

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 PERENCANAAN ATAP

Dalam perencanaan ulang ini, perencanaan atap baja mengacu pada metode *allowable stress design* dari AISC.

3.1.1 Perencanaan gording

3.1.1.1 Tegangan :

$$\frac{f_{bx}}{0,66 F_y} + \frac{f_{by}}{0,75 F_y} \leq 1,0 \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\perp} \cdot \max}{S_x} \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

$$f_{by} = \frac{M_{\parallel} \cdot \max}{S_y} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

3.1.1.2 Lendutan :

$$\delta_{\perp} = \frac{5 q_{\perp} \cdot L^4}{384 E I_x} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

$$\delta_{\parallel} = \frac{5 q_{\parallel} \cdot \left(\frac{L}{a+1}\right)^4}{384 E I_y} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_{\perp}^2 + \delta_{\parallel}^2} \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

keterangan : f_{bx} = tegangan lentur arah sumbu x (ksi)
 f_{by} = tegangan lentur arah sumbu y (ksi)
 F_y = tegangan leleh baja (ksi)
 S_x = modulus elastis tampang arah sumbu x (in^3)
 S_y = modulus elastis tampang arah sumbu y (in^3)
 M_{\perp} = momen tegak lurus sumbu batang (kin)
 M_{\parallel} = momen sejajar sumbu batang (kin)
 δ = resultan lendutan (mm)

- δ_{\perp} = lendutan tegak lurus sumbu batang (mm)
 $\delta_{//}$ = lendutan searah sumbu batang (mm)
 E = modulus elastis baja (29000 ksi)
 I_x = Inersia arah sumbu x (mm^4)
 I_y = Inersia arah sumbu y (mm^4)

3.1.1 Perencanaan sagrod dan tierod

3.1.2.1 sagrod

$$P = 0,33 \cdot Fu \cdot Asagrod \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

$$P_{//} = P \cdot \sin \alpha \cdot Ss \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$Asagrod = \frac{P}{0,33 \cdot Fu} = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 sagrod \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

$$Dsagrod = \sqrt{\frac{P \cdot 4}{0,33 \cdot Fu \cdot \pi}} \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

$$Dpakai = Dsagrod + 3 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

3.1.2.2 Tierod

$$T = P \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3-12)$$

$$T = 0,33 \cdot Fu \cdot Atierod \quad \dots\dots\dots (3-13)$$

$$Atierod = \frac{T}{0,33 \cdot Fu} = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 tierod \quad \dots\dots\dots (3-14)$$

$$Dtierod = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{0,33 \cdot Fu \cdot \pi}} \quad \dots\dots\dots (3-15)$$

$$Dpakai = Dtierod + 3 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (3-16)$$

- keterangan : P = gaya yang bekerja (kips)
 P// = gaya sejajar sumbu batang (kips)
 Fu = kuat tarik baja (ksi)
 Ss = jarak beban sagrod (in)
 D = diameter baja (in)
 A = luas penampang baja (in^2)
 T = tegangan yang bekerja (kips)

3.1.4 Perencanaan Batang Tarik

$$A_{g1 \text{ perlu}} = \frac{T}{0,60.F_y} \dots\dots\dots(3-17)$$

$$A_{g2 \text{ perlu}} = \frac{T}{0,5.F_u} + A_{\text{lubang}} \dots\dots\dots(3-18)$$

$$A_{\text{Lubang}} = (1/8'' + \varnothing_{\text{baut}}) \cdot \text{tebal plat} \cdot n \dots\dots\dots (3-19)$$

$$r_{\text{min}} = \frac{kL}{240} \dots\dots\dots (3-20)$$

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

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{bruto}} - A_{\text{lubang}} \dots\dots\dots (3-21)$$

$$A_{\text{ef ada}} = A_{\text{netto}} \cdot \mu \dots\dots\dots (3-22)$$

$$\mu = 0,75 \text{ Sampai } 1 \dots\dots\dots (3-23)$$

❖ Kontrol Tegangan Tarik yang terjadi

$$\text{-Tampang tanpa lubang : } f_a = \frac{T}{A_g} \leq 0,60.F_y \dots\dots\dots (3-24)$$

$$\text{-Tampang ada lubang : } f_a = \frac{T}{A_{\text{ef}}} \leq 0,50.F_y \dots\dots\dots (3-25)$$

