

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Perencanaan Atap

Perencanaan atap baja menggunakan metode perencanaan tegangan kerja (*working stress design*) dari AISC, yang meliputi :

##### 3.1.1 Perencanaan gording

Dalam perencanaan gording harus memenuhi syarat-syarat antara lain :

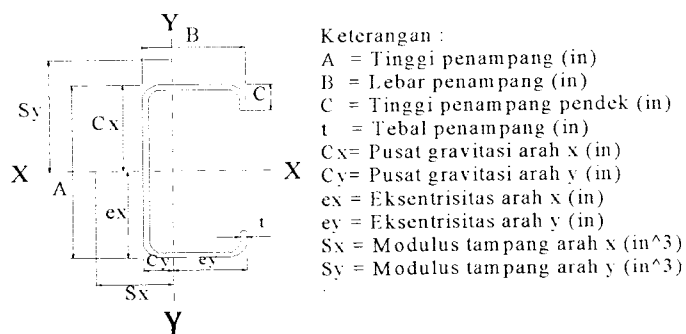
###### 1. Tegangan

$$\frac{fbx}{0,66fy} + \frac{fby}{0,75fy} \leq 1,0 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$fbx = \frac{M_{\perp} \cdot \max}{S_x} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$fby = \frac{M_{\parallel} \cdot \max}{S_y} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

- Dimana :
- fbx = tegangan lentur arah sumbu x (ksi)
  - fby = tegangan lentur arah sumbu y (ksi)
  - fy = tegangan leleh baja (ksi)
  - Sx = modulus elastis tampang arah sumbu x (in<sup>3</sup>)
  - Sy = modulus elastis tampang arah sumbu y (in<sup>3</sup>)
  - M<sub>⊥</sub> = momen tegak lurus arah sumbu batang (k.in)
  - M<sub>∥</sub> = momen sejajar sumbu batang (k.in)



**Gambar 3.1** Propertis penampang gording

## 2. Lendutan

$$\delta_{\perp} = \frac{5}{384} \frac{q_{\perp} \cdot L^4}{EI_x} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\delta_{//} = \frac{5}{384} \frac{q_{//} \cdot L^4}{EI_y} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_{\perp}^2 + \delta_{//}^2} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana :  $\delta$  = resultan lendutan (mm)

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

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

$E$  = modulus elastis baja ( 29000 ksi )

$I_x$  = Inersia arah sumbu x (mm<sup>4</sup>)

$I_y$  = Inersia arah sumbu y (mm<sup>4</sup>)

### 3.1.2 Perencanaan sagrod

Dalam perencanaan sagrod dipakai :

$$P = 0,33 \cdot F_u \cdot A_{sagrod} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

Beban yang digunakan adalah beban arah sejajar sumbu (P//) :

$$P_{//} = P \cdot \sin \alpha \cdot S_s \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

Sehingga luas tampang sagrod :

$$A_{sagrod} = \frac{P}{0,33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{sagrod} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

$$D_{sagrod} = \sqrt{\frac{(4 \cdot P)}{(0,33 \cdot F_u \cdot \pi)}} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

$$D_{pakai} = D_{sagrod} + 3 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

Dimana :  $P$  = gaya yang bekerja (kips)

$P//$  = gaya sejajar sumbu batang (kips)

$F_u$  = kuat tarik baja (ksi)

$S_s$  = jarak beban sagrod (in)

$D$  = diameter sagrod (in)

$A$  = luas penampang sagrod ( $\text{in}^2$ )

### 3.1.3 Perencanaan tierod

Gaya batang  $T = P// \cdot \cos \alpha$  .....(3.12)

$$T = 0,33 \cdot F_u \cdot A_{\text{tierod}} \quad \text{.....(3.13)}$$

Sehingga :

$$A_{\text{tierod}} = \frac{T}{0,33 F_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{\text{tierod}} \quad \text{.....(3.14)}$$

$$D_{\text{tierod}} = \sqrt{\frac{(4 \cdot T)}{(0,33 \cdot F_u \cdot \pi)}} \quad \text{.....(3.15)}$$

$$D_{\text{pakai}} = D_{\text{tierod}} + 3 \text{ mm} \quad \text{.....(3.16)}$$

Dimana :  $T$  = tegangan yang bekerja (kips)

$F_u$  = kuat tarik baja (ksi)

$D$  = diameter tierod (in)

$A$  = luas penampang tierod ( $\text{in}^2$ )

### 3.1.4 Perencanaan batang tarik

Langkah-langkah perencanaan batang tarik :

1. Menentukan angka kelangsingan ( $\lambda = L/r$ )

Angka kelangsingan maksimum yang dapat diterima untuk

batang tarik :

Untuk elemen/batang utama..... $\lambda = L/r \leq 240$

Untuk elemen/batang sekunder/bracing..... $\lambda = L/r \leq 300$

Sehingga untuk elemen/batang utama, diperoleh :

$$r_{\min} = \frac{L}{240} \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

2. Menentukan luas bruto ( $A_g$ ), luas netto ( $A_n$ ) dan luas efektif ( $A_{eff}$ ) :

$$A_{g1} = \frac{T}{0,6 \cdot f_y} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

$$A_{g2} = \frac{T}{0,5 \cdot F_u \cdot \mu} + \left( \frac{1''}{8} + \phi_{baut} \right) \cdot tp \cdot n \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

Dipakai profil yang luasannya ( $A$ ) lebih besar dari nilai  $A_g$  terpakai :

$$A_{netto} = A_{bruto} - \left( \frac{1''}{8} + \phi_{baut} \right) \cdot tp \cdot n \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

$$A_{effektif} = \mu \cdot A_{netto} \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

Dimana :  $L$  = panjang batang (in)

$T$  = gaya tarik (kips)

$r$  = jari-jari inersia terkecil profil (in)

$A_{netto}$  = luas bersih penampang (in<sup>2</sup>)

$A_g$  = luas kotor penampang (in<sup>2</sup>)

$n$  = jumlah baut

$\phi$  = diameter baut (in)

$tp$  = tebal pelat (in)

$\mu$  = faktor reduksi luas netto, dengan kriteria :

- a. lebar sayap  $\geq \frac{2}{3}x$  kedalaman, sambungan pada sayap – sayap minimal 3 ikatan pergaris dalam garis tekanan

$$\mu = 0,90$$

b. minimum 3 ikatan perbaris tekanan yang tidak sama dengan kriteria diatas  $\mu = 0,85$

c. 2 ikatan perbaris tekanan  $\mu = 0,75$

3. Kontrol tegangan tarik yang terjadi

a. Tampang tanpa lubang :  $f_a = \frac{T}{A_{profil}} \leq 0,6.f_y$  .....(3.22)

b. Tampang ada lubang :  $f_a = \frac{T}{A_{effektif}} \leq 0,5.F_u$  .....(3.23)

Dimana :  $f_a$  = Tegangan tarik yang terjadi (ksi)

### 3.1.5 Perencanaan batang desak

Langkah-langkah perencanaan batang desak :

1. Menentukan profil

Pada prinsipnya sama dengan proses penentuan profil batang tarik.

2. Kontrol terhadap tekuk dan kelangsingan

Setelah profil baja didapat, dilakukan terlebih dahulu dengan mengontrol tekuk setempat (*local buckling*) :

$$\frac{bf}{tw} \leq \frac{76}{\sqrt{f_y}} \quad (f_y \text{ dalam ksi}) \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

dan kontrol kelangsingan :

$$\frac{KL}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}} = \frac{756}{\sqrt{f_y}} \quad (f_y \text{ dalam ksi}) \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

$$\leq C_c = \frac{6440}{\sqrt{f_y}} \quad (f_y \text{ dalam kg/cm}^2)$$

$$\leq C_c = \frac{1987}{\sqrt{f_y}} \quad (f_y \text{ dalam MPa})$$

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3 \cdot (KL/r)}{8 \cdot C_c} - \frac{1 \cdot (KL/r)^2}{8 \cdot C_c^2} \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

$$F_a = \frac{f_y}{F_s} \left( 1 - 0,5 \left( \frac{Kl}{C_c} \right)^2 \right) \dots\dots\dots(3.27)$$

Tetapi jika  $\frac{Kl}{r} > C_c$ , maka :

$$F_a = \frac{12}{23} \frac{\pi^2 E}{(Kl/r)^2} \dots\dots\dots(3.28)$$

dimana :  $F_a$  = tegangan ijin pada luas bruto dalam kondisi beban kerja (ksi)

$Kl/r$  = angka kelangsingan elemen desak

$F_s$  = faktor keamanan

### 3. Kontrol beban

$$T = F_a \cdot A_{total} > P \dots\dots\dots(3.29)$$

dimana :  $T$  = beban ijin

$P$  = beban yang terjadi

## 3.1.6 Perencanaan sambungan

### 1. Menghitung kekuatan 1 baut

$$P_{tumpu} = t_p \cdot D_{baut} \cdot 1,2 \cdot F_{upelat} \cdot N \dots\dots\dots(3.30)$$

$$P_{geser} = A_{baut} \cdot F_v \cdot 2N = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot F_v \cdot 2N \dots\dots\dots(3.31)$$

dengan  $F_v = 0,22 \cdot F_{ubaut}$ , untuk baut non fulldrat

$F_v = 0,17 \cdot F_{ubaut}$ , untuk baut fulldrat

### 2. Menghitung jumlah baut

$$N = \frac{P_{terjadi}}{P_{baut}} \dots\dots\dots(3.32)$$

## 3.2 Perencanaan Beton Bertulang

### 3.2.1 Perencanaan pelat dua arah

#### 1. Menentukan tebal minimum pelat (h)

Pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 butir 3.3 memberikan pendekatan empiris mengenai batasan defleksi dilakukan dengan tebal pelat minimum sebagai berikut :

$$h \geq \frac{Ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta \left[ \alpha_m - 0,12 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (3.33)$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h \geq \frac{Ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (3.34)$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h \leq \frac{Ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36} \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

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

- Untuk  $\alpha_m < 2,0$  digunakan nilai h minimal 120 mm.
- Untuk  $\alpha_m \geq 2,0$  digunakan nilai h minimal 90 mm.

dimana :

$Ln$  = bentang terkecil pada pelat dihitung dari as kolom (mm)

$\alpha_m$  = rasio kekakuan balok terhadap pelat

$\beta$  = rasio panjang terhadap lebar bentang pelat

## 2. Menentukan momen lentur terjadi

Perencanaan dan analisis dengan menggunakan *metode koefisien momen*. Besar momen lentur dalam arah bentang panjang :

