

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Dasar Perencanaan

Beban-beban yang akan diperhitungkan dalam analisis struktur yang ditinjau adalah beban grafitasi dan beban gempa, sedangkan beban horizontal angin tidak diperhitungkan.

Dalam perencanaan ini menggunakan metode kekuatan batas, dimana beban kerja dinaikkan dengan memberikan suatu factor beban sehingga diperoleh suatu beban pada akhir keruntuhan.

Menurut SK-SNI T-15-1991-03 ayat 3.3.2 faktor beban ditentukan sebagai berikut :

1. Beban mati = D

2. Beban hidup = L

3. Beban gempa = E

$$U = 1,2D + 1,6L \quad (3.1.1)$$

$$U = 0,9 (D \pm E) \quad (3.1.2)$$

$$U = 1,05 (D + L_R \pm E) \quad (3.1.3)$$

Dimana :

U = Kuat perlu adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban berfaktor atau momen dan gaya dalam

yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi.

D = Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisah dari gedung itu.

L = Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian/penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang yang dapat berpindah dan atau beban akibat air hujan pada atap.

$L_R$  = Beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan fungsi bangunan

E = Beban Gempa adalah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ). Menurut SK-SNI T-15-1991-03, faktor reduksi ( $\phi$ ) ditentukan sebagai berikut :

1. Lentur tanpa beban aksial  $\phi = 0,8$
2. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur  $\phi = 0,8$
3. Aksial tekan, dan aksial tekan dengan lentur :
  - dengan tulangan spiral  $\phi = 0,7$
  - dengan tulangan sengkang ikat  $\phi = 0,65$
4. Geser dan torsi  $\phi = 0,6$

### 3.2 Perencanaan Atap

Ketentuan umum dalam perencanaan atap baja mengacu pada metode *allowable stress design* dari AISC.

#### 3.2.1 Perencanaan gording

A. Tegangan :

$$\frac{fbx}{0,66 Fy} + \frac{fby}{0,75 Fy} \leq 1,0 \quad (3.2.1)$$

$$fbx = \frac{M_{\perp} \cdot \max}{S_x} \quad (3.2.2)$$

$$fby = \frac{M_{\parallel} \cdot \max}{S_y} \quad (3.2.3)$$

B. Lendutan :

$$\delta_{\perp} = \frac{5}{384} \frac{q_{\perp} \cdot L^4}{EI_x} \leq \frac{L}{360} \quad (3.2.4)$$

$$\delta_{\parallel} = \frac{5}{384} \frac{q_{\parallel} \cdot \left(\frac{L}{(a+1)}\right)^4}{EI_y} \leq \frac{L}{360} \quad (3.2.5)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_{\perp}^2 + \delta_{\parallel}^2} \quad (3.2.6)$$

keterangan : fbx = tegangan lentur arah sumbu x

fby = tegangan lentur arah sumbu y

Fy = tegangan leleh baja

Sx = modulus elastis tampang arah sumbu x

Sy = modulus elastis tampang arah sumbu y

M<sub>⊥</sub> = momen tegak lurus sumbu batang

$M_{//}$  = momen sejajar sumbu batang

$\delta$  = resultan lendutan

$\delta_{\perp}$  = lendutan tegak lurus sumbu batang

$\delta_{//}$  = lendutan searah sumbu batang (mm)

$E_s$  = modulus elastis baja (29000 ksi)

$I_x$  = Inersia arah sumbu x

$I_y$  = Inersia arah sumbu y

### 3.2.2 Perencanaan sagrod dan tierod

#### A. Sagrod

$$P = 0,33 \cdot F_u \cdot A_{sagrod} \quad (3.2.7)$$

$$P_{//} = P \cdot \sin \alpha \quad (3.2.8)$$

$$A_{sagrod} = \frac{P_{//}}{0,33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{sagrod} \quad (3.2.9)$$

$$D_{pakai} = D_{sagrod} + 3 \text{ mm} \quad (3.2.10)$$

#### B. Tierod

$$T = P_{//} \cdot \cos \alpha \quad (3.2.11)$$

$$T = 0,33 \cdot F_u \cdot A_{tierod} \quad (3.2.12)$$

$$A_{tierod} = \frac{T}{0,33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{tierod} \quad (3.2.13)$$

$$D_{pakai} = D_{tierod} + 3 \text{ mm} \quad (3.2.14)$$

Keterangan : P = gaya yang bekerja

$P_{//}$  = gaya sejajar sumbu batang

$F_u$  = kuat tarik baja

$S_s$  = jarak beban sagrod

D = diameter sagrod atau tierod

A = luas penampang baja

T = tegangan yang bekerja

### 3.2.3 Perencanaan Batang Tarik

$$A_{g \text{ perlu}} = \frac{T}{0,60 \cdot F_y} \quad (3.2.15)$$

$$A_{g \text{ perlu}} = \frac{T}{0,5 \cdot F_u} + A_{\text{lubang}} \quad (3.2.16)$$

$$A_{\text{Lubang}} = (1/8'' + \varnothing_{\text{baut}}) \cdot \text{tebal plat} \cdot n \quad (3.2.17)$$

$$r_{\text{min}} = \frac{ki}{240} \quad (3.2.18)$$

Dipakai profil yang luasnya > nilai  $A_{g \text{ perlu}}$  terpakai

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{bruto}} - A_{\text{lubang}} \quad (3.2.19)$$

$$A_{\text{ef ada}} = A_{\text{netto}} \cdot \mu \quad (3.2.20)$$

$$\mu = 0,75 \text{ Sampai } 1$$

Kontrol Tegangan Tarik yang terjadi

- Tampang tanpa lubang :  $f_a = \frac{T}{A_g} \leq 0,60 \cdot F_y \quad (3.2.21)$

- Tampang ada lubang :  $f_a = \frac{T}{A_{ef}} \leq 0,50 \cdot F_u \quad (3.2.22)$

Keterangan : L = panjang batang

T = gaya tarik

r = jari-jari inersia terkecil profil

$A_{\text{netto}}$  = luas bersih penampang

$A_g$  = luas kotor penampang

- $f_a$  = tegangan tarik yang terjadi  
 $n$  = jumlah batang  
 $\varnothing$  = diameter baut  
 $\mu$  = faktor reduksi luas netto, dengan kriteria :
- lebar sayap  $\geq 2/3$  x tinggi profil; sambungan pada sayap-sayap minimal 3 ikatan pergaris dalam garis tekanan  $\mu = 0,90$
  - minimum 3 ikatan pergaris tekanan yang tidak sama dengan kriteria (a)  $\mu = 0,85$
  - 2 ikatan pergaris tekanan  $\mu = 0,75$

### 3.2.4 Perencanaan Batang Desak

#### A. Kontrol tekuk

$$\frac{bf}{tw} < \frac{76}{\sqrt{F_y}} \quad (3.2.23)$$

#### B. Kontrol kelangsingan :

$$a. \frac{kl}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E_s}{F_y}} = \frac{755}{\sqrt{F_y}} \quad (F_y \text{ dalam Ksi}) \quad (3.2.24)$$

$$\frac{kl}{r} \leq C_c = \frac{6400}{\sqrt{F_y}} \quad (F_y \text{ dalam Kg/cm}^2) \quad (3.2.25)$$

$$\frac{kl}{r} \leq C_c = \frac{1987}{\sqrt{F_y}} \quad (F_y \text{ dalam Mpa}) \quad (3.2.26)$$

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{kl}{r} - \frac{1}{8} \left( \frac{kl}{r} \right)^3 \quad (3.2.27)$$

$$F_a = \frac{F_y}{F_s} \left( 1 - 0,5 \left( \frac{kl}{r} \right)^2 \right) \quad (3.2.28)$$

b.  $\frac{kl}{r} > C_c$

$$F_a = \frac{12}{23} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left( \frac{kl}{r} \right)^2} \quad (3.2.29)$$

### C. Kontrol Beban

$$T = F_a \cdot A > P$$

Keterangan :  $F_a$  = tegangan ijin pada luas bruto dalam kondisi beban kerja

$kl/r$  = angka kelangsingan elemen desak

$F_s$  = faktor keamanan

$T$  = beban ijin

$P$  = beban yang terjadi

### 3.2.5 Perencanaan Sambungan

$$P_{tumpuan} = t_p \cdot \phi_{baut} \cdot 1,2 \cdot F_u \cdot n \quad (3.2.30)$$

$$\phi_{baut} = \frac{P_{tumpuan}}{1,2 \cdot F_u \cdot n \cdot t_p} \quad (3.2.31)$$

$$P_{geser} = A_{baut} \cdot F_v \cdot 2n = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{baut}^2 \cdot F_v \cdot 2n \quad (3.2.32)$$

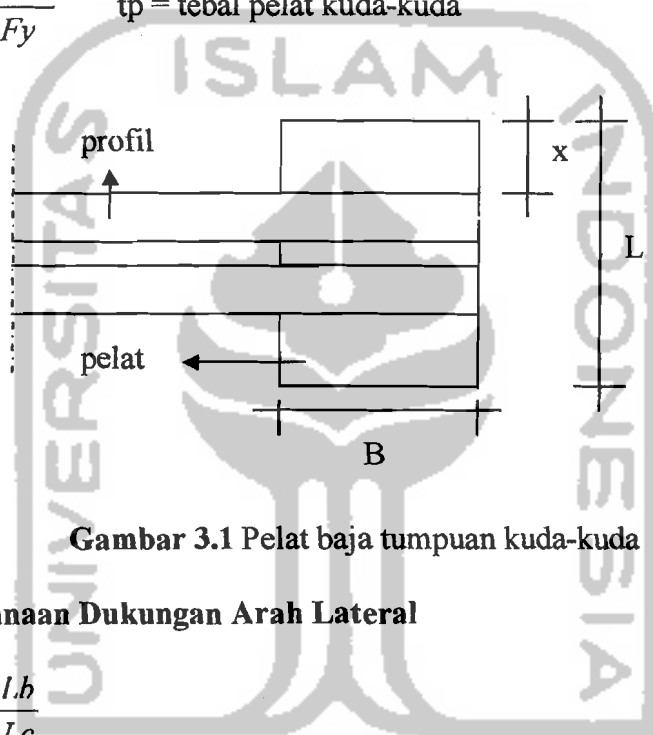
$$\phi_{baut} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{geser}}{2 \cdot \pi \cdot F_v \cdot n}} \quad (3.2.33)$$

### 3.2.6 Perencanaan Pelat Kuda-Kuda

$$A_{perlu} = \frac{P}{0,33 f'c} \quad (3.2.34)$$

$$q = \frac{P}{B.L} \rightarrow M = 0,5.q.x^2 \quad (3.2.35)$$

$$tp = \sqrt{\frac{10.M}{Fy}} \quad tp = \text{tebal pelat kuda-kuda} \quad (3.2.36)$$



