dots\dots\dots(3-33)$$

dimana :  $B$  : lebar fondasi pelat & *Counter Weight*

$L$  : panjang fondasi pelat

$t$  : tebal fondasi pelat

$t_c$  : tebal *Counter Weight*

$L_c$  : Panjang *Counter Weight*

$$VTL = (0,25 \times \Pi \times d_p^2 \times n_p \times L) + (0,25 \times \Pi \times d_l^2 \times n_l \times B) \dots\dots\dots(3-34)$$



dimana :  $d_p$  : diameter tulangan arah memanjang  
 $d_l$  : diameter tulangan arah melebar  
 $n_p$  : jumlah tulangan arah memanjang  
 $n_l$  : jumlah tulangan arah melebar

Yang memenuhi kendala :

1. kendala  $q_{maks}$  agar tanah tidak mengalami pembebanan diluar kekuatan tanah ( $q_{maks} \leq q_{actual}$ ), dengan  $q_{actual} = \sigma_{ijin\ tanah} - berat\ beton - berat\ tanah\ diatas\ fondasi$

$$\frac{q_{maks}}{q_{actual}} - 1 \leq 0 \dots\dots\dots (3-35)$$

2. kendala  $q_{min}$  agar tanah tidak mengalami tarik

$$q_{min} \geq 0 \dots\dots\dots (3-36)$$

3. kendala tegangan geser yang harus dipenuhi adalah geser satu arah ( $v_u \leq \phi v_c$ )

$$\frac{v_u\ 1arah}{\phi v_c} - 1 \leq 0 \dots\dots\dots (3-37)$$

4. kendala geser dua arah atau geser pons ( $v_u \leq \phi v_c$ )

$$\frac{v_u\ 2arah}{\phi v_c} - 1 \leq 0 \dots\dots\dots (3-38)$$

5. rasio penulangan minimum arah memanjang ( $\rho \geq \rho_{min}$ ), dan

$$\frac{\rho_{memanjang}}{\rho_{min}} - 1 \geq 0 \dots\dots\dots (3-39)$$

6. rasio penulangan minimum arah melintang ( $\rho \geq \rho_{min}$ ).

$$\frac{\rho_{melintang}}{\rho_{min}} - 1 \geq 0 \dots\dots\dots (3-40)$$