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{tx} \quad \dots\dots\dots(3.36)$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{lx} \quad \dots\dots\dots(3.37)$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{ty} \quad \dots\dots\dots(3.38)$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{ly} \quad \dots\dots\dots(3.39)$$

dimana :

$q_u$  = beban merata (KN/m<sup>2</sup>)

$M_{tx}$  = momen tumpuan arah sumbu x (KNm)

$M_{lx}$  = momen lapangan arah sumbu x (KNm)

$M_{ty}$  = momen tumpuan arah sumbu y (KNm)

$M_{ly}$  = momen lapangan arah sumbu y (KNm)

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

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

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

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

$L_x$  = panjang pelat arah sumbu x / bentang pendek (m)

$L_y$  = panjang pelat arah sumbu y / bentang panjang (m)

Nilai koefisien momen (c) diambil dari tabel 13.3.1 dan 13.3.2 PBI 1971

## 3. Menentukan tinggi manfaat (d) arah x dan y

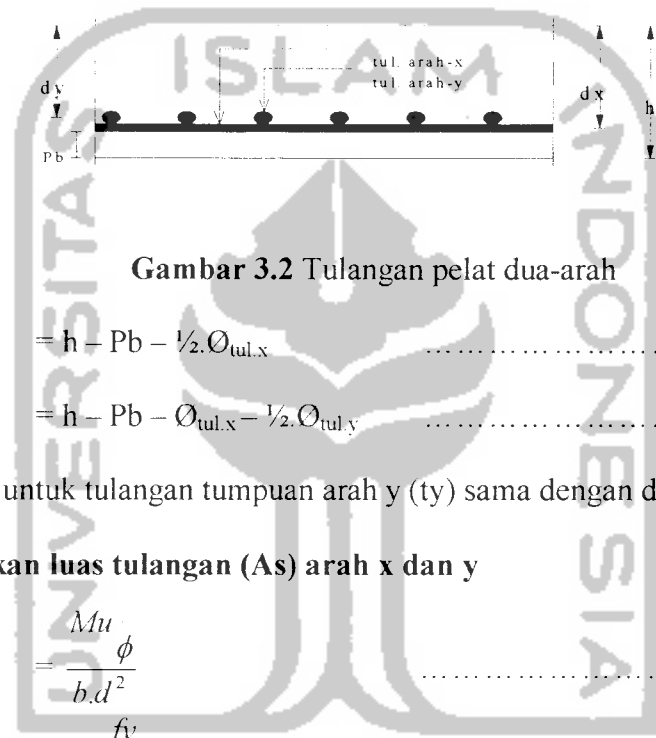
$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \dots\dots\dots(3.40)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \quad \dots\dots\dots(3.41)$$



$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(3.42)$$

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.



Gambar 3.2 Tulangan pelat dua-arah

$$dx = h - Pb - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul.x} \dots\dots\dots(3.43)$$

$$dy = h - Pb - \phi_{tul.x} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul.y} \dots\dots\dots(3.44)$$

dy untuk tulangan tumpuan arah y (ty) sama dengan dx

**4. Menentukan luas tulangan (As) arah x dan y**

$$Rn = \frac{Mu \cdot \phi}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(3.45)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots(3.46)$$

$$\rho_{ada} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right] \dots\dots\dots(3.47)$$

- a) Jika  $\rho_{ada} > \rho_{maks}$  ; maka tebal minimum (h) harus diperbesar
- b) Jika  $\rho_{\min} < \rho_{ada} < \rho_{maks}$  ; dipakai nilai :  $\rho_{pakai} = \rho_{ada}$
- c) Jika  $\rho_{ada} < \rho_{maks} < \rho_{\min}$  : • 1,33.  $\rho_{ada} > \rho_{\min}$  ; dipakai :  $\rho_{pakai} = \rho_{\min}$   
 • 1,33.  $\rho_{ada} < \rho_{\min}$  ; dipakai :  $\rho_{pakai} = 1,33 \cdot \rho_{ada}$

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

$$As_{perlu} = \rho_{pakai} \cdot b \cdot d \geq As_{tul \text{ bagi/susut}} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(3.48)$$

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

$$\text{Jarak antar tulangan : } s \leq \frac{A_1 \cdot b}{A_{s_{pakai}}} \dots\dots\dots(3.49)$$

$$s \leq 2 \cdot h \dots\dots\dots(3.50)$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \dots\dots\dots(3.51)$$

Diambil nilai jarak antar tulangan (s) yang terkecil, sehingga didapatkan nilai  $A_{S_{ada}}$  :

$$A_{S_{ada}} = \frac{A_1 \cdot b}{s} \dots\dots\dots(3.52)$$

**5. Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi**

$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(3.53)$$

$$M_n = A_{S_{ada}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \geq \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.54)$$

Bila  $\rho_{perlu} = 1,33 \cdot \rho_{ada}$ , maka :

$$M_n = A_{S_{ada}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \geq 1,33 \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.55)$$

**3.2.2 Perencanaan balok**

Langkah-langkah perencanaan elemen balok adalah sebagai berikut :

**1. Menentukan mutu beton dan baja tulangan**

Faktor blok tegangan beton ( $\beta_1$ ), sama dengan : (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 butir 7.3)

$$f'c \leq 30 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f'c > 30 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'c - 30) \geq 0,65 \dots\dots\dots(3.56)$$

## 2. Menentukan nilai rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(3.57)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots(3.58)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Dalam perencanaan dipakai nilai  $\rho$  :  $\rho_{rencana} = 0,5 \cdot \rho_{maks} > \rho_{min} \dots\dots(3.59)$

dimana :

$\rho_b$  = rasio tulangan terhadap luas beton efektif dalam keadaan seimbang

$\rho_{maks}$  = rasio tulangan maksimum

$\rho_{min}$  = rasio tulangan minimum

$\rho_{rencana}$  = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots\dots\dots(3.60)$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - 1/2 \cdot \rho \cdot m) \dots\dots\dots(3.61)$$

$$b \cdot d^2 = \frac{M_u / \phi}{R_n} \dots\dots\dots(3.62)$$

Tentukan  $b$ , didapat  $d_{perlu}$

*Jika nilai  $d_{diketahui} \geq d_{perlu}$ , maka digunakan tulangan sebelah*

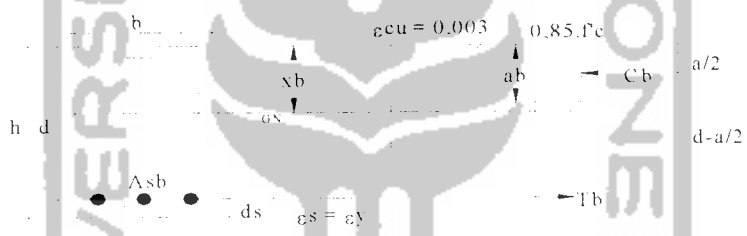
*Jika nilai  $d_{diketahui} < d_{perlu}$ , maka digunakan tulangan rangkap*

$$d_{diketahui} = h_{diketahui} - P_b - \phi_{senggang} - 1/2 \cdot \phi_{tulangan\ rencana}$$

dimana :

- m = perbandingan isi dari tulangan memanjang dari bentuk yang tertutup
- Rn = koefisien tahanan untuk perencanaan kuat (MPa)
- d = tinggi efektif penampang, diukur dari serat atas ke pusat tulangan tarik (mm)
- Mu = momen lentur ultimit akibat beban luar (Nmm)
- φ = faktor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,80 (lentur tanpa aksial)
- h = tinggi total penampang beton (mm)

**a) Perencanaan balok penampang persegi menahan lentur tulangan sebelah**



**Gambar 3.3** Tampang, regangan dan tegangan balok persegi  
Balok lentur tulangan sebelah direncanakan, jika nilai  $d_{diketahui}$

$\geq d_{perlu}$  Langkah-langkah perencanaannya sebagai berikut :

- Menentukan  $\rho_{baru}$  dan  $Rn_{baru}$

$$Rn_{baru} = \frac{Mu}{b \cdot d_{diketahui}^2} \cdot \phi \dots \dots \dots (3.63)$$

$$\rho_{baru} = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \cdot \rho > \rho_{min} \dots \dots \dots (3.64)$$

- Menentukan luas tulangan (As)

$$As = \rho_{baru} \cdot b \cdot d_{diketahui} \dots \dots \dots (3.65)$$

$$n = \frac{As}{A_{1\phi}} ; n \text{ bilangan bulat \& } n \geq 2 \text{ batang} \dots \dots \dots (3.66)$$

$$A_{s_{ada}} = n \cdot A_{10} > A_s \dots\dots\dots(3.67)$$

dimana :

$A_s$  = luas tulangan tarik longitudinal ( $mm^2$ )

$n$  = jumlah tulangan yang dipakai (buah)

$A_{s_{ada}}$  = luas tulangan tarik longitudinal yang ada ( $mm^2$ )

$A_{10}$  = luas tampang satu buah tulangan ( $mm^2$ )

$\rho_{baru}$  = rasio tulangan berdasarkan perhitungan luas penampang beton

$R_{n_{baru}}$  = koefisien tahanan untuk perencanaan kuat (MPa)

• **Kontrol kapasitas lentur yang terjadi**

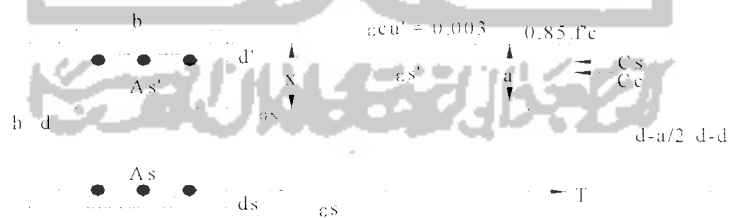
$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(3.68)$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot \left( d_{diketahui} - \frac{a}{2} \right) > \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.69)$$

dimana :  $a$  = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

$M_n$  = kapasitas lentur nominal yang terjadi (Nmm)

**b) Perencanaan balok penampang persegi menahan lentur tulangan rangkap**



**Gambar 3.4** Tampang, regangan dan tegangan balok persegi

Balok lentur tulangan rangkap direncanakan, jika nilai  $d_{diketahui} < d_{perlu}$ . Langkah-langkah perencanaannya sebagai berikut :

• **Menentukan  $A_{s1}$  dan  $M_{n1}$**

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d_{diketahui} \dots\dots\dots(3.70)$$

diambil  $\rho_1 = \rho_{awal} = 0,5\rho_{maks}$

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f' \cdot c \cdot b} \dots\dots\dots(3.71)$$