Gambar 3.1 Pelat baja tumpuan kuda-kuda

### 3.2.7 Perencanaan Dukungan Arah Lateral

$$\tan \alpha = \frac{l.b}{Lc} \quad (3.2.37)$$

$$L = \sqrt{Lb^2 + Lc^2} \quad (3.2.38)$$

Bila  $L < 3m$  → dipakai Ø 12

Bila  $3m \leq L \leq 5m$  → dipakai Ø 16

Bila  $L > 5m$  → dipakai Ø 19

Keterangan :

$Lb$  = Jarak antar gording

$Lc$  = Jarak antar kuda-kuda

$L$  = Panjang diagonal dukungan lateral



### 3.3 Perencanaan Pelat 2 Arah

#### 3.3.1 Menentukan tebal minimum pelat (h)

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 butir 3.3 rumus pendekatan mengenai tebal pelat (h) :

$$h \geq \frac{Ln \left( 0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 5\beta \cdot \left[ \alpha_m - 0,12 \cdot \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \quad (3.3.1)$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h \geq \frac{Ln \left( 0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3.3.2)$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h \leq \frac{Ln \left( 0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36} \quad (3.3.3)$$

Dalam segala hal tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari harga berikut :

- Untuk  $\alpha_m$  kurang dari ( $<$ ) 2,0 digunakan nilai h minimal 120 mm.
- Untuk  $\alpha_m$  lebih dari ( $\geq$ ) 2,0 digunakan nilai h minimal 90 mm.

keterangan: Ln = bentang bersih pada pelat dihitung dari muka kolom

$\alpha_m$  = rasio kekakuan balok terhadap pelat

$\beta$  = rasio panjang terhadap lebar bentang pelat

### 3.3.2 Menentukan Momen Lentur terjadi

Berdasar *metode koefisien momen*, besar momen lentur dalam arah bentang panjang :

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{tx} \quad (3.3.4)$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{lx} \quad (3.3.5)$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{ty} \quad (3.3.6)$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{ly} \quad (3.3.7)$$

keterangan :  $q_u$  = beban merata

$L_x$  = panjang bentang pendek

$X_{tx}$  = koefisien momen tumpuan arah x

$X_{lx}$  = koefisien momen lapangan arah x

$X_{ty}$  = koefisien momen tumpuan arah y

$X_{ly}$  = koefisien momen lapangan arah y

Nilai koefien momen ( X ) diambil dari tabel 13.3.1 dan 13.3.2 PBBI 1971

### 3.3.3 Menentukan Tinggi manfaat (d) arah x dan y

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.3.8)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.3.9)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.3.10)$$

Pada pelat dua arah, tulangan momen positif untuk kedua arah dipasang saling tegak lurus. Karena momen positif arah bentang pendek (x) lebih besar dari bentang panjang (y), maka tulangan bentang pendek diletakkan pada lapis bawah agar memberikan d (tinggi manfaat) yang besar.

$$dx = h - Pb - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul. x} \quad (3.3.11)$$

$$dy = h - Pb - \varnothing_{tul. x} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul. y} \quad (3.3.12)$$

### 3.3.4 Menentukan Luas Tulangan (As) arah x dan y

$$R_n = \frac{\frac{M_u}{\phi}}{b \cdot d^2} \quad (3.3.13)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} \quad (3.3.14)$$

$$\rho_{ada} = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) \quad (3.3.15)$$

- Jika  $\rho_{ada} > \rho_{maks}$ , → tebal minimum (h) harus perbesar
- Jika  $\rho_{min} < \rho_{ada} < \rho_{maks}$  →  $\rho_{perlu} = \rho_{ada}$
- Jika  $\rho_{ada} < \rho_{maks}$ , dan juga  $< \rho_{min}$ , maka :
  - $1,33 \cdot \rho_{ada} > \rho_{min}$  →  $\rho_{perlu} = \rho_{min}$
  - $0,002 < 1,33 \cdot \rho_{ada} < \rho_{min}$  →  $\rho_{perlu} = 1,33 \cdot \rho_{ada}$
  - $1,33 \cdot \rho_{ada} < \rho_{min}$ , dan juga  $< 0,002$  →  $\rho_{perlu} = 0,002$

Luas tulangan pokok :

$$A_{Sperlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \quad (3.3.16)$$

Jarak tulangan pokok

$$s \leq \frac{A_1 \cdot b}{A_{Sperlu}} \quad (3.3.17)$$

$$s \leq 2h$$

$$s \leq 250 \text{ mm}$$

Diambil nilai jarak antar tulangan ( $s$ ) yang terkecil, sehingga didapatkan nilai

$$A_{s_{ada}} = \frac{A_1 \cdot b}{s} \quad (3.3.18)$$

### 3.3.5 Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi

$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3.3.19)$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \geq \frac{M_u}{\phi} \quad (3.3.20)$$

## 3.4 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga meliputi perencanaan dimensi serta penulangan tangga. Desain tangga umumnya menggunakan bordes selain berfungsi sebagai tempat berhenti sejenak pengguna tangga untuk beristirahat, juga untuk efisiensi kebutuhan ruang tangga sehingga tidak 'memakan' tempat (*space*) terlalu banyak.

### 3.4.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Langkah-langkah perencanaan tangga adalah sebagai berikut ini :

#### A. Menentukan lebar dan jumlah *optrede* dan *antrede*.

- Tinggi bersih antar lantai ( $h$ ) dalam meter dapat diketahui.
- Lebar bordes ( $L_b$ ) dalam meter dapat ditentukan, diambil  $\geq 1,20$  meter.
- Sandaran tangga dapat ditentukan bahannya, tebal, dan tinggi jadinya.
- Tinggi *optrede* ideal  $\leq 20$  cm (15 – 18 cm), misal diambil nilai perkiraan awal

tinggi *optrede* ( $h_o$ ) = 18 cm, maka jumlah *optrede* (buah) :

$$\text{Jumlah } optrede = \frac{h}{h_o} \text{ (dibulatkan keatas)} \quad (3.4.1)$$

$$\text{sehingga tinggi } optrede \text{ sebenarnya : } h'_o = \frac{h}{\text{jumlah } optrede} \quad (3.4.2)$$

- Lebar *antrede* ideal  $\geq 30$  cm, diambil nilai lebar *antrede* ( $L_a$ ) = 30 cm

$$\text{Jumlah anterde} = \text{Jumlah opterde} - 2 \quad (3.4.3)$$

Tangga dibagi menjadi dua (2) bagian, sehingga panjang bentang tangga ( $P_t$ ) :

$$P_t = (L_a \times \text{Jumlah tangga}/2) + L_b \leq 4,50 \text{ m} \quad (3.4.4)$$

### B. Menentukan tebal pelat tangga ( $h_t$ ) dan lebar tangga ( $L_t$ )

Untuk panjang bentang tangga  $\pm 4,50$  meter.

- Diambil nilai tebal pelat ( $h$ ) : 15 cm
- Sudut kemiringan ideal tangga antara  $30^\circ - 35^\circ$  misal diambil sudut perkiraan

awal ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$ , maka tebal pelat sisi miring ( $h'$ ) :

$$h' = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (3.4.5)$$

Sehingga sudut tangga sebenarnya ( $\alpha'$ ) :  $\alpha' = \frac{h'}{L_a}$  (3.4.6)

Jarak antar as-as kolom ( $d$ ) dalam meter dapat diketahui, sehingga jarak bersih antar as-as kolom ( $d'$ ) :

$$d' = d - 2 \cdot (\frac{1}{2} \cdot \text{lebar balok induk}) \quad (3.4.7)$$

- Jarak antar balok-tangga, jarak antar tangga-tangga, diambil nilai = 10 cm, sehingga Lebar bersih untuk 1 buah tangga :

$$L_t = \frac{1}{2} \cdot (d' - (3 \times 0,1)) \geq 1,20 \text{ meter} \quad (3.4.8)$$

### 3.4.2 Perencanaan Tulangan Tangga

Perencanaan tulangan pada tangga diambil momen terbesar didaerah tumpuan maupun lapangan, baik pada tangga sebelah atas atau bawah bordes.

Digunakan penutup beton ( $P_b$ ) 20 cm, sehingga :

$$dx = h - Pb - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul. x} \quad (3.4.9)$$

$$dy = h - Pb - \varnothing_{tul. x} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul. y} \quad (3.4.10)$$

Menghitung rasio tulangan perlu ( $\rho$ ) :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.4.11)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.4.12)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.4.13)$$

$$Rn = \frac{Mu / \phi}{b \cdot d^2} \quad (3.4.14)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \quad (3.4.15)$$

$$\rho_{pada} = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \quad (3.4.16)$$

- Jika  $\rho_{pada} > \rho_{maks}$ ,  $\longrightarrow$  tebal minimum (h) harus perbesar
- Jika  $\rho_{min} < \rho_{pada} < \rho_{maks}$   $\longrightarrow$  dipakai nilai :  $\rho_{pakai} = \rho_{pada}$
- Jika  $\rho_{pada} < \rho_{maks}$ , dan juga  $< \rho_{min}$ , maka :
  1.  $1,33 \cdot \rho_{pada} > \rho_{min}$   $\longrightarrow$  dipakai nilai :  $\rho_{perlu} = \rho_{min}$
  2.  $0,002 < 1,33 \cdot \rho_{pada} < \rho_{min}$   $\longrightarrow$  dipakai nilai :  $\rho_{perlu} = 1,33 \cdot \rho_{pada}$
  3.  $1,33 \cdot \rho_{pada} < \rho_{min}$ , dan juga  $< 0,002$   $\longrightarrow$  dipakai nilai :  $\rho_{perlu} = 0,002$

Setelah didapatkan nilai  $\rho_{perlu}$ , maka :

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \quad (3.4.17)$$

Nilai lebar pelat (b), diambil tiap 1 meter (1000 mm).