Keterangan : L = panjang batang (in)

T = gaya tarik (kips)

r = jari –jari inersia terkecil profil (in)

A_{netto} = luas bersih penampang (mm)

A_g = luas kotor penampang (mm)

f_a = tegangan tarik yang terjadi (ksi)

n = jumlah batang

\varnothing = diameter (in)

μ = faktor reduksi luas netto, dengan kriteria :

- a. lebar sayap $\geq 2/3$ X kedalaman; sambungan pada sayap-sayap minimal 3 ikatan pergaris dalam garis tekanan $\mu = 0,90$
- b. minimum 3 ikatan pergaris tekanan yang tidak sama dengan kriteria (a) $\mu = 0,85$
- c. 2 ikatan pergaris tekanan $\mu = 0,75$

3.1.5 Perencanaan Batang Desak

3.1.5.1 Kontrol tekuk

$$\frac{bf}{tw} \leq \frac{76}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Ksi}) \quad \dots\dots\dots (3-26)$$

3.1.5.2 kontrol kelangsingan :

$$a. \frac{kL}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{755}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Fy dalam Ksi}) \quad \dots\dots (3-27)$$

$$\leq C_c = \frac{6400}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Fy dalam Kg/cm}^2) \quad \dots\dots (3-28)$$

$$\leq C_c = \frac{1987}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Fy dalam Mpa}) \quad \dots\dots (3-29)$$

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{kL/r}{C_c} - \frac{1}{8} \frac{(kL/r)^3}{C_c^3} \quad \dots\dots\dots (3-30)$$

$$F_a = \frac{F_y}{FS} \left(1 - 0,5 \left(\frac{Kl/r}{C_c} \right)^2 \right) \quad \dots\dots\dots (3-31)$$

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

$$F_a = \frac{12}{23} \frac{\pi^2 E}{(Kl/r)^2} \quad \dots\dots\dots (3-32)$$

3.1.5.3 Kontrol Beban

$$T = F_a \cdot A > P \quad \dots\dots\dots (3-33)$$

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

Kl/r = angka kelangsingan elemen desak

FS = faktor keamanan

T = beban ijin

P = beban yang terjadi

3.1.6 Perencanaan Sambungan

$$P_{\text{tumpuan}} = t_p \cdot D_{\text{baut}} \cdot 1,2 \cdot F_u \cdot N \quad \dots\dots\dots (3-34)$$

$$D_{\text{baut}} = \frac{P_{\text{tumpuan}}}{1,2 \cdot F_u \cdot N \cdot t_p} \quad \dots\dots\dots (3-35)$$

$$P_{\text{geser}} = A_{\text{baut}} \cdot F_v \cdot 2n = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{baut}}^2 \cdot F_v \cdot 2n \quad \dots\dots\dots (3-36)$$

$$D_{\text{baut}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{geser}}}{2 \cdot \pi \cdot F_v \cdot N}} \quad \dots\dots\dots (3-37)$$

3.2 PERENCANAAN PELAT 2 ARAH

3.2.1 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) :

$$h \geq \frac{Ln \cdot (0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5\beta \cdot \left[\alpha_m - 0,12 \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \quad \dots\dots\dots (3-38)$$

$$\text{tetapi tidak boleh kurang dari : } h \geq \frac{Ln \cdot (0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta} \quad \dots\dots\dots (3-39)$$

$$\text{dan tidak perlu lebih dari : } h \leq \frac{Ln \cdot (0,8 + f_y/1500)}{36} \quad \dots\dots\dots (3-40)$$

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

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

keterangan: L_n = bentang bersih pada pelat dihitung dari muka kolom (mm)