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot \left( d_{diketahui} - \frac{a}{2} \right) < \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.72)$$

• **Menentukan  $M_{n2}$**

$$\frac{M_u}{\phi} \leq M_n = M_{n1} + M_{n2} \rightarrow M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1} \dots\dots\dots(3.73)$$

dimana :

$M_{n1}$  = kuat momen pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik (Nmm)

$M_{n2}$  = kuat momen pasangan kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan (Nmm)

• **Menentukan  $A_{s'} = A_{s2}$  dan  $A_s$**

Tegangan baja desak ;

$$f_{s'} = 600 \cdot \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f' \cdot c \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot f_y} \frac{d'}{d_{diketahui}} \right\} \dots\dots\dots(3.74)$$

Jika  $f_{s'} \geq f_y$ , maka baja desak sudah leleh, sehingga dipakai :

$$f_{s'} = f_y$$

Jika  $f_{s'} < f_y$ , maka baja desak belum leleh, sehingga dipakai :

$$f_{s'} = f_{s'}$$

$$A_{s'} = \frac{M_{n2}}{f_{s'} \cdot (d_{diketahui} - d')} \dots\dots\dots(3.75)$$

$$n' \geq \frac{A_{s'}}{A_{1\phi}} ; n \text{ bilangan bulat}$$

$$n \geq 2 \text{ batang}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s'}, A_{s'} = A_{s2} \dots\dots\dots(3.76)$$

$$n \geq \frac{A_s}{A_{1\phi}} ; n \text{ bilangan bulat}$$

$$n \geq 2 \text{ batang}$$

dimana :

$\rho_1$  = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

$A_{s1}$  = luas penampang tulangan baja tarik ( $\text{mm}^2$ )

$A_{s2}$  = luas penampang tulangan baja tarik tambahan ( $\text{mm}^2$ )

$A_{s'}$  = luas penampang tulangan baja tekan ( $\text{mm}^2$ )

$n'$  = jumlah tulangan desak yang dipakai (buah)

$n$  = jumlah tulangan tarik yang dipakai (buah)

- **Kontrol kapasitas lentur yang terjadi**

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d_{diketahui}} \dots\dots\dots(3.77)$$

$$\rho' = \frac{A_{s'}}{b \cdot d_{diketahui}} \dots\dots\dots(3.78)$$

Tegangan baja desak

$$f_{s'} = 600 \cdot \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d_{diketahui}} \right\} \leq f_y \dots\dots\dots(3.79)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_{s'} \cdot f_{s'}}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(3.80)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$= (A_s \cdot f_y - A_{s'} \cdot f_{s'}) \left( d_{dik} - \frac{a}{2} \right) + (A_{s'} \cdot f_{s'}) (d_{dik} - d') \dots\dots(3.81)$$

### c) Perencanaan geser balok

Langkah-langkah perencanaan tulangan geser pada balok, sebagai berikut :

- **Menentukan tegangan geser beton ( $V_c$ )**

Tegangan geser beton biasa dinyatakan dalam fungsi dari  $\sqrt{f'_c}$  dan kapasitas beton dalam menerima geser menurut SK SNI T-15-1991-03 adalah sebesar :

$$V_c = \left( \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) . b . d \quad (\text{Newton}) \quad \dots\dots\dots(3.82)$$

Sedangkan kekuatan minimal tulangan geser vertikal menahan geser, dinyatakan dalam :

$$V_{s_{\min}} = 1/3 . b . d \quad (\text{Newton}) \quad \dots\dots\dots(3.83)$$

- **Menentukan jarak sengkang**

Berdasarkan kriteria jarak sengkang pada SK SNI T-15-1991-03, adalah sebagai berikut :

➤ Bila  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$  .....(3.84)

Geser tidak diperhitungkan

➤ Bila  $0,5 . V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq V_c$  .....(3.85)

Perlu tulangan geser kecuali untuk struktur sebagai berikut :

struktur pelat (lantai, atap, pondasi), balok  $h \leq 25$  cm, atau

$h \leq 2,5 h_f$ .



Tulangan geser dengan jarak :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s_{\min}}} \dots\dots\dots(3.86)$$

$$\leq d/2 \dots\dots\dots(3.87)$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

➤ Bila  $V_c < V_u/\phi \leq (V_c + V_{s_{\min}})$  .....(3.88)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s_{\min}}}$$

$$\leq d/2$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

➤ Bila  $(V_c + V_{s_{\min}}) < V_u/\phi \leq 3 \cdot V_c$  .....(3.89)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right)} \dots\dots\dots(3.90)$$

$$\leq d/2$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

➤ Bila  $3 \cdot V_c < V_u/\phi \leq 5 \cdot V_c$  .....(3.91)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right)}$$

$$\leq d/4 \quad \dots\dots\dots(3.92)$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

➤ Bila  $V_u/\phi > 5.V_c$  .....(3.93)

Maka ukuran balok diperbesar

dimana :

$V_{s_{min}}$  = kuat geser nominal tulangan geser minimal (N)

$V_c$  = tegangan ijin geser beton (MPa)

$V_u$  = gaya geser berfaktor akibat beban luar (N)

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,60

$A_v$  = luas penampang tulangan geser ( $\text{mm}^2$ )

#### d) Perencanaan geser dan torsi balok

Langkah-langkah perencanaan geser dan torsi balok adalah sebagai berikut :

- Identifikasi jenis torsi

➤ Untuk struktur statis tertentu : torsi keseimbangan

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi terfaktor :

$$T_u \geq \phi \left( \frac{1}{20} \sqrt{f'_c} \Sigma x^2 \cdot y \right) \quad \dots\dots\dots(3.94)$$

➤ Untuk struktur statis tak tentu : torsi komabilitas

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi terfaktor :

$$T_u \geq \phi \left( \frac{1}{9} \sqrt{f'_c} \Sigma x^2 \cdot y \right) \quad \dots\dots\dots(3.95)$$

- Menentukan kuat momen torsi nominal ( $T_n$ )

Kontrol kuat momen torsi yang terjadi :

$$T_u \geq \phi \cdot T_n$$

$$T_n = T_c + T_s \dots\dots\dots(3.96)$$

➤ Bila puntir murni :

$$T_c = \left( \frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots\dots\dots(3.97)$$

➤ Bila puntir murni + geser :

$$T_c = \frac{\left( \frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \dots\dots\dots(3.98)$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\Sigma x^2 \cdot y} \dots\dots\dots(3.99)$$

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left( 2,5 \cdot C_t \cdot T_u / V_u \right)^2}} \dots\dots\dots(3.100)$$

➤ Bila puntir murni + geser + gaya aksial :

$$T_c = \frac{\left( \frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g} \right) \dots\dots\dots(3.101)$$

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left( 2,5 \cdot C_t \cdot T_u / V_u \right)^2}} \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g} \right) \dots\dots\dots(3.102)$$

- Jika  $Tu/\phi \leq Tc \rightarrow$  torsi diabaikan
- Jika  $Tu/\phi > Tc \rightarrow$  perlu tulangan torsi

Untuk torsi keseimbangan :

$$T_s = Tu/\phi - T_c \dots\dots\dots(3.103)$$

Untuk torsi kompatibilitas :

$$T_s = \left( \frac{1}{9} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \cdot \frac{1}{3} \right) - T_c \dots\dots\dots(3.104)$$

- Jika  $Tu/\phi > 4 \cdot Tc \rightarrow$  tampang diperbesar

dimana :

$T_n$  = kekuatan nominal tampang torsi (Nmm)

$T_u$  = kekuatan torsi terfaktor akibat beban geser (Nmm)

$T_s$  = kekuatan baja nominal menahan torsi (Nmm)

$T_c$  = kekuatan beton nominal menahan torsi (Nmm)

$N_u$  = gaya aksial terfaktor, (+) untuk tekan, (-) untuk tarik(N)

$A_g$  = luas tampang beton (mm<sup>2</sup>)

- Menghitung perbandingan luas tulangan torsi dan jarak sengkang

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y} \dots\dots\dots(3.105)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{3} \left( 2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5 \dots\dots\dots(3.106)$$

- **Menentukan tulangan geser + torsi**

Bila  $V_c < V_u/\phi$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = V_u/\phi - V_c \quad \dots\dots\dots(3.107)$$

Perbandingan antara luas tulangan geser dan jarak :

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} \quad \dots\dots\dots(3.108)$$

Luas total sengkang (tulangan torsi + geser)

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 \cdot A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \geq \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad \dots\dots\dots(3.109)$$

- **Menentukan tulangan torsi memanjang**

$$A_{l1} = 2 \cdot A_t \cdot \left( \frac{x_1 + y_1}{s} \right); \text{ atau} \quad \dots\dots\dots(3.110)$$

$$A_{l1} = \left[ \frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \cdot \left( \frac{T_u}{T_u + V_u/3 \cdot C_t} \right) - 2,2t \right] \cdot \left( \frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots\dots\dots(3.111)$$

Nilai  $A_{l1}$  diambil yang terbesar, tetapi nilai  $A_{l1}$  tidak lebih dari :

$$A_{l2} = \left[ \frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \cdot \left( \frac{T_u}{T_u + V_u/3 \cdot C_t} \right) - \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \right] \cdot \left( \frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots\dots\dots(3.112)$$

dimana :

$A_v$  = luas sengkang menahan geser ( $\text{mm}^2$ )

$A_t$  = luas sengkang menahan torsi ( $\text{mm}^2$ )

$A_l$  = luas tulangan memanjang tambahan pada torsi ( $\text{mm}^2$ )

- **Kriteria tulangan geser dan torsi**

- Jarak tulangan sengkang :  $s \leq \frac{x_1 + y_1}{4}$  ..... (3.113)

$$\leq 300 \text{ mm.}$$

- Tulangan memanjang disebar merata ke semua sisi dengan jarak tulangan memanjang  $\leq 300$  mm.

- $\phi$  tulangan memanjang  $\geq 12$  mm

- $f_y$  tulangan torsi  $\leq 400$  MPa

- Tulangan torsi harus ada paling tidak sejauh  $(b+d)$  dari titik ujung teoritis torsi yang diperlukan.