Jarak antar tulangan :  $s \leq \frac{A_1 \cdot b}{A_{s_{perlu}}}$  (3.4.18)

sehingga didapatkan nilai  $A_{s_{ada}} : A_{s_{ada}} = \frac{A_1 \cdot b}{s}$  (3.4.19)

### Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi

$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.4.20)$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \geq \frac{M_u}{\phi} \quad (3.4.21)$$

### 3.5 Perencanaan Balok

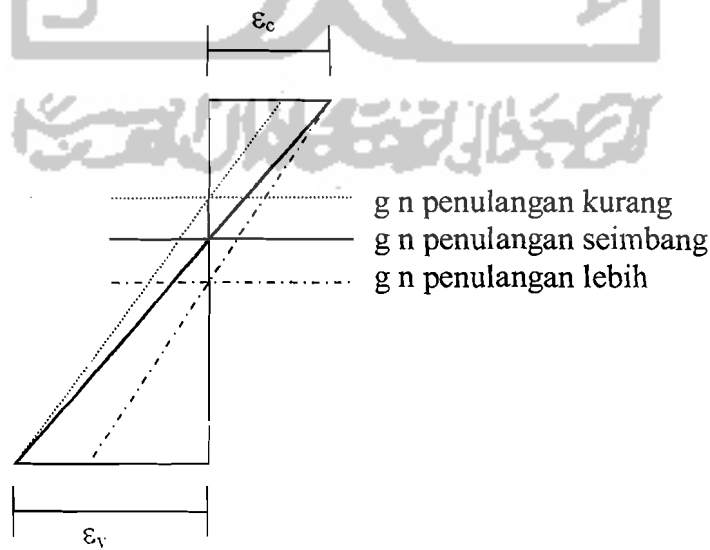
Faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekuivalen beton ( $\beta_1$ ), sama dengan :

(SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.3.2 butir 7.3)

$$f'_c \leq 30 \text{ MPa} \longrightarrow \beta_1 = 0,85 \quad (3.5.1)$$

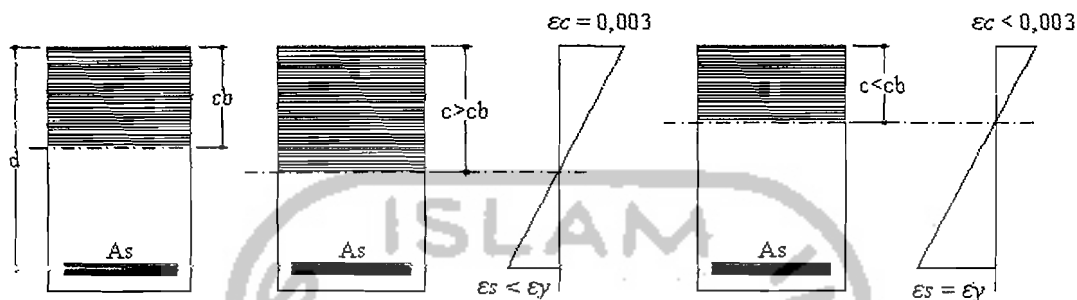
$$f'_c > 30 \text{ MPa} \longrightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30) \geq 0,65 \quad (3.5.2)$$

Menentukan nilai rasio tulangan ( $\rho$ )



**Gambar 3.2** Diagram regangan dengan variasi letak garis netral

Dalam menentukan nilai  $\rho$  beton dalam keadaan seimbang, yaitu dimana pada saat beton mencapai maksimum  $\varepsilon_c = 0,003$  bersamaan dengan regangan baja mencapai leleh  $\varepsilon_s = \varepsilon_y = f_y / E_s$ .



**Gambar 3.3** Diagram Regangan dan Tampang untuk berbagai kondisi penulangan

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.5.3)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.5.4)$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \quad (3.5.5)$$

dalam perencanaan dipakai nilai  $\rho$  :  $\rho_{pakai} = 0,5 \cdot \rho_{maks}$  (3.5.6)

Menentukan tinggi efektif ( $d$ ) dan lebar ( $b$ ) penampang beton

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad (3.5.7)$$

$$Rn = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m) \quad (3.5.8)$$

$$b \cdot d_{perlu}^2 = \frac{\phi}{Rn} \cdot Mu ; \text{ sehingga } d_{perlu} = \sqrt{\frac{\phi}{Rn \cdot b} \cdot Mu} \quad (3.5.9)$$

Untuk ukuran penampang beton yang proporsional digunakan perbandingan

$$b/d_{perlu} = 1,2 \text{ s/d } 3,0.$$



Tentukan diameter ( $\emptyset_{tul.rencana}$ ) dan penutup beton

$$d = h - Pb - \emptyset_{senggang} - (1/2) \emptyset_{tul.rencana} \quad (3.5.10)$$

Apabila  $d \geq d_{perlu}$  maka dipakai tulangan sebelah

Apabila  $d < d_{perlu}$  maka dipakai tulangan rangkap

### 3.5.1 Perencanaan dengan Tulangan Sebelah

A. Menentukan  $\rho_{ada}$  dan  $Rn_{ada}$

$$Rn_{ada} = \frac{\frac{Mu}{\phi}}{b \cdot d_{ada}^2} \quad (3.5.11)$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \cdot \rho \quad (3.5.12)$$

B. Menentukan Luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_s = \rho_{ada} \cdot b \cdot d_{ada} \quad (3.5.13)$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_s}{A_1} \quad (3.5.14)$$

$$A_{s_{ada}} = n \cdot A_1 > A_s \quad (3.5.15)$$

Keterangan :

$A_s$  = Luas tulangan tarik longitudinal

$A_{s_{ada}}$  = Luas tulangan tarik longitudinal yang ada

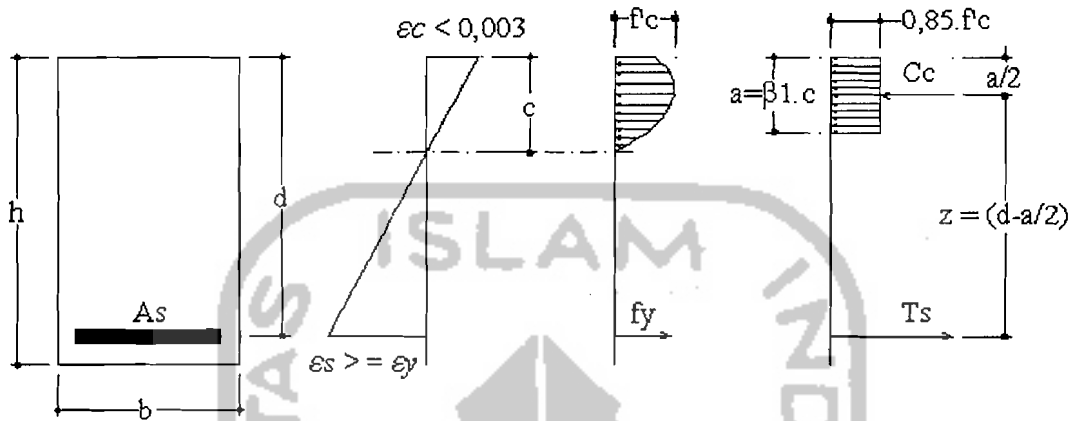
$A_1$  = Luas tampang 1 buah tulangan

$\rho_{ada}$  = Rasio tulangan berdasarkan perhitungan luas penampang beton

C. Kontrol kapasitas Lentur yang terjadi

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3.5.16)$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) > \frac{Mu}{\phi} \quad (3.5.17)$$



**Gambar 3.4** Diagram Tegangan Regangan Beton Tulangan Sebelah

$a$  = tinggi blok tegangan tekan persegi ekivalen beton

$C_c$  = gaya tekan beton

$T_s$  = gaya tarik baja tulangan

- Bila  $\epsilon_s < \epsilon_y$  maka  $T = As \cdot f_s$
- Bila  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$  maka  $T = As \cdot f_y$

### 3.5.2 Perencanaan Dengan Tulangan Rangkap

A. Menentukan  $As_1$  dan  $Mn_1$

Ambil  $\rho_1 = \rho - \rho' = \rho$  tulangan sebelah

$$As_1 = \rho_1 \cdot b \cdot d_{ada} \quad (3.5.18)$$

$$a = \frac{As_1 \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3.5.19)$$

$$Mn_1 = As_1 \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) < \frac{Mu}{\phi} \quad (3.5.20)$$

B. Menentukan  $Mn_2$ 

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn_1 \quad (3.5.21)$$

Keterangan:

$Mn_1$  = kuat momen pasangan kopel gaya beton tekan dan tul. baja tarik

$Mn_2$  = kuat momen pasangan kopel tul.baja tekan dan baja tarik tambahan

## A. Menentukan tulangan desak

$$fs' = 600 \cdot \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot fy \cdot d} \right\} \quad (3.5.22)$$

jika  $fs' \geq fy$ , maka  $fs' = fy$

jika  $fs' < fy$ , maka  $fs' = fs'$

$$As' = \frac{Mn_2}{fs' \cdot (d - d')} \quad (3.5.23)$$

## D. Menentukan tulangan tarik

$$As = As_1 + As' ; \quad As' = As_2 \quad (3.5.24)$$

$$\text{Jumlah tulangan tarik} : n' = \frac{As'}{A_1} \quad (3.5.25)$$

$$\text{Jumlah tulangan tekan} : n = \frac{As}{A_1} \quad (3.5.26)$$

## E. Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d_{ada}} \quad (3.5.27)$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \cdot d_{ada}} \quad (3.5.28)$$

Jika  $(\rho - \rho') < \left[ \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \right] \cdot \left( \frac{600}{600 - f_y} \right)$  ;  $f_s' \geq f_y$  maka  $f_s' = f_y$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3.5.29)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3.5.30)$$

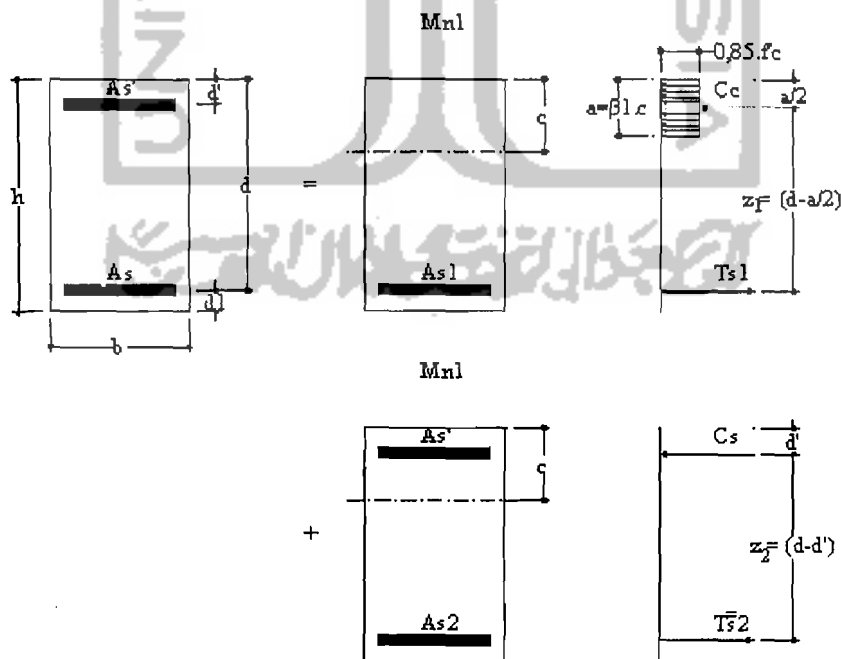
$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) + (A_s' \cdot f_y) \cdot (d - d') \quad (3.5.31)$$