α_m = rasio kekakuan balok terhadap pelat

β = rasio panjang terhadap lebar bentang pelat

3.2.2 Menentukan Momen Lentur terjadi

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

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot qu \cdot L_x^2 \cdot X_{tx} \\ M_{lx} &= 0,001 \cdot qu \cdot L_x^2 \cdot X_{lx} \\ M_{ty} &= 0,001 \cdot qu \cdot L_x^2 \cdot X_{ty} \\ M_{ly} &= 0,001 \cdot qu \cdot L_x^2 \cdot X_{ly} \end{aligned} \dots\dots\dots(3-41)$$

keterangan : qu = 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

3.2.3 Menentukan Tinggi manfaat (d) arah x dan y

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(3-42)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots(3-43)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(3-44)$$

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.

$$d_x = h - P_b - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul. x} \dots\dots\dots(3-45)$$

$$d_y = h - P_b - \varnothing_{tul. x} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul. y} \dots\dots\dots(3-46)$$

3.2.4 Menentukan Luas Tulangan (As) arah x dan y

$$R_n = \frac{Mu / \phi}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(3-47)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots (3-48)$$

$$\rho_{ada} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \dots\dots\dots (3-49)$$

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

$$\text{Luas tulangan pokok : } A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (3-50)$$

Jarak tulangan pokok (diambil $b = 1$ meter)

$$s \leq \frac{A_1 \cdot b}{A_{s_{perlu}}} \dots\dots\dots (3-51)$$

$$s \leq 2h \dots\dots\dots (3-52)$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (3-53)$$

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

$$A_{Sada} : A_{Sada} = \frac{A_1 \cdot b}{s} \dots\dots\dots (3-54)$$

3.2.5 Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi

$$a = \frac{A_{sada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3-55)$$

$$Mn = A_{Sada} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \geq \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots (3-56)$$

3.3 PENENCANAAN BALOK

- faktor blok tegangan beton (β_1), sama dengan : (SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.3.2 butir 7.3)

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

$$f'c > 30 \text{ MPa} \longrightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'c - 30) \geq 0,65 \dots (3-57)$$

- Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (3-58)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (3-59)$$

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

dalam perencanaan dipakai nilai ρ : $\rho_{pakai} = 0,5 \cdot \rho_{maks} \dots\dots\dots (3-60)$

keterangan :

ρ_b = rasio tulangan terhadap luas beton efektif dalam keadaan seimbang

ρ_{maks} = rasio tulangan maksimum

ρ_{pakai} = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots\dots\dots (3-61)$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m) \dots\dots\dots (3-62)$$

$$b \cdot d^2 = \frac{M_u / \theta}{R_n} ; \text{ sehingga } d = \sqrt{\frac{M_u / \theta}{R_n \cdot b}} \dots\dots\dots (3-63)$$

dengan : $b \geq 250$ mm dan $b/h \geq 0,3$

Tentukan diameter (ϕ) rencana dan penutup beton

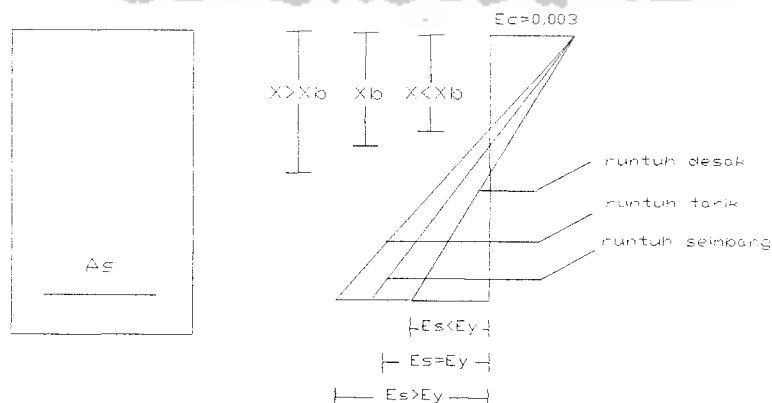
$$d = h - P_b - \phi \text{ sengkang} - z$$