### 3.2.3 Perencanaan kolom tunggal

#### 1. Perencanaan kolom pendek

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

a) Menentukan propertis penampang kolom ( $b$ ,  $h$ ,  $f'c$ ,  $f_y$ ,  $d'$ ,  $d$ ).

b) Menghitung kapasitas kolom pendek

$$P_n = 0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad \dots \dots \dots (3.114)$$

- Untuk sengkang biasa :

$$\phi \cdot P_n = 0,8 \cdot P_n = 0,8 \cdot (0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \quad \dots \dots \dots (3.115)$$

Karena  $P_u \leq \phi \cdot P_n$ , maka untuk kolom diperoleh  $A_{g\text{perlu}}$  :

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,8 \cdot (0,85 \cdot f'c \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \quad \dots \dots \dots (3.116)$$

• Untuk sengkang spiral :

$$\phi \cdot P_n = 0,85 \cdot P_n = 0,8 \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \dots\dots(3.117)$$

Karena  $P_u \leq \phi \cdot P_n$ , maka untuk kolom diperoleh  $A_{g\text{perlu}}$  :

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,85 \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \dots\dots(3.118)$$

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

$$A_g = b \cdot h = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot l^2 \dots\dots(3.119)$$

$$A_{st} = n\% \cdot A_g = A_s + A_{s'} \dots\dots(3.120)$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{A_{st}}{2} \dots\dots(3.121)$$

dimana :  $P_u$  = gaya aksial terfaktor (N)

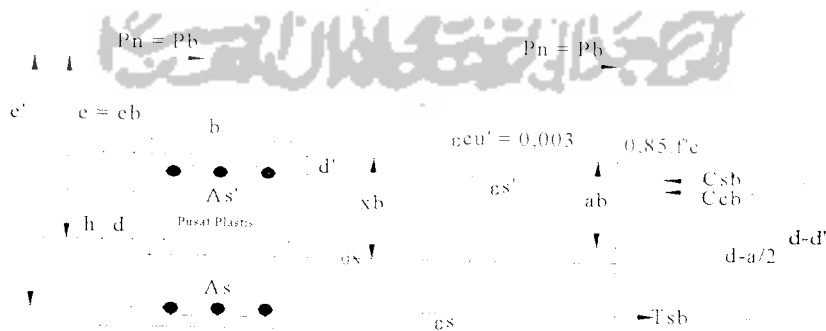
$P_n$  = kuat desak aksial pada eksentrisitas tertentu (N)

$A_{st}$  = luas tulangan total pada kolom ( $\text{mm}^2$ )

$A_{s'}$  = luas tulangan tekan pada kolom ( $\text{mm}^2$ )

$A_s$  = luas tulangan tarik pada kolom ( $\text{mm}^2$ )

c) Kapasitas kolom dengan beban eksentrisitas



Gambar 3.5 Tampang, regangan dan tegangan kolom persegi

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \rightarrow d = h - d' \dots\dots(3.125)$$

$$f_s' = \frac{\lambda b - d'}{\lambda b} \cdot 600 \quad \dots\dots\dots(3.126)$$

$$f_s' > f_y \rightarrow f_s' = f_y$$

$$f_s' < f_y \rightarrow f_s' = f_s'$$

Gaya tekan beton pada kondisi seimbang ditentukan dari :

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f'_{c,b} \cdot \lambda \cdot b \cdot \beta \quad \dots\dots\dots(3.127)$$

Gaya tekan baja pada kondisi seimbang ditentukan dari :

$$C_{sb} = A_s \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f'_{c,b}) \quad \dots\dots\dots(3.128)$$

Gaya tarik baja pada kondisi seimbang ditentukan dari :

$$T_{sb} = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(3.129)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb} \quad \dots\dots\dots(3.130)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \cdot \left( \frac{h}{2} - \left( \frac{\beta \cdot \lambda b}{2} \right) \right) + C_{sb} \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_{sb} \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(3.131)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \quad \dots\dots\dots(3.132)$$

$$e = \frac{M_u}{\phi \cdot N_u} \quad \dots\dots\dots(3.133)$$

$e > e_b \rightarrow$  kolom mengalami patah tarik.

$e < e_b \rightarrow$  kolom mengalami patah desak.

Kontrol Tegangan :

- Patah tarik

$$P_n = 0,85 \cdot f'_{c,b} \cdot b \cdot d \cdot \left[ \left( -\rho \right) + 1 - \frac{e'}{d} + \sqrt{\left( 1 - \frac{e'}{d} \right)^2 + 2 \cdot \rho \cdot \left[ (m-1) \left( 1 - \frac{d'}{d} \right) \right] + \frac{e'}{d}} \right] \quad \dots\dots\dots(3.134)$$



$$e' = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(3.135)$$

$$e = \frac{Mu}{Pu} \quad \dots\dots\dots(3.136)$$

$$\rho = \frac{As}{bd} \quad \dots\dots\dots(3.137)$$

- Patah desak

$$P_n = \frac{As' f_y}{e + 0,5(d - d')} + \frac{b \eta f'_c}{3 \eta e + 1,18 d^2} \quad \dots\dots\dots(3.138)$$

$$e = \frac{Mu}{Pu} \quad \dots\dots\dots(3.139)$$

dimana :

Mnb = kapasitas lentur kolom dalam keadaan seimbang  
(Nmm)

Pnb = kuat desak aksial kolom dalam keadaan seimbang  
(N)

eb = eksentrisitas gaya pada kolom dalam keadaan seimbang (mm)

fs' = tegangan leleh baja tulangan yang terjadi (MPa)

Xb = jarak serat terluar beton ketitik ditinjau keadaan seimbang (mm)

x = jarak serat terluar beton ketitik ditinjau (mm)

As = luasan tulangan baja tarik (mm<sup>2</sup>)

## 2. Perencanaan kolom langsing

Tahap-tahap perencanaan kolom langsing adalah sebagai berikut :

a) Menentukan tingkat kelangsingan kolom

$$\text{Kelangsingan} = \frac{kL}{r} \rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots(3.140)$$

- Untuk kolom tampang persegi dengan lebar b dan tinggi h :

$$r = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{(bh^3)/12}{bh}} = 0,288.h = 0,3 h$$

- Untuk kolom bulat dengan diameter D :

$$r = \sqrt{\frac{(\pi.D^4)/64}{(\pi.D^2)/4}} = 0,25.h$$

dimana :

k = faktor panjang efektif

lu = panjang bersih kolom (m)

r = jari - jari girasi (m)

I = inersia tampang (m<sup>4</sup>)

A = luas tampang (m<sup>2</sup>)

Nilai k ditentukan dengan memperhatikan kondisi kolom :

- Untuk kolom lepas

Kedua ujung sendi, tidak tergerak lateral; k = 1,0

Kedua ujung sendi; k = 0,5

Satu ujung jepit, ujung yang lain bebas k = 2,0

Kedua ujung jepit, ada gerak lateral k = 1,0

- Faktor panjang efektif merupakan fungsi dari faktor kekekangan ujung  $\psi_A$  dan  $\psi_B$  untuk masing-masing titik ujung

atas dan bawah yang didefinisikan sebagai :

$$\psi = \frac{\sum \left( \frac{E_c I_c}{L_c} \right)}{\sum \left( \frac{E_g I_g}{L_g} \right)} \dots \dots \dots (3.141)$$

dimana

$E_c$  = Modulus elastis pada kolom (MPa)

$E_g$  = Modulus elastis pada balok (MPa)

$I_c$  = Inersia kolom ( $m^4$ )

$I_g$  = Inersia balok ( $m^4$ )

$L_c$  = Panjang kolom (m)

$L_g$  = Panjang balok (m)

Kemudian nilai  $\psi$  diplotkan ke dalam grafik *nomogram* atau grafik *alignment*.

Batasan-batasan kolom disebut langsing, adalah :

$$\frac{k \cdot l}{r} < 34 - 12 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}}, \text{ untuk rangka dengan pengaku lateral (tak bergoyang)}$$

$$< 22, \text{ untuk rangka / portal bergoyang}$$

$M_{1b}$  dan  $M_{2b}$  adalah momen-momen ujung terfaktor pada kolom yang posisinya berlawanan ( $M_{1b} \leq M_{2b}$ ). Sedangkan  $l$  merupakan panjang bersih kolom,  $k$  adalah faktor panjang efektif dan  $r$  adalah jari-jari girasi kolom.

#### b) Pembesaran momen

$$M_c = \delta_b \cdot M_{u1} + \delta_s \cdot M_{u2} \dots \dots \dots (3.142)$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \left( \frac{P_u}{\phi P_c} \right)} \geq 1 \quad \dots\dots\dots(3.143)$$

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \left( \frac{\Sigma P_u}{\phi \Sigma P_c} \right)} \geq 1 \quad \dots\dots\dots(3.144)$$

$$P_c = \frac{\mu^2 EI}{(kL)^2} \text{ (rumus Euler)} \quad \dots\dots\dots(3.145)$$

Dalam peraturan SK-SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11 ayat 5.2, memberikan ketentuan untuk memperhitungkan EI sebagai berikut:

$$EI_1 = \frac{1}{5} \frac{(E_c I_g) + E_s I_{se}}{1 + \beta d} \quad \dots\dots\dots(3.146)$$

$$EI_2 = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta d} \quad \dots\dots\dots(3.147)$$

dimana :

$\delta_b$  = Pembesaran momen dengan pengaku pada pembebanan tetap

$\delta_s$  = Pembesaran momen tanpa pengaku pada pembebanan sementara

$M_{u1}$  = Momen terfaktor terbesar pada ujung komponen tekan akibat pembebanan tetap (KNm)

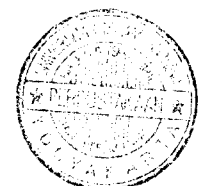
$M_{u2}$  = Momen terfaktor terbesar disepanjang komponen tekan akibat pembebanan sementara (KNm)

$P_u$  = Beban aksial kolom akibat gaya luar (KN)

$\phi$  = 0,6 = Faktor reduksi

$P_c$  = Beban tekuk (KN)

$E_s$  = Modulus elastis baja tulangan =  $2.10^5$  MPa



$$\beta.d = \frac{\text{momen.akibat.beban.mati.rencana}}{\text{momen.akibat.beban.total}}$$

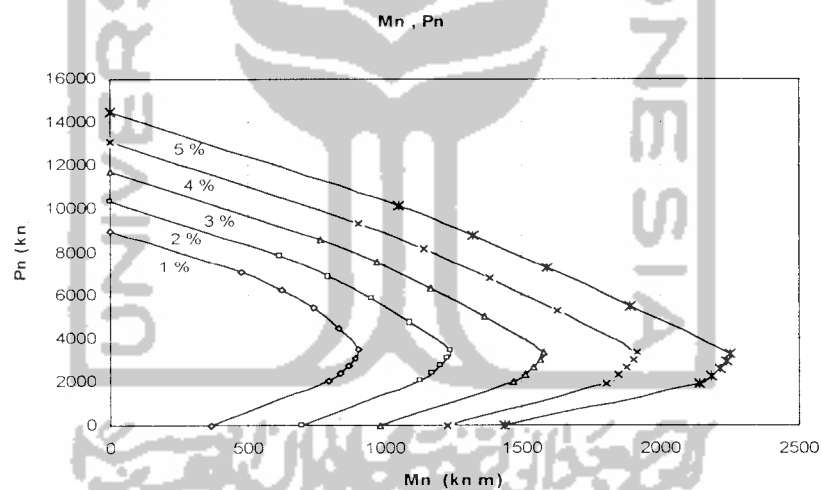
$\Sigma P_u$  dan  $\Sigma P_c$  = Penjumlahan gaya tekan dari semua kolom dalam satu tingkat (KN)

c) Momen rencana

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.148)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.149)$$

Dari nilai tersebut dimasukkan ke dalam diagram tegangan regangan kolom untuk mendapatkan luas tulangan rencana.