Jika  $(\rho - \rho') \geq \left[ \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \right] \cdot \left( \frac{600}{600 - f_y} \right)$  ;  $f_s' < f_y$  maka  $f_s' = f_s'$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3.5.32)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3.5.33)$$

$$M_n = (A_s - A_s') \cdot f_s' \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) + (A_s' \cdot f_s') \cdot (d - d') \quad (3.5.34)$$



Gambar 3.5 Distribusi Tulangan Rangkap

- $d1 = 50 - 70 \text{ mm}$  untuk tulangan tarik 1 lapis
- $d1 = 71 - 100 \text{ mm}$  untuk tulangan tarik 2 lapis

keterangan :

$d'$  = jarak dari serat terluar beton tekan ke pusat tulangan tekan

$d1$  = jarak dari serat terluar beton tarik ke jarak pusat antara tulangan tarik  
2 lapis

$f_s'$  = tegangan tulangan baja tekan yang terjadi

### 3.5.3 Perencanaan Geser Balok

Kriteria Perencanaan Geser Balok :

1. Bila  $V_u \leq 0,5 \phi V_c \rightarrow$  tulangan geser diabaikan (3.5.35)
2. Bila  $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$  maka diperlukan tulangan geser minimum

$$\text{dimana } V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b_w d \quad (3.5.36)$$

Jarak tulangan geser maksimum sebesar:

$$s = \frac{3 A_v f_y}{V_{s_{\min}}} \quad (3.5.37)$$

$$\text{Spasi sengkang : } s \leq \frac{d}{4} \text{ atau } s \leq 600 \text{ mm} \quad (3.5.38)$$

3. Bila  $\phi V_c < V_u \leq (\phi V_u + \phi V_{s_{\min}})$ . Dengan  $V_{s_{\min}} = 1/3 \cdot b \cdot d$

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar:

$$s = \frac{3 A_v f_y}{b_w} \quad (3.5.39)$$

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ atau } s \leq 600 \text{ mm} \quad (3.5.40)$$

4. Bila  $(\phi V_c + \phi V_{s_{min}}) < V_u \leq 3 \phi V_c$

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} ; V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.5.41)$$

$$s \leq \frac{d}{2} \quad (3.5.42)$$

$$s \leq 600 \text{ mm} \quad (3.5.43)$$

5. Bila  $3\phi V_c < V_u < 5\phi V_c$

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} ; V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.5.44)$$

$$s \leq \frac{d}{2} \quad (3.5.45)$$

$$s \leq 300 \text{ mm} \quad (3.5.46)$$

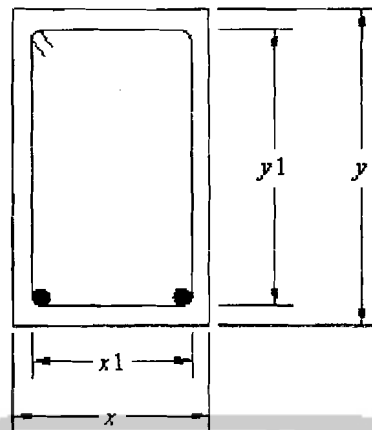
6. Bila  $V_u > 5\phi V_c$

Untuk balok dimensinya diperbesar atau dirubah. (3.5.47)

### 3.5.3 Perencanaan Torsi

Kriteria perencanaan torsi :

1. Diketahui gaya geser ( $V_u$ ), momen torsi ( $T_u$ ), momen lentur ( $M_n$ ), gaya aksial ( $N_u$ ).
2. Diketahui penampang material : lebar badan ( $b_w$ ), tinggi ( $h$ ), tinggi efektif ( $d$ ), penutup beton ( $p_b$ ), luas sengkang s kaki ( $A_{sk}$ ), luas tulangan lentur ( $A_s$ ), kuat desak beton ( $f'_c$ ), tegangan leleh baja ( $f_y$ ).



Gambar 3.6 Penampang balok dengan tulangan

### 3. Kontrol

- Struktur statis tertentu : torsi keseimbangan

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi terfaktor :

$$T_u > \phi \left( \frac{1}{20} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \quad (3.5.48)$$

- Struktur statis tak tentu : torsi kompatibilitas

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi terfaktor :

$$T_u \geq \phi \left( \frac{1}{9} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \quad (3.5.49)$$

### 4. Menghitung kekuatan momen torsi nominal $T_n = \frac{T_u}{\phi}$

Kontrol kuat momen torsi yang terjadi :  $T_u > \phi T_n$

$$T_n = T_c + T_s \quad (3.5.50)$$

- Puntir Murni :

$$T_c = \left( \frac{1}{15} \sqrt{f'c} \right) \cdot \Sigma x^2 \cdot y \quad (3.5.51)$$

- Puntir Murni + geser

$$T_c = \frac{\left( \frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 y \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,4 \cdot Vu}{C_t \cdot Tu} \right)^2}} \quad (3.5.52)$$

$$V_c = \frac{\left( \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \right)}{\sqrt{1 + \left( 2,5 \cdot C_t \cdot \frac{Tu}{Vu} \right)^2}} \quad (3.5.53)$$

Faktor yang menghubungkan sifat tegangan geser

$$C_t = \frac{bw \cdot d}{\Sigma x^2 y} \quad (3.5.54)$$

- Puntir Murni + Geser + Gaya Aksial

Apabila struktur mengalami gaya aksial cukup besar,  $T_c$  dan  $V_c$  dikalikan

$$1 + 0,3 \cdot \frac{Nu}{Ag}$$

Kontrol Torsi yang terjadi :

$$\text{Jika } \frac{Tu}{\phi} \leq T_c \longrightarrow \text{torsi diabaikan} \quad (3.5.55)$$

$$\text{Jika } \frac{Tu}{\phi} > T_c \longrightarrow \text{perlu tulangan torsi} \quad (3.5.56)$$

- Untuk torsi keseimbangan :  $T_s = \frac{Tu}{\phi} - T_c$  (3.5.57)

- Untuk torsi kompatibilitas :  $T_s = \left( \frac{1}{9} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 y \cdot \frac{1}{3} \right) - T_c$  (3.5.58)



Jika  $\frac{T_u}{\phi} > 4 T_c$   $\longrightarrow$  tampang diperbesar (3.5.59)

6. Menghitung perbandingan luas tulangan torsi dan jarak sengkang

Hitung nilai :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y} \quad (3.5.60)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{3} \left( 2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5 \quad (3.5.61)$$

7. Hitung tulangan geser (sengkang) + torsi

Bila  $V_c < \frac{V_u}{\phi}$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.5.62)$$

Perbandingan antara luas tulangan geser dan jarak :

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} \quad (3.5.63)$$

Dapatkan luas total sengkang

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 \cdot A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \geq \frac{b_w \cdot s}{3 f_y} \quad (3.5.64)$$

### 3.6 Perencanaan Penulangan Kolom

Perencanaan kolom diawali dengan penentuan dimensi kolom, secara lengkap langkah-langkah perencanaan kolom sebagai berikut :

1. Menentukan nilai  $b$ ,  $h$ ,  $f'c$ ,  $f_y$ ,  $d'$ ,  $d$
2. Menghitung kapasitas kolom

Perencanaan kolom pada hakekatnya menentukan dimensi atau bentuk penampang dan baja tulangan yang diperlukan, termasuk jenis pengikat sengkang atau pengikat spiral. Karena rasio tulangan  $0,01 \leq \rho_g \leq 0,08$ , maka persamaan kuat desak aksial digunakan untuk perencanaan.

$$N_o = 0,85 \cdot f'c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (3.6.1)$$

- Untuk sengkang biasa :

$$\phi N_n = 0,8 \cdot \phi N_o = 0,8 \cdot \phi (0,85 \cdot f'c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y)$$

Karena  $N_u \leq \phi \cdot N_n$ , maka untuk kolom sehingga diperoleh  $A_{g\text{perlu}}$  :

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{N_u}{0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f'c' \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \quad (3.6.2)$$

- Untuk sengkang spiral :

$$\phi N_n = 0,85 \cdot \phi N_o = 0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot f'c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \quad (3.6.3)$$

Karena  $N_u \leq \phi \cdot N_n$ , maka untuk kolom sehingga diperoleh  $A_{g\text{perlu}}$  :

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{N_u}{0,85 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f'c' \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \quad (3.6.4)$$

Sehingga setelah nilai  $A_{g\text{perlu}}$  diperoleh, panjang dan lebar sisi kolom persegi atau diameter kolom bulat dapat ditentukan.

$$A_g = b \cdot h = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (3.6.5)$$

$$A_{st} = \rho_g \cdot A_g = A_s + A_s' \quad (3.6.6)$$

$$A_s' = A_s = \frac{A_{st}}{2} \quad (3.6.7)$$

$$N_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (3.6.8)$$

$$N_{no} = 0,8 \cdot N_o \quad ; \text{ untuk sengkang biasa} \quad (3.6.9)$$

$$N_{no} = 0,85 \cdot N_o \quad ; \text{ untuk sengkang spiral} \quad (3.6.10)$$

keterangan :