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

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

3.2.1 Perencanaan Dengan Tulangan Sebelah

- Menentukan ρ_{ada} dan $R_{n,ada}$



Gambar 3.1 Distribusi regangan untuk berbagai ragam keruntuhan

$$Rn_{ada} = \frac{Mu/\phi}{b.d_{ada}^2} \dots\dots\dots(3-64)$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \cdot \rho \dots\dots\dots(3-65)$$

▪ Menentukan Luas tulangan (As)

$$As = \rho_{ada} \cdot b \cdot d_{ada} \dots\dots\dots (3-66)$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{As}{A_1} \dots\dots\dots (3-67)$$

$$As_{ada} = n \cdot A_1 > As \dots\dots\dots (3-68)$$

keterangan :

z = Jarak pusat tulangan pokok ke sisi dalam sengkang (mm)

As = Luas tulangan tarik longitudinal (mm²)

As_{ada} = Luas tulangan tarik longitudinal yang ada (mm²)

A₁ = Luas tampang 1 buah tulangan (mm²)

ρ_{ada} = rasio tulangan berdasarkan perhitungan luas penampang beton

▪ Kontrol kapasitas Lentur yang terjadi

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3-69)$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot (d - a/2) > Mu/\phi \dots\dots\dots (3-70)$$

keterangan :

a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

Mn = kapasitas lentur nominal yang terjadi (Nmm)

3.3.2 Perencanaan Dengan Tulangan Rangkap

▪ Menentukan As₁ dan Mn₁

Ambil ρ₁ = ρ - ρ = ρ tulangan sebelah

$$As_1 = \rho_1 \cdot b \cdot d_{ada} \dots\dots\dots (3-71)$$

$$a = \frac{As_1 \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3-72)$$

$$Mn_1 = As_1 \cdot fy \cdot (d - a/2) < Mu/\phi \dots\dots\dots (3-73)$$

▪ Menentukan Mn_2

$$\frac{Mu}{\phi} \leq Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn_1 \quad \dots\dots\dots (3-74)$$

keterangan:

Mn_1 = kuat momen pas. kopel gaya beton tekan dan tul. baja tarik (Nmm)

Mn_2 = kuat momen pas. kopel tul. baja tekan dan baja tarik tambahan (Nmm)

▪ Menentukan $As' = As_2$ dan As

$$fs' = 600 \cdot \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot fy \cdot d} \right\} \quad \dots\dots\dots (3-75)$$

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

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

$$As' = \frac{Mn_2}{fs' \cdot (d - d')} \quad \dots\dots\dots (3-76)$$

$$\text{Jumlah tulangan tarik : } n' = \frac{As'}{A_1}$$

$$As = As_1 + As', \quad As' = As_2 \quad \dots\dots\dots (3-77)$$

$$\text{Jumlah tulangan tekan : } n = \frac{As}{A_1}$$

keterangan: ρ_1 = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

As_1 = luas penampang tulangan baja tarik (mm^2)

As_2 = luas penampang tulangan baja tarik tambahan (mm^2)

As' = luas penampang tulangan baja tekan (mm^2)

▪ Kontrol kapasitas Lentur yang terjadi

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d_{ada}} \quad \dots\dots\dots (3-78)$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \cdot d_{ada}} \quad \dots\dots\dots (3-79)$$

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

$$a = \frac{As \cdot f_y - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3-80)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$= (As \cdot f_y - As' \cdot fs') \cdot (d - a/2) + (As' \cdot fs') \cdot (d - d') \dots\dots\dots (3-81)$$

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

$$a = \frac{(As - As') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3-82)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$= (As - As') \cdot f_y \cdot (d - a/2) + (As' \cdot f_y) \cdot (d - d') \dots\dots\dots (3-83)$$

keterangan :

d' = tebal selimut beton, diukur dari serat atas ke pusat tul.tekan (mm)

fs' = tegangan tul. baja tekan yang terjadi (Mpa)