Gambar 3.6 Diagram Mn-Pn

3.3 Perencanaan Beban Gempa

Perencanaan struktur portal dengan daktilitas penuh. Pembebanan gempa menurut Pedoman Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (PPKGURDG, 1987) dinyatakan dalam :

$$V = C.I.K.W_t \dots\dots\dots(3.150)$$

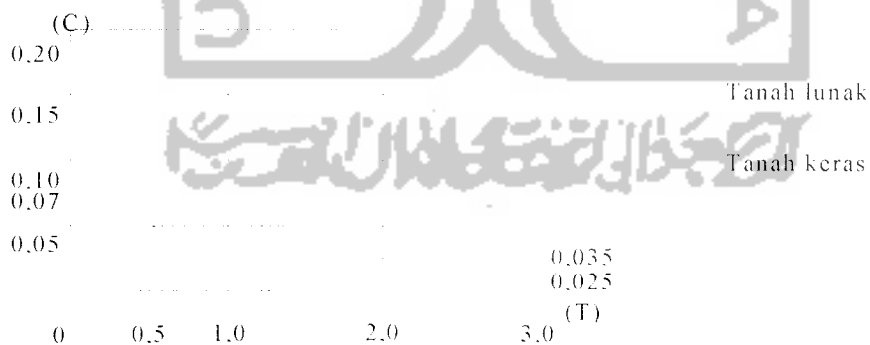
Gaya geser yang harus dibagi pada masing-masing lantai tingkat dapat dihitung dengan rumus :

$$F_i = \frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} V \quad \dots\dots\dots(3.151)$$

dimana :

- V = gaya geser dasar horizontal total akibat gempa (Ton)
- C = koefisien gempa dasar
- I = faktor keutamaan struktur
- K = faktor jenis struktur
- $W_i$  = berat kombinasi beban mati dan beban hidup yang direduksi(Ton)
- H = tinggi bangunan (m)
- $F_i$  = gaya geser tiap tingkat (Ton)

Koefisien gempa dasar untuk wilayah gempa 3 ditentukan dengan menggunakan waktu getar alami struktur seperti pada gambar berikut ini :



**Gambar 3.7** Koefisien gempa dasar C (3)

Waktu getar alami struktur (T) untuk portal beton ditentukan dengan persamaan,  $T = 0,06.H^{3/4}$  .....(3.152)

dimana : H adalah tinggi struktur (m)

### 3.4 Perencanaan Struktur Rangka Dengan Daktilitas Penuh

#### 3.4.1 Perencanaan balok portal terhadap beban lentur

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

$$M_{u,b} = 1,2.M_{D,b} + 1,6.M_{L,bR} \dots\dots\dots(3.153)$$

$$M_{u,b} = 1,05.(M_{D,b} + M_{L,bR} + M_{E,b}) \dots\dots\dots(3.154)$$

$$M_{u,b} = 0,9.M_{D,b} + M_{E,b} \dots\dots\dots(3.155)$$

dimana :

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

$M_{L,b}$  = momen lentur balok portal akibat beban hidup tak berfaktor dengan memperhitungkan reduksinya sehubungan dengan peluang terjadinya pada lantai tingkat yang ditinjau, sesuai dengan *Tata Cara Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987*

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

Dalam perencanaan kapasitas balok portal, momen tumpuan negatif akibat kombinasi beban gravitasi dan beban gempa balok boleh didistribusikan dengan menambah atau mengurangi dengan prosentase yang tidak melebihi :

$$q = 30 \cdot \left\{ 1 - \frac{4}{3} \frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \right\} \% ; \quad \rho - \rho' < 0,5\rho_b \dots\dots\dots(3.156)$$

dimana :  $\rho$  = rasio tulangan tarik

$\rho'$  = rasio tulangan tekan

$\rho_b$  = rasio tulangan tarik dalam keadaan seimbang (*balance*)

Perencanaan kuat lentur nominal balok harus dihitung dengan persamaan,

$$OM_{nak,b} \geq M_{ub} \quad \dots\dots\dots(3.157)$$

dimana :

$M_{nak,b}$  = kuat lentur nominal balok berdasarkan tulangan terpasang

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

$$M_{kap,b} = O_0 \cdot M_{nak,b} \quad \dots\dots\dots(3.158)$$

$$M'_{kap,b} = O_0 \cdot M'_{nak,b} \quad \dots\dots\dots(3.159)$$

dimana :

$M_{kap,b}$  = kapasitas lentur aktual balok pada pusat pertemuan balok kolom dengan memperhitungkan luas tulangan tarik terpasang (KNm)

$M'_{kap,b}$  = kapasitas lentur aktual balok pada pusat pertemuan balok kolom dengan memperhitungkan luas tulangan tekan terpasang (KNm)

$M_{nak,b}$  = kuat lentur nominal balok berdasarkan tulangan tarik terpasang (KNm)

$M'_{nak,b}$  = kuat lentur nominal balok berdasarkan luas tulangan tekan (KNm)

$O_0$  = faktor penambahan kekuatan sebesar 1,25 untuk  $f_y < 400$  MPa dan 1,4 untuk  $f_y > 400$  MPa



### 3.4.2 Perencanaan balok portal terhadap beban geser

Perencanaan kuat geser balok harus memenuhi ketentuan berikut ini :

$$\phi \cdot V_n \geq V_{u,b} \quad \dots\dots\dots(3.160)$$

dimana :

$\phi \cdot V_n$  = kapasitas geser rencana balok.

Dengan konsep desain kapasitas, kuat geser balok portal dihitung dalam kondisi terjadi sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok portal tersebut dengan ketentuan berikut,

$$V_{u,b} = 0,7 \cdot \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{l_n} + 1,05 \cdot (V_D + V_L) \quad \dots\dots\dots(3.161)$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,b}^* = 1,07 \cdot \left( V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4}{k} \cdot V_{T,b} \right) \quad \dots\dots\dots(3.162)$$

Gaya geser maksimum dihitung dengan ketentuan berikut,

$$V_{u,max} = V_S = \frac{V_{u,b}}{\phi} \quad \dots\dots\dots(3.163)$$

Gaya geser pada penampang kritis, sejauh  $d$  dari garis tengah kolom dihitung dengan ketentuan berikut,

$$V_u = \frac{l_n - d}{l_n} \cdot V_{u,max} \quad \dots\dots\dots(3.164)$$

dimana :

$V_u$  = kuat geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (KN)

$M_{kap}$  = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salah satu ujung balok atau bidang muka kolom (KNm)

$M'_{kap}$  = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada ujung balok atau bidang muka kolom yang lain (KNm)

$V_{D,b}$  = gaya geser balok akibat beban mati (KN)

$V_{L,b}$  = gaya geser balok akibat beban hidup (KN)

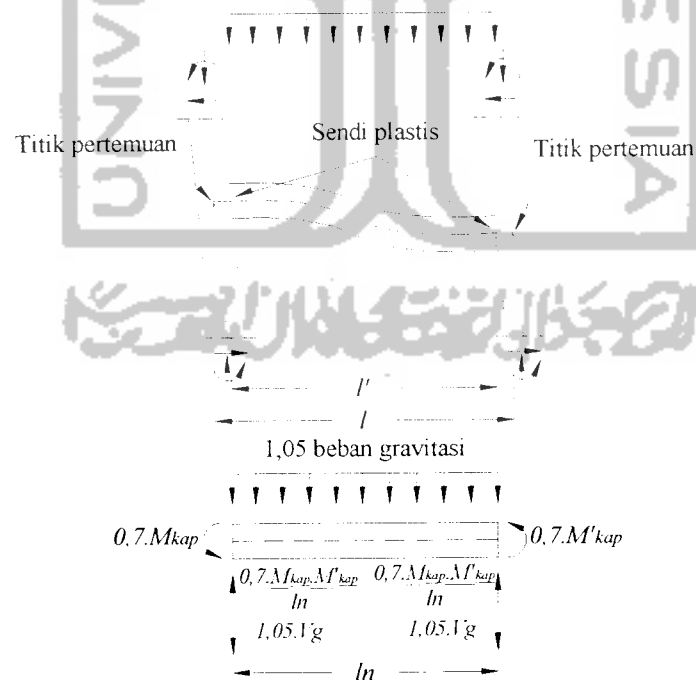
$V_{E,b}$  = gaya geser balok akibat beban gempa (KN)

$l_n$  = bentang bersih balok (m)

$K$  = faktor jenis struktur ( $K \geq 1$ )

$d$  = tinggi efektif penampang (m)

Selanjutnya untuk kriteria perencanaan tulangan geser sesuai dengan yang disyaratkan SK SNI T-15-1991-03 yakni pada persamaan 3.84 s/d 3.93 di atas.