$N_o$  = kuat desak aksial nominal pada eksentrisitas nol

$N_u$  = gaya desak aksial terfaktor pada eksentrisitas tertentu

$N_n$  = kuat desak aksial pada eksentrisitas tertentu

$A_{st}$  = luas tulangan total pada kolom

$A_s'$  = luas tulangan tekan pada kolom

$A_s$  = luas tulangan tarik pada kolom

### 3. Tentukan nilai $x$ yang akan digunakan

Jika  $c > c_b$  : kolom ditinjau terhadap kegagalan akibat desak

Jika  $c < c_b$  : kolom ditinjau terhadap kegagalan akibat tarik

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad (3.6.11)$$

Syarat kegagalan :

a. Runtuh seimbang  $\longrightarrow c = c_b$

b. Runtuh desak  $\longrightarrow M_n < M_{nb} ; e < e_b ; N_n > N_{nb}$

c. Runtuh tarik  $\longrightarrow M_n > M_{nb} ; e > e_b ; N_n < N_{nb}$

kemudian dihitung

$$a = \beta_1 \cdot c \quad (3.6.12)$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \cdot 600 \quad (3.6.13)$$

$$f_s = \frac{d - c}{c} \cdot 600 \leq f_y \quad (3.6.14)$$

jika  $f_s' > f_y$  ;  $f_s' = f_y$

jika  $f_s' < f_y$  ;  $f_s' = f_s'$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot c \cdot \beta_1 \quad (3.6.15)$$

$$C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c) \quad (3.6.16)$$

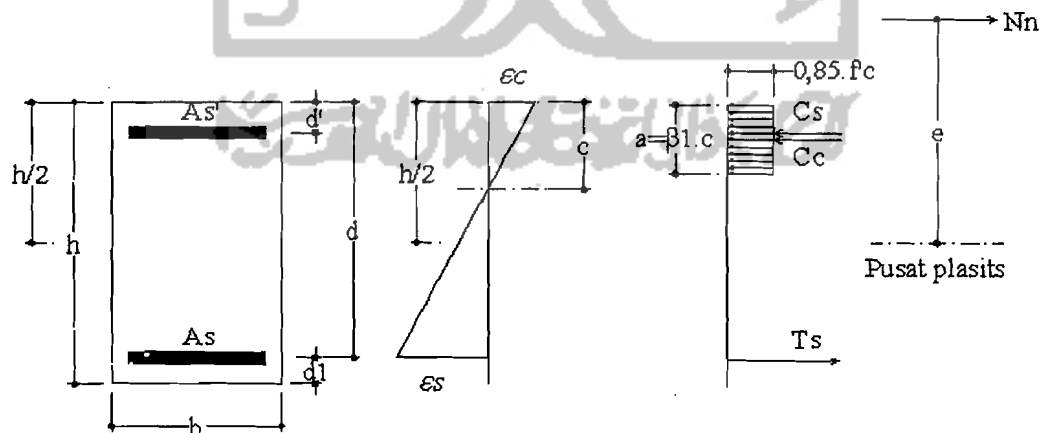
$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.6.17)$$

$$N_n = C_c + C_s - T_s \quad (3.6.18)$$

$$M_n = C_c \left( \bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T (d - \bar{y}) \quad (3.6.19)$$

$$\bar{y} = \frac{h}{2} \quad (3.6.20)$$

$$e = \frac{M_n}{N_n} \quad (3.6.21)$$



**Gambar 3.7** Diagram Tegangan Regangan Kolom

keterangan:

$M_n$  = kapasitas lentur kolom dalam keadaan seimbang

- $N_n$  = kuat Desak aksial kolom dalam keadaan seimbang
- $e$  = eksentrisitas gaya pada kolom dalam keadaan seimbang
- $f_s'$  = tegangan leleh baja tulangan yang terjadi pada tulangan desak
- $cb$  = jarak serat tekan terluar beton ke garis netral dalam keadaan seimbang
- $c$  = jarak serat tekan terluar beton ke garis netral

4. Pada saat  $N_n = 0$  ;  $M_n$  dihitung dengan menghitung seperti balok bertulangan sebelah.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.6.22)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.6.23)$$

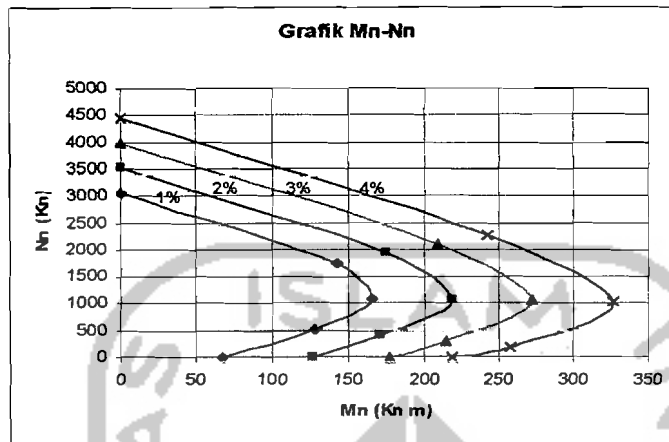
5. Pada saat  $M_n = 0$  ;  $N_n$  dihitung berdasarkan persamaan kuat desak aksial yang digunakan :

$$N_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + (A_{st} \cdot f_y) \quad (3.6.24)$$

6. Gambar Diagram Momen Nominal ( $M_n$ ) dan Gaya Desak Aksial Nominal ( $N_n$ ) ( $A_{st} = 1\% \cdot A_g$  ;  $A_{st} = 2\% \cdot A_g$  ;  $A_{st} = 3\% \cdot A_g$  ;  $A_{st} = 4\% \cdot A_g$ )

Gambar di bawah merupakan Diagram Interaksi Kolom, dimana kuat desak aksial diungkapkan sebagai  $\phi N_n \cdot e$  pada sumbu datar. Diagram hanya berlaku untuk kolom yang dianalisis saja, juga dapat memberikan gambaran tentang susunan pasangan kombinasi beban aksial dan kuat momen. Untuk titik-titik yang berada disebelah dalam diagram akan memberikan pasangan beban dan momen ijin, akan tetapi dengan menggunakannya, perencanaan kolom akan menjadi berlebihan (*overreinforced*). Titik-titik yang diluar diagram akan memberikan

pasangan beban dan momen yang menghasilkan penulangan yang kurang (*underreinforced*).



**Gambar 3.8** Diagram Momen Nominal- Kuat Desak Aksial Nominal (Mn-Nn)

### 3.6 Pembebanan Portal

Dalam perencanaan ini seluruh beban baik beban mati maupun beban hidup ditentukan berdasar Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983). Untuk komponen-komponen beban yang termasuk beban mati dan beban hidup ditransferkan ke balok menggunakan metode amplop sesuai dengan denah bangunan. Pemodelan dalam SAP 2000 disesuaikan dengan distribusi beban yang ditransferkan ke balok yaitu tetap dengan metode amplop.

#### 3.7.1 Beban Gempa Statik Ekivalen

Pembebanan gempa menurut PPKGURDG 1987 :

$$V_b = C \cdot I \cdot K \cdot W_t \quad (3.7.1)$$

Keterangan :

$V_b$  = gaya geser dasar

$C$  = koefisien gempa dasar

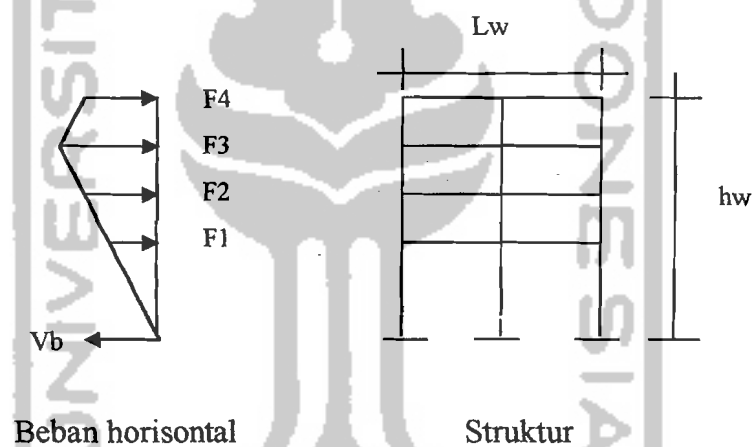
$I$  = Faktor keutamaan struktur

$K$  = Faktor jenis struktur

$W_t$  = Berat total keseluruhan bangunan

- Koefisien gempa dasar (C) ditentukan dari grafik untuk wilayah gempa 3 dengan memakai waktu getar alami struktur.
- Waktu getar alami (T) dalam SNI 1726-86 untuk struktur portal beton ditentukan dengan rumus :

$$T = 0,06.H^{3/4} \quad ; \text{ dengan : } H = \text{tinggi struktur}$$



**Gambar 3.9** Pembebanan gempa menurut PPKGURDG 1987

- Gaya geser pada masing-masing lantai tingkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

- untuk  $\frac{hw}{lw} < 3,0$

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x}{\sum W_x \cdot h_x} \cdot V_{bx} \quad (3.7.2)$$

$$F_y = \frac{W_y \cdot h_y}{\sum W_y \cdot h_y} \cdot V_{by} \quad (3.7.3)$$

- untuk  $\frac{hw}{tw} \geq 3,0$

$$F_x = 0,9 \frac{W_x \cdot h_x}{\sum W_x \cdot h_x} V_{bx} \rightarrow \text{untuk } F1, F2, F3 \quad (3.7.4)$$

$$F_x = 0,9 \frac{W_x \cdot h_x}{\sum W_x \cdot h_x} V_{bx} + (0,1 \cdot V_{bx}) \rightarrow \text{untuk } F4 \quad (3.7.5)$$

keterangan :

$F_x$  : beban horisontal tiap lantai pada arah x

$F_y$  : beban horisontal tiap lantai pada arah y

$W_x$  : berat tiap lantai pada arah x

$W_y$  : berat tiap lantai pada arah y

### 3.7.2 Perencanaan Balok dan Kolom Portal

#### A. Perencanaan Balok Portal Terhadap Lentur

Kuat lentur perlu balok portal ( $M_{u,b}$ ) harus dinyatakan berdasarkan kombinasi pembebanan tanpa atau dengan beban gempa sebagai berikut ini :

$$M_{u,b} = 1,2 \cdot M_{D,b} + 1,6 \cdot M_{L,bR} \quad (3.7.6)$$

$$M_{u,b} = 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{L,bR} \pm M_{E,b}) \quad (3.7.7)$$

$$M_{u,b} = 0,9 \cdot M_{D,b} \pm M_{E,b} \quad (3.7.8)$$

Keterangan :

$M_{u,b}$  = kuat lentur balok portal

$M_{D,b}$  = momen lentur balok portal akibat beban mati tak berfaktor

$M_{L,b}$  = momen lentur balok portal akibat beban hidup tak berfaktor

$M_{E,b}$  = momen lentur balok portal akibat beban gempa tak berfaktor



Untuk portal dengan daktilitas penuh perlu dihitung kapasitas lentur sendi plastis balok yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$M_{kap,b} = \phi_o \cdot M_{nak,b} \quad (3.7.9)$$

Keterangan :

$\phi_o$  = Faktor penambahan kekuatan (*overstrength factor*). Faktor yang memperhitungkan pengaruh penambahan kekuatan maksimal dari tulangan terhadap kuat leleh yang ditetapkan, diambil sebesar 1,25 untuk tulangan dengan  $f_y \leq 400$  Mpa, 1,40 untuk  $f_y \geq 400$  Mpa

$M_{nak,b}$  = Kuat momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan yang sebenarnya ada pada penampang balok yang ditinjau.