3.3.3 Perencanaan Geser Balok

3.3.3.1 Menentukan tegangan geser beton (V_c)

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \right) \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (3-84)$$

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (3-85)$$

3.3.3.2 Menentukan jarak sengkang

1. Bila $V_u \leq 0,5 \phi V_c \rightarrow$ tulangan geser diabaikan

2. Bila $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

a. untuk pelat lantai, pelat atap, ponasi dan balok, dengan $d \leq 25$

cm atau $d \leq 2,5$. tebal sayap, geser tidak diperhitungkan.

b. Selain point a, dipakai tulangan geser minimum sebesar:

$$S \leq (A_v \cdot f_y \cdot d) / (1/3 \cdot b \cdot d) \dots\dots\dots (3-86)$$

$$S \leq d/2$$

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

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:

$$S \leq (A_v \cdot f_y \cdot d) / (1/3 \cdot b \cdot d) \dots\dots\dots (3-87)$$

$$S \leq d/2$$

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

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

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$S \leq (A_v \cdot f_y \cdot d) / V_s ; V_s = V_u / \phi - V_c \dots\dots\dots (3-88)$$

$$S \leq d/2$$

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

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

Dipakai sengkang dengan jarak sebesar :

$$S \leq (A_v \cdot f_y \cdot d) / V_s ; V_s = V_u / \phi - V_c \dots\dots\dots (3-89)$$

$$S \leq d/4$$

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

6. Bila $V_u > 5 \phi V_c$

Untuk balok dimensinya diperbesar atau dirubah.

keterangan : V_s = kuat geser nominal tulangan geser (N)

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

V_c = tegangan ijin geser beton (MPa)

V_u = gaya geser berfaktor akibat beban luar (N)

- ϕ = faktor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,60 (geser dan torsi)
- A_v = luas penampang tulangan geser (mm)

3.3.4 Perencanaan Geser Dan Torsi Balok

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

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).
3. Kontrol

- Struktur statis tertentu : torsi keseimbangan

$$T_u > \phi \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots\dots\dots (3-90)$$

- Struktur statis tak tentu : torsi kompatibilitas

$$T_u \geq \phi \left(\frac{1}{9} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots\dots\dots (3-91)$$

2. Hitung

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \dots\dots\dots (3-92)$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\Sigma x^2 \cdot y} \dots\dots\dots (3-93)$$

Apabila struktur mengalami gaya aksial cukup besar, T_c dikalikan $1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g}$

Jika $\frac{T_u}{\phi} \leq T_c$ \longrightarrow torsi diabaikan

Jika $\frac{T_u}{\phi} > T_c$ \longrightarrow perlu tulangan torsi

Untuk torsi keseimbangan : $T_s = \frac{T_u}{\phi} - T_c \dots\dots\dots (3-94)$

Untuk torsi kompatibilitas : $T_s = \frac{1}{9} \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \cdot \frac{1}{3} - T_c \dots\dots\dots (3-95)$

Jika $Tu/\phi > 4 Tc$ \longrightarrow tampang diperbesar

Kontrol kuat momen torsi yang terjadi : $Tu \geq \phi Tn$

$$Tn = Tc + Ts \quad \dots\dots\dots (3-96)$$

3. Hitung

$$\frac{At}{s} = \frac{Ts}{\alpha t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot fy} \quad \dots\dots\dots (3-97)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{3} \cdot \left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5 \quad \dots\dots\dots (3-98)$$

4. Hitung tulangan geser (sejang)

Bila $Vc < Vu/\phi$, maka diperlukan tulangan geser.

$$Vs = Vu/\phi - Vc \quad \dots\dots\dots (3-99)$$

$$Vc = \frac{\left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \right)}{\sqrt{1 + \left(2,5 \cdot Ct \cdot \frac{Tu}{Vu} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots (3-100)$$