**Gambar 3.8** Balok portal dengan sendi plastis pada kedua ujungnya

### 3.4.3 Perencanaan kolom portal terhadap beban lentur dan aksial

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

$$\Sigma M_{u,k} = \frac{hk}{hk'} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot \Sigma M_{kap,b} \dots\dots\dots (3.165)$$

atau :

$$M_{u,k} = \frac{hk}{hk'} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot \left[ \frac{I}{\ln} (\Sigma M_{kap,bx} + 0,3 \cdot \Sigma M_{kap,by})_{l_{ii}} \right] \dots\dots (3.166)$$

$$M_{u,k} = \frac{hk}{hk'} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot \left[ \frac{I}{\ln} (\Sigma M_{kap,bx} + 0,3 \cdot \Sigma M_{kap,by})_{l_{ii-1}} \right] \dots\dots (3.167)$$

$$M_{u,k} = \frac{hk}{hk'} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot \left[ \frac{I}{\ln} (0,3 \cdot \Sigma M_{kap,bx} + \Sigma M_{kap,by})_{l_{ii}} \right] \dots\dots (3.168)$$

$$M_{u,k} = \frac{hk}{hk'} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot \left[ \frac{I}{\ln} (0,3 \cdot \Sigma M_{kap,bx} + \Sigma M_{kap,by})_{l_{ii-1}} \right] \dots\dots (3.169)$$

$$\alpha_k = \frac{M_{maks_{atas}}}{M_{maks_{atas}} + M_{maks_{bawah}}} \dots\dots\dots (3.170)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

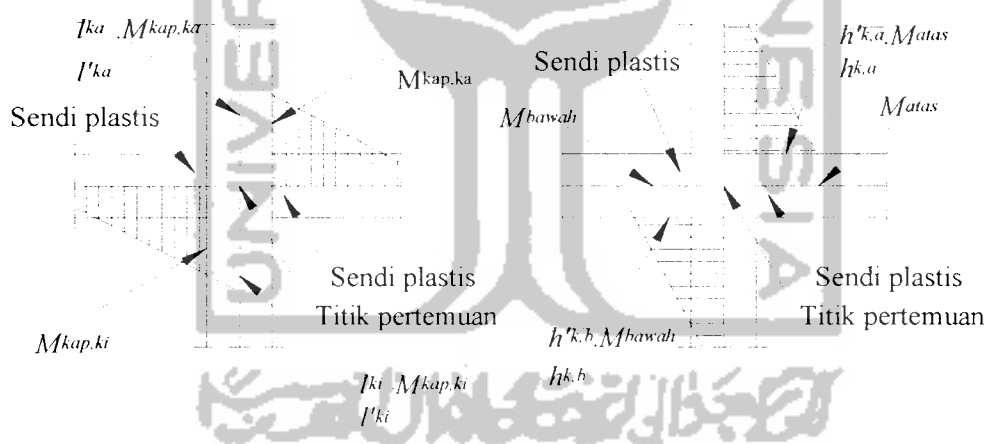
$$M_{u,k} = 1,05 \cdot \left( M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} M_{E,k} \right) \dots\dots\dots (3.171)$$

dimana :

$M_{kap,ki}$  = momen kapasitas lentur balok di sebelah kiri bidang muka kolom (KNm)

$M_{kap,ka}$  = momen kapasitas lentur balok di sebelah kanan bidang muka kolom (KNm)

- $\omega_d$  = faktor pembesar dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan ( $\omega_d=1,3$ )
- $\alpha_k$  = faktor distribusi momen kolom portal sesuai dengan kekakuan relatif kolom atas dan kolom bawah
- $k$  = kekakuan relatif kolom
- $M_{D,k}$  = momen kolom akibat beban mati (KNm)
- $M_{L,k}$  = momen kolom akibat beban hidup (KNm)
- $M_{E,k}$  = momen kolom akibat beban gempa (KNm)
- $K$  = faktor jenis struktur ( $K \geq 1,0$ )



**Gambar 3.9** Pertemuan balok kolom dengan sendi plastis pada ujung-ujungnya

Sedangkan beban aksial rencana,  $N_{u,k}$  yang bekerja pada kolom portal dengan daktilitas penuh, dihitung dengan :

$$N_{u,k} = 0,7.R_f \cdot \left( \frac{M_{kap,ki}}{l_{ki}} + \frac{M_{kap,ka}}{l_{ka}} \right) + 1,05.N_{g,k} \dots \dots \dots (3.172)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$N_{u,k} = 1,05 \cdot \left( N_{g,k} + \frac{4}{K} \cdot N_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3.173)$$

dimana :

$R_V$  = faktor reduksi yang ditentukan sebesar :

$$1,0 \quad \text{untuk } 1 < n < 4$$

$$1,1 - 0,025 \cdot n \quad \text{untuk } 4 < n < 20$$

$$0,6 \quad \text{untuk } n > 20$$

$n$  = jumlah lantai diatas kolom yang ditinjau

$l_{ki}$  = bentang balok sebelah kiri as kolom dari as ke as kolom (m)

$l_{ka}$  = bentang balok sebelah kanan as kolom dari as ke as kolom (m)

$N_{g,k}$  = gaya aksial kolom akibat beban gravitasi (KN)

$N_{E,k}$  = gaya aksial kolom akibat beban gempa (KN)

#### 3.4.4 Perencanaan kolom portal terhadap beban geser

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

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,k,atas} + M_{u,k,bawah}}{h_k'} \dots\dots\dots(3.174)$$

dan dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 \cdot \left( M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3.175)$$

Kapasitas lentur sendi plastis kolom dapat dihitung :

$$M_{kap,k \text{ bawah}} = \phi_0 \cdot M_{nak,k \text{ bawah}} \dots\dots\dots(3.176)$$

dimana :

$M_{u,k \text{ atas}}$  = momen rencana kolom ujung atas dihitung pada muka balok (KNm)

$M_{u,k \text{ bawah}}$  = momen rencana kolom ujung bawah dihitung pada muka balok (KNm)

$h'_k$  = tinggi bersih kolom (m)

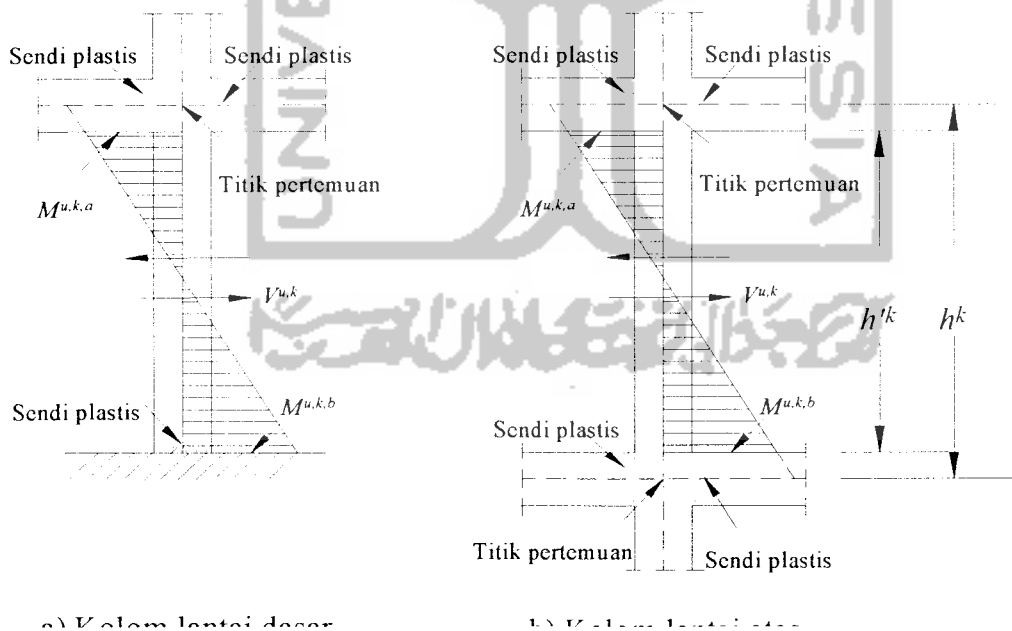
$V_{D,k}$  = gaya geser kolom akibat beban mati (KN)

$V_{L,k}$  = gaya geser kolom akibat beban hidup (KN)

$V_{E,k}$  = gaya geser kolom akibat beban gempa (KN)

$M_{kap,k \text{ bawah}}$  = kapasitas lentur ujung dasar kolom lantai dasar (KNm)

$M_{nak,k \text{ bawah}}$  = kuat lentur nominal aktual ujung dasar kolom lantai dasar (KNm)



**Gambar 3.10** Kolom dengan  $M_{u,k}$  berdasarkan kapasitas sendi plastis balok

Kuat geser yang disumbangkan beton untuk struktur yang dibebani tekan aksial diberikan dengan ketentuan :

$$V_c = \left(1 + \frac{P_{u,k}}{14.Ag}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots(3.177)$$

Untuk daerah sendi plastis sejauh Z dari atas atau bawah balok, jarak tulangan S :

$$S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_u / \phi} \quad \dots\dots\dots(3.178)$$

$$\leq \frac{1}{4} \text{ dimensi tampang kolom terkecil} \quad \dots\dots\dots(3.179)$$

$$\leq 8 \cdot \emptyset \text{ tulangan memanjang kolom} \quad \dots\dots\dots(3.180)$$

$$\leq 100 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(3.181)$$

$$Z = h \rightarrow \text{ untuk } N_{u,k} < 0,3 \cdot Ag \cdot f'_c \quad \dots\dots\dots(3.182)$$

$$Z = 1,5 \cdot h \rightarrow \text{ untuk } N_{u,k} > 0,3 \cdot Ag \cdot f'_c \quad \dots\dots\dots(3.183)$$

$$= \frac{1}{6} \cdot h' \cdot k \quad \dots\dots\dots(3.184)$$

$$= 450 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(3.185)$$

Bukan daerah sendi :

$$S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left(\frac{V_u}{\phi}\right) - V_c} \quad \dots\dots\dots(3.186)$$

$$\leq \frac{1}{4} \text{ dimensi tampang kolom terkecil}$$

$$\leq 8 \cdot \emptyset \text{ tulangan memanjang kolom}$$

$$\leq 100 \text{ mm}$$

dimana :

$V_c$  = tegangan ijin geser beton (MPa)

$N_u$  = gaya aksial kolom (N)

$A_g$  = luas penampang kolom ( $\text{mm}^2$ )

$S$  = jarak sengkang (mm)

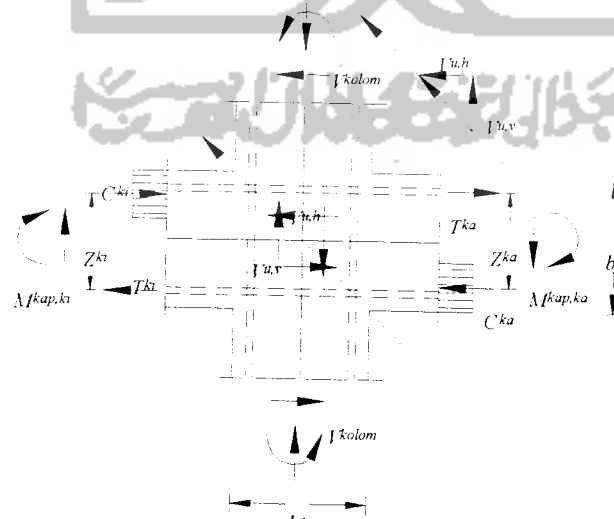
$V_u$  = gaya geser berfaktor akibat beban luar (N)