#### B. Perencanaan Kolom Portal Terhadap Lentur dan Aksial

Kuat lentur kolom portal dengan daktilitas penuh yang ditentukan pada bidang muka balok  $M_{u,b}$  harus dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu dengan kolom tersebut, yaitu :

$$M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot (M_{kap, Ki} + M_{kap, Ka}) \quad (3.7.10)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$M_{u,k} = 1,05 \left( M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4,0}{K} \cdot M_{E,k} \right) \quad (3.7.11)$$

keterangan :

$\omega$  = koefisien pembesaran dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan.



$\sum M_{kap,b}$  = jumlah momen kapasitas balok pada pusat joint, yang berhubungan dengan kapasitas lentur aktual balok (untuk jumlah luas tulangan yang sebenarnya terpasang).

$M_{D,K}$  = momen pada kolom akibat beban mati.

$M_{L,K}$  = momen pada kolom akibat beban hidup.

$M_{E,K}$  = momen pada kolom akibat beban gempa

$K$  = faktor jenis struktur

$M_{nak,b}$  = kuat momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan yang sebenarnya ada pada penampang balok yang ditinjau.

Sedangkan beban aksial rencana yang bekerja pada kolom portal daktilitas penuh dihitung dengan:

$$N_{u,k} = \frac{0,7 \cdot R_v \cdot \sum M_{kap,b}}{l} + 1,05 N_{g,k} \quad (3.7.13)$$

tetapi dalam segala hal :

$$N_{u,k} > 1,05 \left( N_{g,k} + \frac{4,0}{K} \cdot N_{E,k} \right) \quad (3.7.14)$$

keterangan :

$R_v$  = faktor reduksi yang dihitung dari

1,0                      untuk  $1 < n \leq 4$

1,1-0,025n            untuk  $4 < n \leq 20$

0,6                      untuk  $n > 20$

$n$  = jumlah lantai tingkat di atas kolom yang ditinjau

$l$  = bentang balok, diukur dari pusat join

$N_{g,k}$  = gaya aksial akibat beban gravitasi terfaktor pada pusat join

$N_{E,k}$  = gaya akibat beban gempa pada pusat join

### C. Perencanaan Balok Portal Terhadap gaya geser

Besarnya gaya geser rencana  $V_u$  yang harus ditahan oleh komponen struktur lentur tahan gempa dengan daktilitas 3, menurut SK SNI T-15-1991-03 adalah :

$$V_{u,b} = 0,7 \left( \frac{M_{kap} + M_{kap}'}{l_n} \right) + 1,05 V_g \quad (3.7.15)$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,b} = 1,05 \left( V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4,0}{K} V_{E,b} \right) \quad (3.7.16)$$

keterangan :

$M_{kap}$  = momen kapasitas (momen nominal aktual) di sendi plastis pada suatu ujung atau bidang muka kolom.

$M_{kap}'$  = momen kapasitas pada ujung lainnya.

$l_n$  = bentang bersih balok

$V_D$  = gaya geser balok akibat beban mati

$V_L$  = gaya geser balok akibat beban hidup

$V_E$  = gaya geser balok akibat beban gempa

$K$  = faktor jenis struktur

$V_g$  = gaya geser balok akibat berat sendiri dan beban gravitasi

### D. Perencanaan Kolom Portal Terhadap Geser

Kuat geser portal dengan daktilitas penuh berdasarkan sendi-sendi plastis pada ujung-ujung balok yang bertemu pada kolom harus dihitung sebagai berikut :

Untuk kolom lantai atas dan lantai dasar :

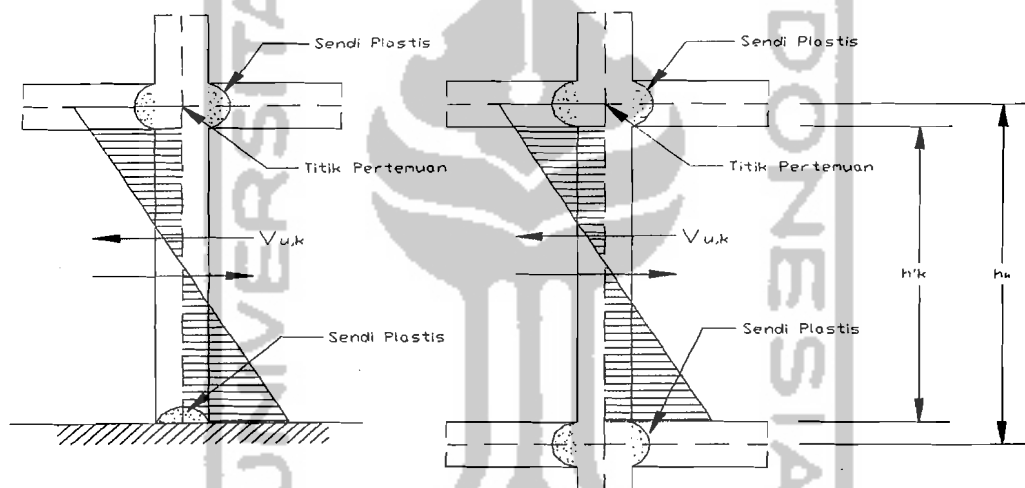
$$V_{u,k} = \frac{M_{u,katas} + M_{u,kbawah}}{hn} \quad (3.7.17)$$

Dan dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 \cdot \left( M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,k} \right) \quad (3.7.18)$$

Kapasitas lentur sendi plastis kolom dapat dihitung :

$$M_{kap, k bawah} = \phi_o \cdot M_{nak, k bawah} \quad (3.7.19)$$



**Gambar 3.10** Kolom dengan  $M_{u,k}$  Berdasarkan Kapasitas Sendi Plastis Balok

keterangan :

$M_{u,k atas}$  = momen rencana kolom ujung atas dihitung pada muka balok

$M_{u,k bawah}$  = momen rencana kolom ujung bawah dihitung pada muka balok

$M_{kap, k bawah}$  = kapasitas lentur ujung dasar kolom lantai dasar

$M_{nak, k bawah}$  = kuat lentur nominal aktual ujung dasar kolom lantai dasar

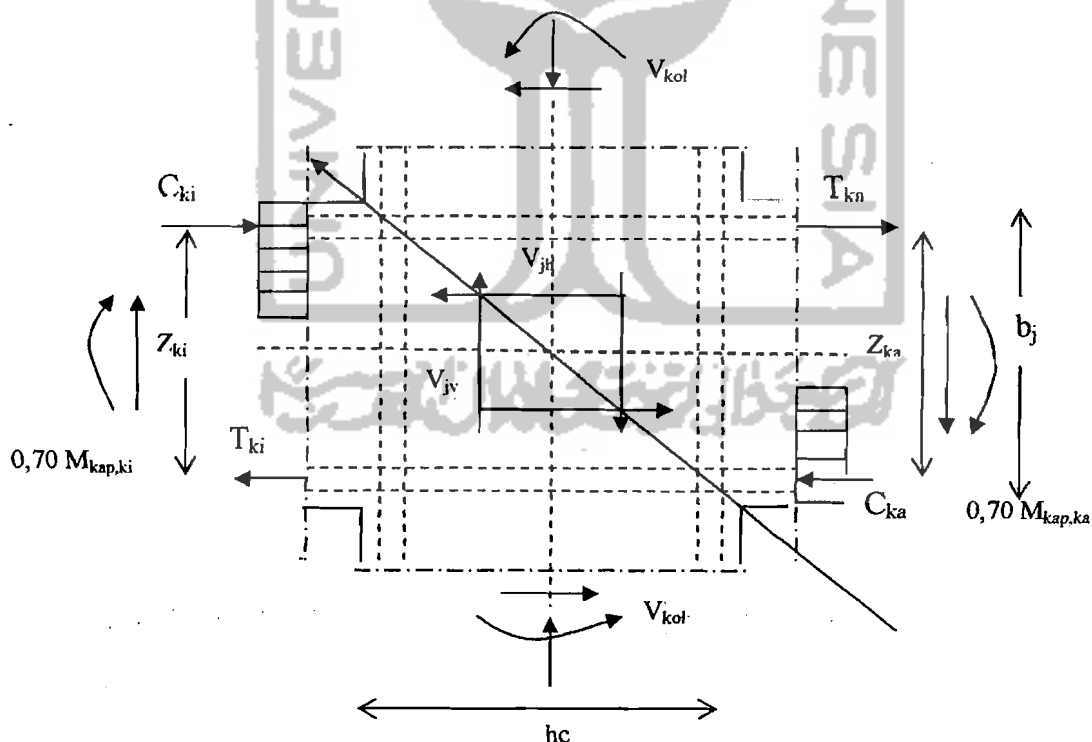
$M_{kap,ki}$  = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salah satu ujung balok kiri atau bidang muka kolom kiri.

$M_{kap,ka}$  = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salah satu ujung balok kanan atau bidang muka kolom kanan.

### 3.7.3 Perencanaan Panel Pertemuan Balok Kolom

Pada titik pertemuan rangka join harus terjadi keseimbangan antara gaya-gaya yang terjadi pada join tersebut.

Keseimbangan gaya-gaya pada titik pertemuan rangka dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.10** Panel Pertemuan Balok dan Kolom Portal

Dimana:

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \quad (3.7.20)$$

Dengan,

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,70 \frac{M_{kapki}}{Z_{ki}} \quad (3.7.21)$$

$$T_{ka} = C_{ka} = 0,70 \frac{M_{kapka}}{Z_{ka}} \quad (3.7.22)$$

$$V_{kol} = \frac{0,70 \left( \frac{l_{ki}}{l_{ki'}} M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka'}} M_{kap,ka} \right)}{\frac{1}{2} (h_{ka} + h_{ki})} \quad (3.7.23)$$

Tegangan geser horizontal nominal dalam join adalah sebagai berikut:

$$V_{jh \text{ aktual}} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} < 1,5 \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \quad (3.7.24)$$

Keterangan :

$b_j$  = lebar efektif join

$h_c$  = tinggi total penampang kolom dalam arah geser yang ditinjau

Gaya geser horizontal  $V_{jh}$  ini tahan oleh dua mekanisme kuat geser int join, yaitu;

1. strat beton diagonal yang melewati daerah tekan ujung join yang memikul gaya geser  $V_{ch}$
2. mekanisme panel rangka yang terdiri dari sengkang horisontal dan strat beton diagonal daerah tarik join yang memikul gaya geser  $V_{sh}$

Besarnya  $V_{ch}$  harus diambil sama dengan nol, kecuali bila :

1. Tegangan tekan minimal rata-rata pada penampang bruto kolom diatas join, termasuk tegangan prategang . Jika ada dan melebihi nilai  $0,1 f'c$  maka :

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\left( \frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \cdot h_j \quad (3.7.25)$$

2. Balok diberi gaya prategang yang melewati join, maka :

$$V_{ch} = 0,7 \cdot P_{cs} \quad (3.7.26)$$

Dengan  $P_{cs}$  adalah gaya permanen gaya prategang yang terletak di sepertiga bagian tengah tinggi kolom.