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,60

$A_v$  = luas penampang tulangan geser ( $\text{mm}^2$ )

### 3.5 Perencanaan panel pertemuan balok kolom

Panel pertemuan balok kolom portal diproporsikan untuk dapat memenuhi persyaratan kuat gesr horizontal perlu ( $V_{j,h}$ ) dan kuat geser vertikal ( $V_{j,v}$ ) yang berkaitan dengan terjadinya momen kapasitas pada sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu pada kolom itu. Gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada join rangka adalah seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.11 Panel pertemuan balok dan kolom portal



Gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada join rangka ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut :

Gaya geser horizontal kolom pada join ( $V_{kol}$ ) ditentukan dari :

$$V_{kol,x} = \frac{0,7 \left( \sum \frac{l_v}{l_n} M_{kap,b_x} + 0,3 \sum \frac{l_v}{l_n} M_{kap,b_y} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})} \dots\dots\dots(3.187)$$

$$V_{kol,y} = \frac{0,7 \left( 0,3 \sum \frac{l_x}{l_n} M_{kap,b_x} + \sum \frac{l_y}{l_n} M_{kap,b_y} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})} \dots\dots\dots(3.188)$$

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \dots\dots\dots(3.189)$$

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,7 \cdot \frac{M_{kap,b_{ki}}}{Z_{ki}} \dots\dots\dots(3.190)$$

$$T_{ka} = C_{ka} = 0,7 \cdot \frac{M_{kap,b_{ka}}}{Z_{ka}} \dots\dots\dots(3.191)$$

dimana :

$l_{ki}$  = panjang bentang balok sebelah kiri join (m)

$l'_{ki}$  = panjang bentang netto balok sebelah kiri join (m)

$l_{ka}$  = panjang bentang balok sebelah kanan join (m)

$l'_{ka}$  = panjang bentang netto balok sebelah kanan join (m)

$h_{ka}$  = tinggi kolom atas (m)

$h_{kb}$  = tinggi kolom bawah (m)

$V_{jh}$  = tegangan geser horizontal nominal dalam join (KN)

$C_{ki}$  = gaya desak beton dalam inti join (KN)

$T_{ki}$  = gaya tarik baja dalam inti join (KN)

$Z$  = kopel momen antara gaya desak beton dan gaya tarik baja dalam inti beton di sebelah kiri dan kanan join (m)

Kontrol tegangan geser horizontal minimum dalam join adalah :

$$V_{jh \text{ aktual}} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} < 1,15 \cdot \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(3.192)$$

dimana :

$b_j$  = tinggi balok (m)

$h_c$  = tinggi potongan penampang kolom dalam arah geser yang ditinjau (m)

Gaya geser horizontal  $V_{jh}$  ditahan oleh dua mekanisme kuat geser inti 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 horizontal dan strat beton diagonal daerah tarik join yang memikul gaya geser  $V_{sh}$ .

sehingga :  $V_{sh} + V_{ch} = V_{jh}$

Besarnya  $V_{ch}$  yang dipikul oleh strat beton harus sama dengan nol, kecuali bila :

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

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \left\{ \sqrt{\frac{N_{u,k}}{A_g}} - 0,1 \cdot f'c \right\} \cdot b_j \cdot h_c \dots\dots\dots(3.193)$$

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

$$V_{ch} = 0,7.P_{cs} \dots\dots\dots(3.194)$$

dimana :

$P_{cs}$  = gaya permanen dalam baja prategang yang terletak di sepertiga bagian tengah tinggi kolom.

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

$$V_{ch} = 0,5 \left[ \frac{A'_s}{A_s} \right] V_{jh} \left[ 1 + \frac{N_{u,k}}{0,4.A_g.f'c} \right] \dots\dots\dots(3.195)$$

dimana rasio  $\frac{A'_s}{A_s} \leq 1$

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

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \sqrt{\left( \frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - (0,1.f'c).b_j.h_c \dots\dots\dots(3.196)$$

Pada join rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis

$$V_{sh} = V_{jh} - 0,5 \cdot \frac{A'_s}{A_s} \cdot V_{jh} \left[ 1 + \frac{N_{u,k}}{0,4.A_g.f'c} \right] \dots\dots\dots(3.197)$$

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

$$A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_y} \dots\dots\dots(3.198)$$

Geser join vertikal  $V_{jv}$  dapat dihitung dari :

$$V_{jv} = V_{jh} \cdot \frac{b_j}{h_c} \dots\dots\dots(3.199)$$

Tulangan geser vertikal di dapat dari :

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv} \dots\dots\dots(3.200)$$

menjadi :

$$V_{cv} = A_{sc}' \cdot \frac{V_{jh}}{A_{sc}} \left( 0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'c} \right) \dots\dots\dots(3.201)$$

dimana :

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

$A_{sc}$  = luas tulangan longitudinal tarik

Luas tulangan join vertikal ditentukan dari :

$$A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y} \dots\dots\dots(3.202)$$

### 3.6 Perencanaan Pondasi

#### 3.6.1 Perencanaan pondasi telapak

Langkah – langkah dalam perencanaan pondasi telapak adalah :

1. Diketahui beban kerja,  $f_c'$ ,  $f_y$ ,  $\sigma$  tanah dan tebal pelat pondasi dapat diasumsikan.
2. Menentukan daya dukung tanah netto

$$q = h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 \dots\dots\dots(3.203)$$

$$\sigma_{netto} = \sigma_{tanah} - q \dots\dots\dots(3.204)$$

### 3. Menentukan dimensi pondasi telapak

Dimensi pondasi bujursangkar terdapat momen yang bekerja pada arah x dan y, sehingga :

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P}{\sigma_{\text{netto tanah}} - \left( \frac{My}{1/6 \cdot Bx^2 \cdot By} \right) - \left( \frac{Mx}{1/6 \cdot By^2 \cdot Bx} \right)} \quad \dots\dots(3.205)$$

$$Bp = \sqrt{A_{\text{perlu}}} \quad \dots\dots(3.206)$$

### 4. Perencanaan terhadap kuat geser

#### a. Perhitungan geser beton untuk satu arah

$$d = hp - Pb - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{tul. pokok}} \quad \dots\dots(3.207)$$

$$n_1 = \frac{Lp - tk - 2 \cdot d}{2} \quad \dots\dots(3.208)$$

#### Arah X

$$q_{ux} = \frac{Pu}{Aada} \pm \frac{Mux}{1/6 \cdot B^2 \cdot N} \quad \dots\dots(3.209)$$

$$Vu = q_{ux\text{terjadi}} \cdot n_1 \cdot L \quad \dots\dots(3.210)$$

Kekuatan beton menahan geser :

$$V_{c_x} = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot L \cdot d \geq \frac{Vu_x}{\phi} \quad \dots\dots(3.211)$$

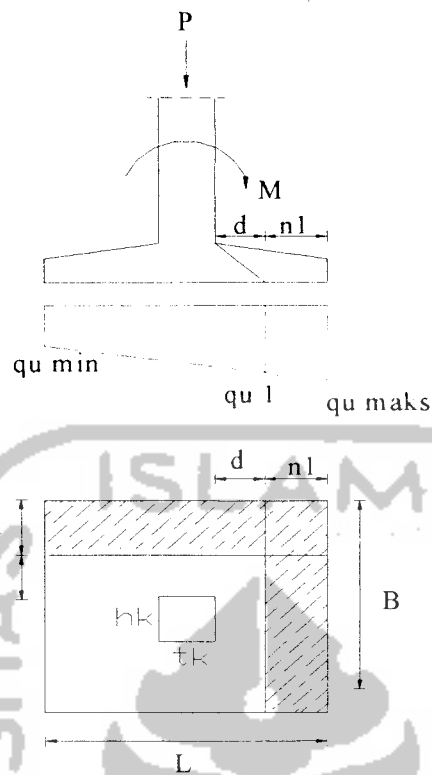
#### Arah Y

$$q_{uy} = \frac{Pu}{Aada} \pm \frac{Muy}{1/6 \cdot B^2 \cdot N} \quad \dots\dots(3.212)$$

$$Vu = q_{uy\text{terjadi}} \cdot n_1 \cdot L \quad \dots\dots(3.213)$$

Kekuatan beton menahan geser :

$$V_{c_y} = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot P \cdot d \geq \frac{Vu_y}{\phi} \quad \dots\dots(3.214)$$



**Gambar 3.12** Daerah geser satu (1) arah pada penampang pondasi

b. Perhitungan geser beton untuk dua arah

$$x = h_k + d \quad \dots\dots\dots(3.215)$$

$$y = b_k + d \quad \dots\dots\dots(3.216)$$

$$q_u = \frac{P_u}{A_{ada}} \pm \frac{M_y}{1/6 \cdot B_x^2 \cdot B_y} \pm \frac{M_x}{1/6 \cdot B_y^2 \cdot B_x} \quad \dots\dots\dots(3.217)$$

$$V_u = q_{uT} \cdot ((P_p \cdot L_p) - (x, y)) \quad \dots\dots\dots(3.218)$$

Kekuatan beton menahan gaya geser ( $V_c$ ), diambil nilai terkecil antara :

$$V_c = 4 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot L \quad \dots\dots\dots(3.219)$$

$$\text{atau : } V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot (2 \cdot \sqrt{f'c}) \cdot b_o \cdot D \quad \dots\dots\dots(3.220)$$

$$b_o = 2.(x+y) = 2.((h_k+d)+(b_k+d)) \dots\dots\dots(3.221)$$

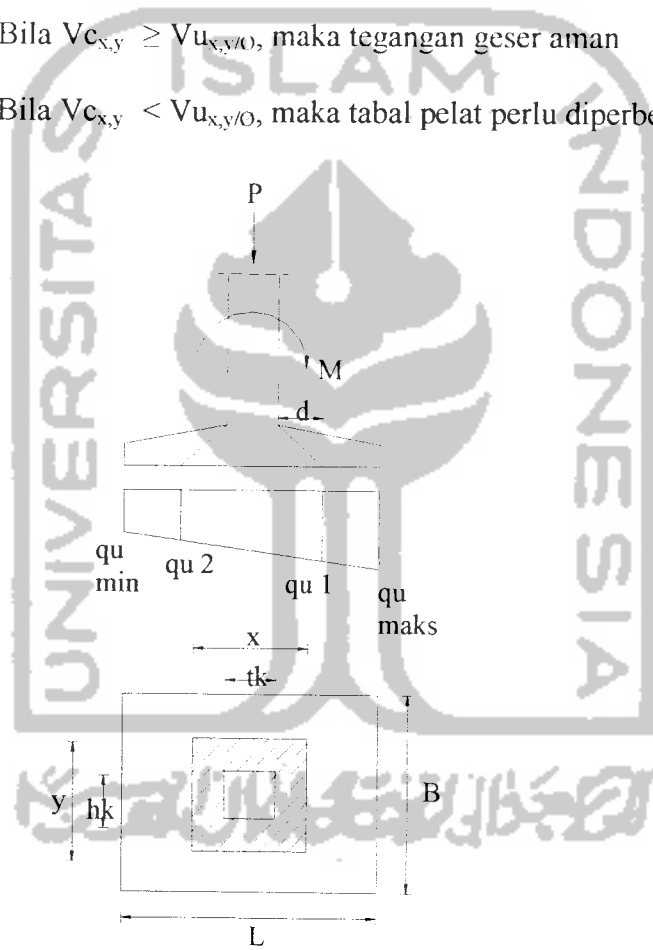
$$\beta_c = \frac{\text{sisipanjangtapak}}{\text{sisipendektapak}} \geq 1,0 \dots\dots\dots(3.222)$$

dimana :  $b_o$  = keliling penampang kritis ( $\text{mm}^2$ )