3. Seluruh balok pada join dirancang sehingga penampang kritis dari sendi plastis terletak pada jarak yang lebih kecil dari tinggi penampang balok diukur dari muka kolom, maka :

$$V_{ch} = 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left( 1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \quad (3.7.27)$$

Dimana rasio  $\frac{A_s'}{A_s}$  tidak boleh lebih besar dari satu (1).

Bila tegangan rata-rata minimum pada penampang bruto kolom diatas join kurang dari  $0,1 f'c$  ( $\rho_c < 0,1 f'c$ ) maka :

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \sqrt{\left( \frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \cdot h_j \quad (3.7.28)$$

Pada join rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis :

$$V_{sh} = V_{jh} - 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left( 1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \quad (3.7.29)$$

Luas total efektif dari tulangan geser horizontal yang melewati bidang kritis diagonal dengan yang diletakkan di daerah tekan join efektif ( $b_j$ ) tidak boleh

kurang dari : 
$$A_{jh} = \frac{V_{jh}}{f_y} \quad (3.7.30)$$

Luas total efektif dari tulangan geser ini harus didistribusikan secara merata diantara tulangan balok longitudinal atas dan bawah.

Geser join vertikal ( $V_{jv}$ ) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{jv} = V_{jh} \cdot \frac{d}{h_c} \quad (3.7.31)$$

Tulangan join geser vertikal didapat dari :  $V_{sv} = V_{jv} - V_{cv}$

menjadi : 
$$V_{cv} = A_{sc} \cdot \frac{V_{sh}}{V_{sc}} \cdot \left( 0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'c} \right) \quad (3.7.32)$$

keterangan :  $A_{sc}'$  = luas tulangan longitudinal tekan

$A_{sc}$  = luas tulangan longitudinal tarik

Sehingga luas tulangan join vertikal : 
$$A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y} \quad (3.7.33)$$

Tulangan geser join vertikal ini harus terdiri dari tulangan kolom antara (*intermediate bars*) yang terletak pada bidang lentur antara ujung tulangan terbesar atau terdiri dari sengkang-sengkang pengikat vertikal (syarat-syarat tulangan geser join vertikal dapat dilihat dalam SK SNI T-15-1991-03 pada 3.14.6.6)

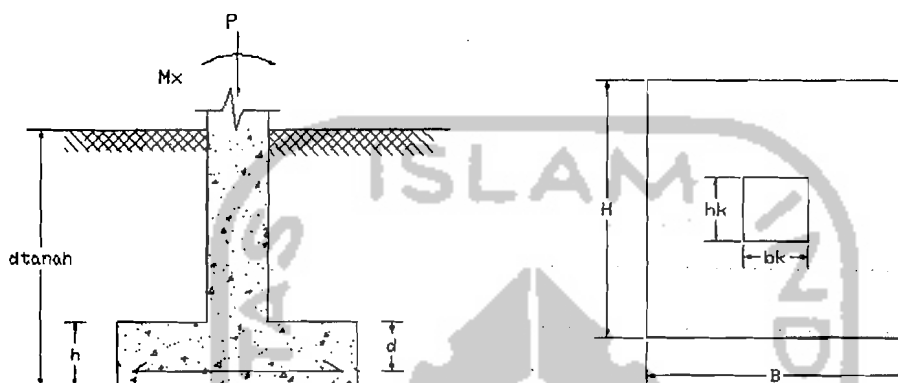


### 3.8 Perencanaan Pondasi

#### 3.8.1 Perencanaan Pondasi Setempat

##### A. Perencanaan Dimensi Pondasi

##### ➤ Tinjauan Terhadap Beban Tetap



Gambar 3.11 Penampang Pondasi Setempat

$$\sigma_{\text{netto tanah}} = \sigma_{\text{tanah}} - \sum(h \cdot \gamma_{\text{beton}}) - \sum(h \cdot \gamma_{\text{tanah}}) \quad (3.8.1)$$

$$\sigma_{\text{netto tanah}} = \frac{P}{A_{\text{perlu}}} + \frac{6 \cdot My}{By^2 \cdot Bx} + \frac{6 \cdot Mx}{Bx^2 \cdot By} \quad (3.8.2)$$

dicoba dengan nilai  $By = Bx$ , sehingga didapat nilai  $A_{\text{ada}} = By \times Bx > A_{\text{perlu}}$

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P}{\sigma_{\text{netto tanah}} - \left( \frac{6 \cdot My}{By^2 \cdot Bx} \right) - \left( \frac{6 \cdot Mx}{Bx^2 \cdot By} \right)} \quad (3.8.3)$$

Kontrol tegangan kontak yang terjadi di dasar pondasi :

$$\sigma_{\text{kontak}} = \frac{P}{A_{\text{ada}}} + \frac{6 \cdot My}{H^2 \cdot B} + \frac{6 \cdot Mx}{B^2 \cdot H} \quad (3.8.4)$$

keterangan :

- Nilai P, Mx, My didapat dari hasil analisa SAP2000

-  $\gamma_{\text{tanah}}$  = berat volume tanah

### ➤ Tinjauan Terhadap Beban Sementara

Eksentrisitas yang terjadi :

$$e_x = \frac{M_x}{P} \quad (3.8.5)$$

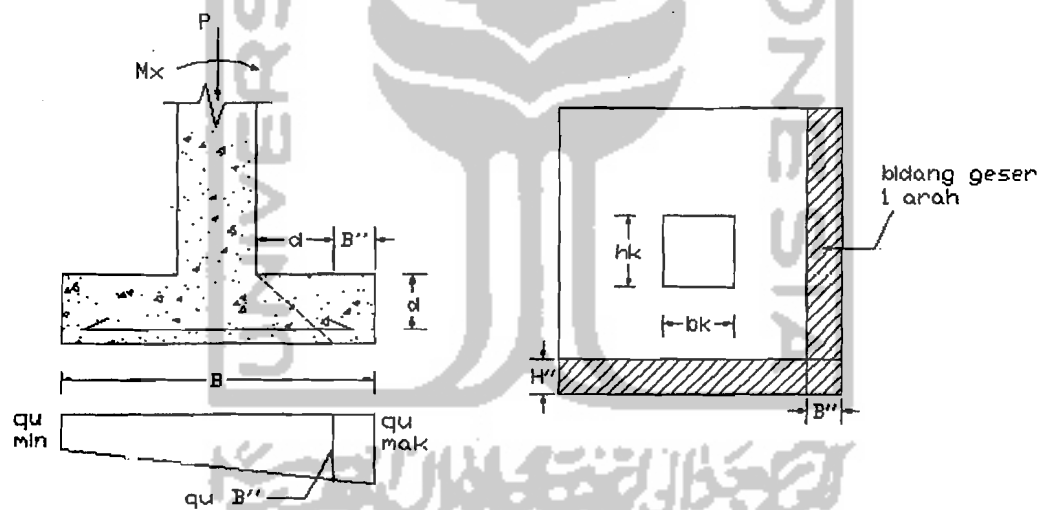
$$e_y = \frac{M_y}{P} \quad (3.8.6)$$

Kontrol tegangan yang terjadi :

$$\sigma = \frac{P}{(H.(B - 2.e_x)) + (B.(H - 2.e_y))} \quad (3.8.7)$$

### B. Perencanaan Geser Satu Arah

❖ Ditinjau pada arah momen terbesar



Gambar 3.12 Pondasi dengan geser satu arah

$$H'' = \frac{H - h_k - 2.d}{2} \quad (3.8.8)$$

$$B'' = \frac{B - b_k - 2.d}{2} \quad (3.8.9)$$

- Tegangan kontak yang terjadi :

$$q_{u_{\max/\min}} = \frac{P}{A_{ada}} \pm \frac{6.M}{B^2.H} \quad (3.8.10)$$

$$q_{u_{B''}} = \frac{(B - B'').q_{u_{\max}} + B''.q_{u_{\min}}}{B} \quad (3.8.11)$$

$$q_{u_{\text{pakai}}} = \frac{1}{2} \cdot (q_{u_{\max}} + q_{u_{B''}}) \quad (3.8.12)$$

- Gaya geser akibat beban luar yang bekerja pada penampang kritis pondasi :

$$V_u = q_{u_{\text{pakai}}} \cdot H'' \quad (3.8.13)$$

- Kekuatan beton menahan geser:

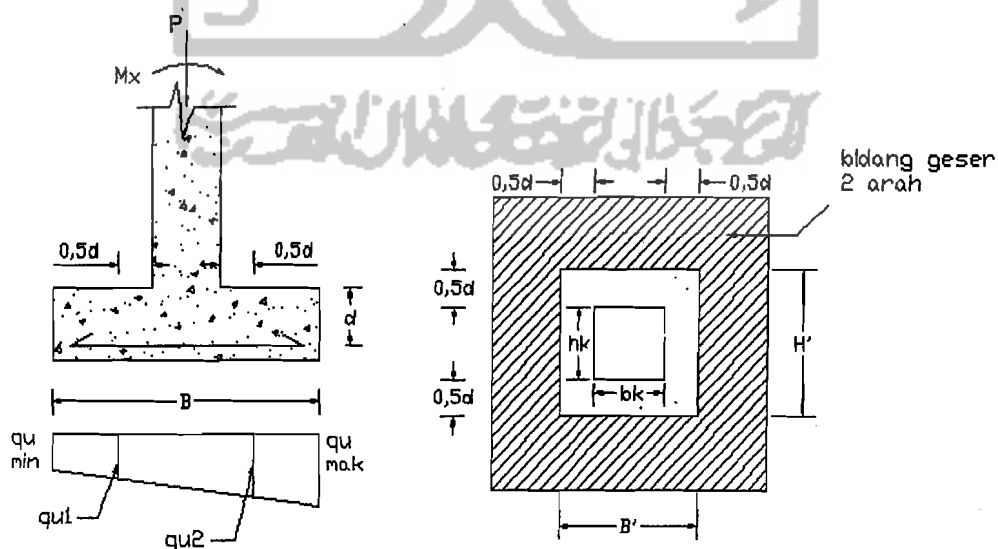
$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot B \cdot d \quad (3.8.14)$$

- Kontrol gaya geser :

$$V_c \geq \frac{V_u}{\phi} \quad (3.8.15)$$

### C. Perencanaan Geser Dua Arah

- ❖ Ditinjau pada arah momen terbesar



**Gambar 3.13** Pondasi dengan geser dua arah

$$H' = hk + d \quad (3.8.16)$$

$$B' = bk + d \quad (3.8.17)$$

- Tegangan kontak yang terjadi :

$$q_{u_{\max/\min}} = \frac{P}{A_{\text{perlu}}} \pm \frac{6.M_y}{Bx^2.B_y} \pm \frac{6.M_x}{By^2.B_x} \quad (3.8.18)$$

$$q_{u_{\text{pakai}}} = \frac{1}{2} (q_{u_{\max}} + q_{u_{\min}}) \quad (3.8.19)$$

- Gaya geser akibat beban luar yang bekerja pada penampang kritis pondasi :

$$V_u = q_{u_{\text{pakai}}} \cdot ((H \cdot B) - (H' \cdot B')) \quad (3.8.20)$$

- Kekuatan beton menahan geser :

$$\beta_c = \frac{\text{sisipanjang}}{\text{sisipendek}} = \frac{hk}{bk} \quad (3.8.21)$$

$$b_o = 2 \cdot (H' + B') \quad (3.8.22)$$

$$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c}) \cdot (2 \cdot \sqrt{f'c}) \cdot b_o \cdot d \quad (3.8.23)$$

$$V_{c2} = 4 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.8.24)$$

- Kontrol gaya geser :

Digunakan nilai yang terkecil dari  $V_{c1}$  dan  $V_{c2}$

$$V_c \geq \frac{V_u}{\phi} \quad (3.8.25)$$

#### D. Kuat Tumpuan Pondasi

- Kuat tumpuan Pondasi :

$$\phi \cdot P_n = \phi \cdot (0,85 \cdot f'c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}) \quad (3.8.26)$$

- Kuat tumpuan kolom :

$$\phi.P_n = \phi. (0,85. f_c. A_1) \quad (3.8.27)$$

- Kontrol kuat tumpuan :

$$\phi.P_{n_{pondasi}} > \phi.P_{n_{kolom}} \quad (3.8.28)$$

### E. Perencanaan Tulangan Lentur Pondasi

Diambil nilai lebar pondasi tiap 1 meter = 1000 mm

- Tulangan arah B :  $l_1 = \frac{1}{2} (B - b_k)$  (3.8.29)

$$M_{u1} = \frac{1}{2} . q_u . l_1^2 \quad (3.8.30)$$

- Tulangan arah H :  $l_2 = \frac{1}{2} (H - h_k)$  (3.8.31)

$$M_{u2} = \frac{1}{2} . q_u . l_2^2 \quad (3.8.32)$$

Diambil nilai  $M_{u1}$  atau  $M_{u2}$  yang terbesar . Untuk  $M_u$  yang besar letak tulangan di bawah sedangkan  $M_u$  yang kecil letak tulangan di atas. Untuk pondasi diambil nilai penutup beton ( $P_b$ )  $\geq 70$  mm.

$$d = h - P_b - 0,5 . \phi_{tul. bawah} \quad \longrightarrow \quad \text{Untuk tul. Bawah}$$

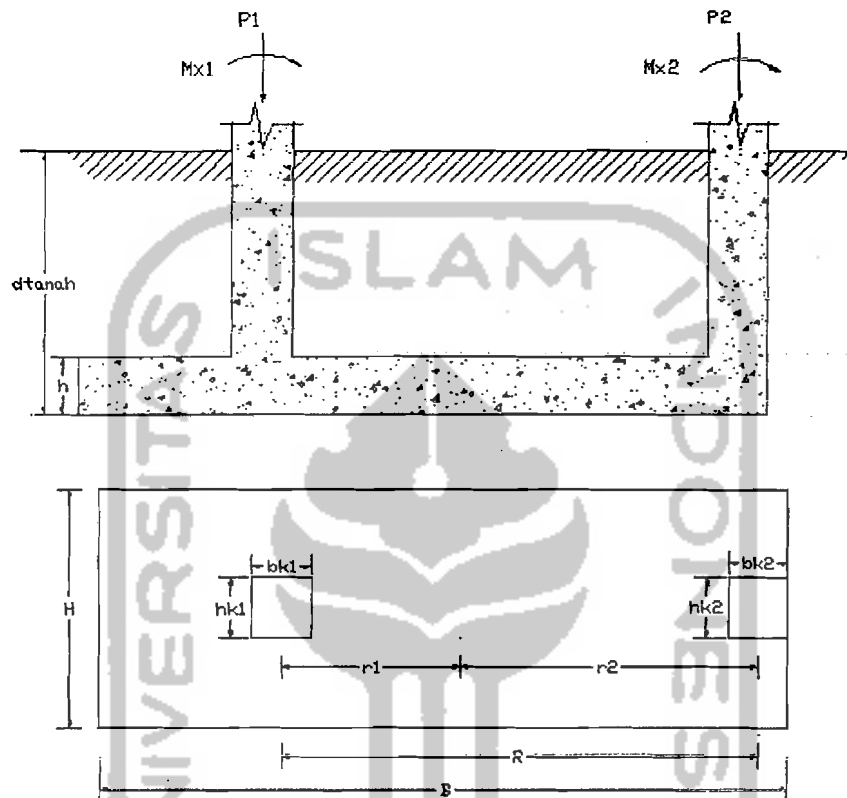
$$d = h - P_b - \phi_{tul. bawah} - 0,5 . \phi_{tul. atas} \quad \longrightarrow \quad \text{Untuk tul. Atas}$$

Untuk selanjutnya perhitungan penulangan seperti perhitungan penulangan pelat lantai.

### 3.8.2 Pondasi Gabungan

#### A. Perencanaan Dimensi Pondasi

##### ➤ Tinjauan Terhadap Beban Tetap



Gambar 3.14 Penampang Pondasi Gabungan

$$\sigma_{\text{netto tanah}} = \sigma_{\text{tanah}} - \Sigma(h \cdot \gamma_{\text{beton}}) - \Sigma(h \cdot \gamma_{\text{tanah}}) \quad (3.8.32)$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 \quad (3.8.33)$$

Maka didapat resultan gaya dari gabungan pondasi :

$P_{\text{total}} \cdot r_1 = P_2 \cdot R$  selanjutnya panjang pondasi (B) bisa dicari :

$$B = r_2 \cdot 2 + 0,5 \cdot bk_2 \quad (3.8.34)$$

Dimensi luas pelat pondasi : (terdapat momen yang bekerja pada arah x dan y)

Dicoba dengan nilai B yang didapat dengan H coba-coba :

$$\sigma_{\text{netto tanah}} = \frac{P}{B.H} + \frac{6.M_y}{H^2.B} + \frac{6.M_x}{B^2.H} \quad (3.8.35)$$

### ➤ Tinjauan Terhadap Beban Sementara

Eksentrisitas yang terjadi

$$e_x = \frac{M_{x_{tot}}}{P_{tot}} \quad (3.8.36)$$

$$e_y = \frac{M_{y_{tot}}}{P_{tot}} \quad (3.8.37)$$

Kontrol tegangan yang terjadi :

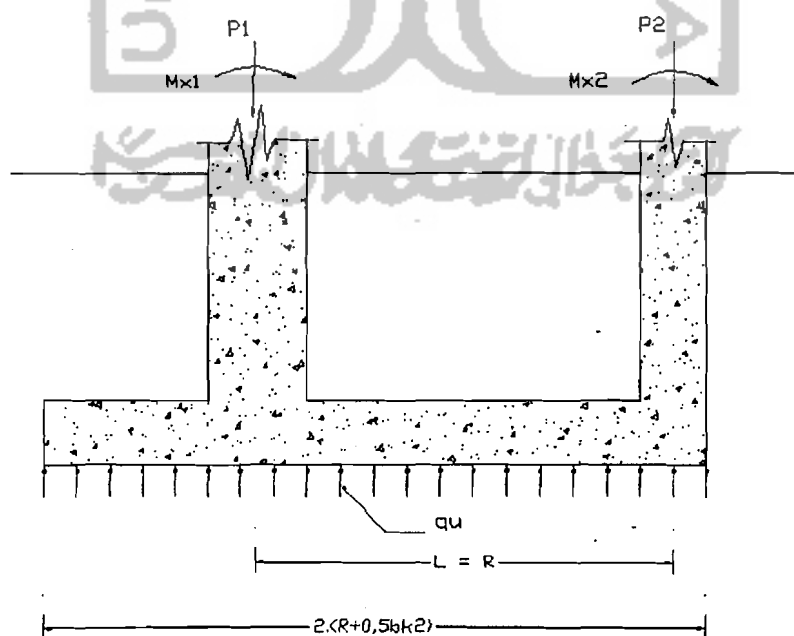
$$\sigma_{\text{kontak}} = \frac{P_{tot}}{(H.(B-2.e_x)) + (B.(H-2.e_y))} \quad (3.8.38)$$

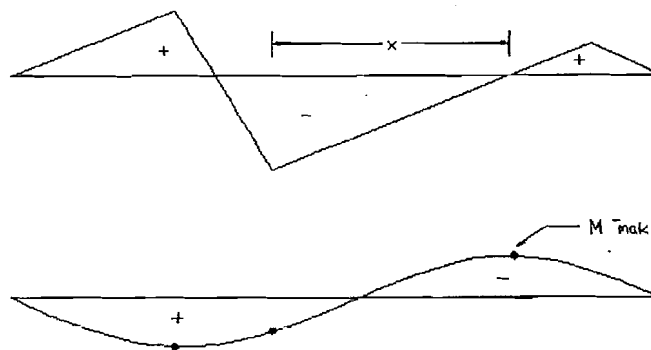
### B. Perencanaan Geser Satu Arah

❖ Ditinjau pada arah memanjang

Tegangan kontak yang terjadi :

$$q_u = \frac{P_{tot}}{A_{uda}}, \text{ didapatkan nilai } q_u \cdot H$$





**Gambar 3.15** Contoh Diagram Geser dan Momen Pondasi Gabungan

- Gaya geser akibat beban luar yang bekerja pada penampang kritis pondasi :

$$V_{ud} = V_{mak} - (q_u \cdot H) \cdot d \quad (3.8.39)$$

- Kekuatan beton menahan geser:

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot B \cdot d \quad (3.8.40)$$

- Kontrol gaya geser :

$$V_c \geq \frac{V_u}{\phi} \quad (3.8.41)$$

Untuk Perencanaan selanjutnya yaitu perencanaan geser dua arah, kuat tumpuan pondasi dan penulangan lentur pondasi digunakan rumus-rumus seperti pada perencanaan pondasi setempat.