$\beta_c$  = rasio sisi panjang dengan sisi pendek

Kontrol gaya geser terjadi :

- Bila  $V_{c,x,y} \geq V_{u,x,y/O}$ , maka tegangan geser aman
- Bila  $V_{c,x,y} < V_{u,x,y/O}$ , maka tebal pelat perlu diperbesar



**Gambar 3.13** Gaya geser dua (2) arah pada penampang pondasi

5. Perencanaan tulangan lentur pondasi

Diambil nilai lebar (b) pondasi tiap 1 meter = 1000 mm

- Tulangan arah x :  $l_1 = \frac{1}{2} \cdot (P - h_k)$  .....(3.223)

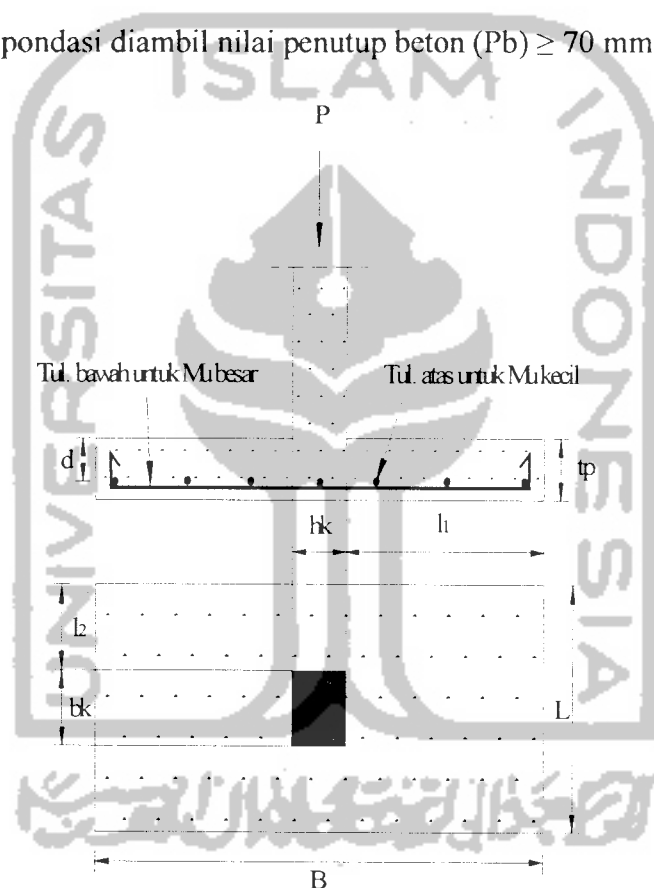
$$Mu_1 = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l_1^2 \quad \dots\dots\dots(3.224)$$

- Tulangan arah y :  $l_2 = \frac{1}{2} \cdot (P - b_k)$  .....(3.225)

$$Mu_2 = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l_2^2 \quad \dots\dots\dots(3.226)$$

Diambil nilai  $Mu_1$  atau  $Mu_2$  yang terbesar. Untuk  $Mu$  yang besar letak tulangan di bawah sedangkan  $Mu$  yang kecil letak tulangnya di atas.

Untuk pondasi diambil nilai penutup beton ( $P_b$ )  $\geq 70$  mm.



**Gambar 3.14** Tulangan lentur pondasi

$$d = h + P_b - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{tul. bawah}} \quad \rightarrow \text{ untuk tulangan bawah}$$

$$d = h + P_b - \emptyset_{\text{tul. bawah}} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{tul. atas}} \quad \rightarrow \text{ untuk tulangan atas}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad \dots\dots\dots(3.227)$$



$$Rn_{ada} = \frac{Mu/\phi}{b.d^2_{ada}} \dots\dots\dots(3.228)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2.Rn.m}{fy}} \right) \dots\dots\dots(3.229)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \dots\dots\dots(3.230)$$

Persyaratan :

1. bila  $\rho > \rho_{min}$  digunakan :  $\rightarrow \rho_{perlu} = \rho$
2. bila  $\rho < \rho_{min}$ ,  $1,33.\rho < \rho_{min}$  digunakan :  $\rightarrow \rho_{perlu} = 1,33.\rho$
3. bila  $\rho < \rho_{min}$ ,  $1,33.\rho > \rho_{min}$  digunakan :  $\rightarrow \rho_{perlu} = \rho_{min}$

$$\text{Luas tulangan perlu : } A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(3.231)$$

$$\text{Luas tulangan susut : } A_{s_{tul.susut}} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(3.232)$$

Dipilih diameter ( $\emptyset$ ) tulangan, didapatkan  $A_{\emptyset 1}$ , jarak antar tulangan :

$$s \leq \frac{A_{\emptyset 1} \cdot 1000}{A_{s_{perlu}}} \dots\dots\dots(3.233)$$

Sedangkan nilai  $A_{s_{ada}}$  dapat dihitung :

$$A_{s_{ada}} = \frac{A_{\emptyset 1} \cdot 1000}{s} \dots\dots\dots(3.234)$$

Kontrol kapasitas lentur yang terjadi :

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(3.235)$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \geq \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(3.236)$$

### 3.7 Perencanaan Tangga

#### 3.7.1 Perencanaan dimensi tangga

Langkah - langkah perencanaan tangga adalah sebagai berikut :

1. Menentukan lebar, jumlah *optrede* dan *antrede*

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

$$\text{Jumlah } optrede = \frac{h}{h_o} \text{ (dibulatkan keatas)} \dots\dots\dots(3.237)$$

$$\text{Maka tinggi } optrede \text{ sebenarnya : } h'o = \frac{h}{\text{jumlah } optrede} \dots\dots\dots(3.238)$$

- Lebar *antrede* ideal  $\geq 30$  cm, untuk menentukan jumlah *antrede* :

$$\text{Jumlah } antrede = \text{jumlah } optrede - 2 \dots\dots\dots(3.239)$$

- Panjang bentang tangga ( $P_t$ ) dapat dihitung dengan cara :

$$P_t = (L_a \times \text{jumlah } antrede / 2) + L_b \dots\dots\dots(3.240)$$

2. Menentukan tebal pelat tangga ( $h_1$ ) dan lebar tangga ( $L_t$ )

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

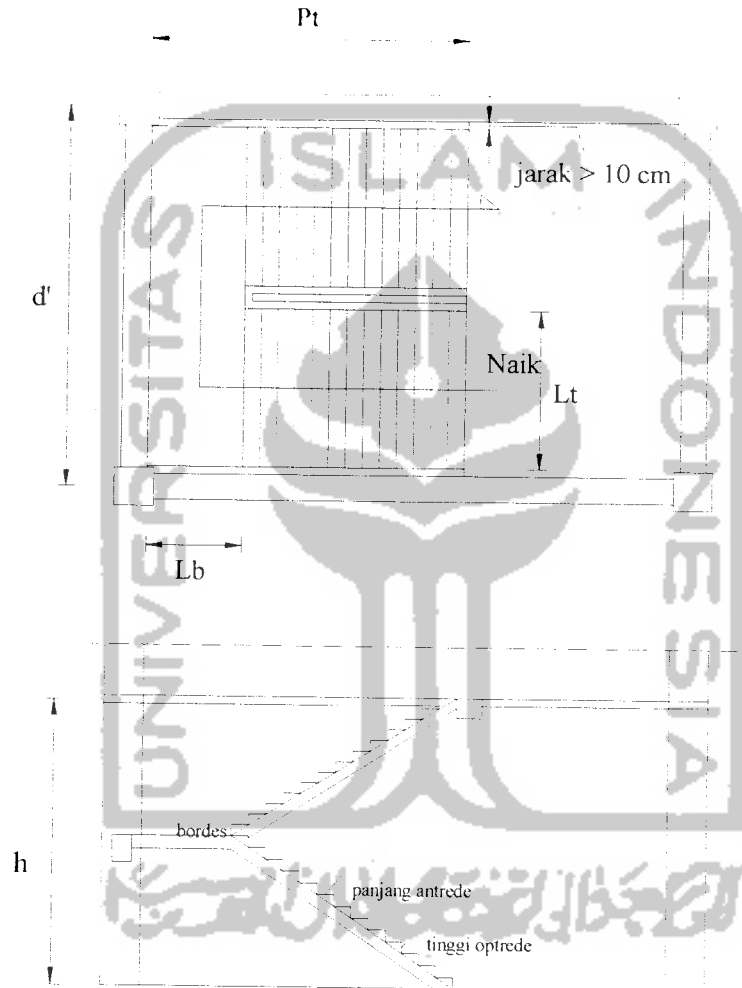
- Diambil nilai tebal pelat tangga ( $h_1$ ) : 15 cm
- Sudut kemiringan ideal tangga antara  $30^\circ$  -  $35^\circ$ , besarnya sudut tangga dapat dihitung dengan cara :

$$\text{arc tg } \alpha = \frac{\text{tinggi } optrede}{\text{panjang } antrede} \dots\dots\dots(3.241)$$

Sehingga besar sudut ( $\alpha$ ) dapat diketahui.

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

$$d' = d - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \text{lebar balok induk}\right) \dots\dots\dots(3.242)$$



Gambar 3.15 Dimensi tangga

### 3.7.2 Perencanaan tulangan tangga

Perencanaan tulangan tangga sama dengan perhitungan pada pelat lantai.