5. Dapatkan luas total sejang

$$\frac{Avt}{s} = \frac{2 \cdot At}{s} + \frac{Av}{s} \geq \frac{bw \cdot s}{3fy} \quad \dots\dots\dots (3-101)$$

6. Hitung tulangan torsi memanjang

$$Al_1 = 2 \cdot At \cdot \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \text{ atau ; } \quad \dots\dots\dots (3-102)$$

$$Al_1 = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{fy} \left(\frac{Tu}{Tu + Vu/3Ct} \right) - 2 \cdot 2t \right] \cdot \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots\dots\dots (3-103)$$

Nilai Al_1 diambil yang terbesar, tetapi nilai Al_1 tidak lebih dari :

$$Al_2 = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{fy} \left(\frac{Tu}{Tu + Vu/3Ct} \right) - \frac{bw \cdot s}{3 \cdot fy} \right] \cdot \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots\dots\dots (3-104)$$

keterangan : Av = luas sejang menahan geser (mm^2)

At = luas sejang menahan torsi (mm^2)

A_l = luas tulangan memanjang tambahan pada torsi (mm^2)

4. Susun tulangan torsi

- Jarak tulangan sengkang : $s \leq \frac{x_1 + y_1}{4}$ (3-105)

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

- Tulangan memanjang disebar merata ke semua sisi dengan jarak tulangan memanjang $\leq 300 \text{ mm}$
- ϕ tulangan memanjang $\geq 12 \text{ mm}$
- f_y tulangan torsi $\leq 400 \text{ Mpa}$
- Tulangan torsi harus ada paling tidak sejauh $(b + d)$ dari titik ujung teoritis torsi yang diperlukan.

3.4 PERENCANAAN PENULANGAN KOLOM.

3.4.1 Perencanaan Kolom Pendek

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

- Menentukan nilai b , h , f_c' , f_y , d' , d
- Menghitung kapasitas kolom pendek

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \text{(3-106)}$$

- Untuk sengkang biasa :

$$\phi P_{no} = 0,8 \cdot \phi P_o = 0,8 \cdot \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \text{(3-107)}$$

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

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \text{ (3-108)}$$

- Untuk sengkang spiral :

$$\phi P_{no} = 0,85 \cdot \phi P_o = 0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \text{ (3-109)}$$

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

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,85 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \text{(3-110)}$$

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

$$A_g = b \cdot h = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad \dots\dots\dots(3-111)$$

$$A_{st} = n\% \cdot A_g = A_s + A_{s'} \quad \dots\dots\dots(3-112)$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{A_{st}}{2} \quad \dots\dots\dots (3-113)$$

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (3-114)$$

$$P_{no} = 0,8 \cdot P_o \quad ; \text{ untuk sengkang biasa} \quad \dots\dots\dots (3-115)$$

$$P_{no} = 0,85 \cdot P_o \quad ; \text{ untuk sengkang spiral} \quad \dots\dots\dots(3-116)$$

keterangan : P_o = kuat desak aksial nominal pada eksentrisitas nol (N)

P_u = gaya desak aksial terfaktor pada eksentrisitas tertentu (N)

P_n = kuat desak aksial pada eksentrisitas tertentu (N)

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

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

A_s = luas tulangan tarik pada kolom (mm^2)

3. Tentukan nilai x yang akan digunakan

jika $x > x_b$; kolom ditinjau terhadap kegagalan akibat desak

jika $x < x_b$; kolom ditinjau terhadap kegagalan akibat tarik

$$\text{dengan } x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad \dots\dots\dots(3-117)$$

syarat kegagalan :

a. runtuh seimbang

$$x = x_b$$

b. runtuh desak

$$M_n < M_{nb} ; e < e_b ; P_n > P_{nb} ; x > x_b$$

c. runtuh tarik

$$M_n < M_{nb} ; e > e_b ; P_n < P_{nb} ; x < x_b$$

4. Dihitung

$$a = \beta_1 \cdot x \quad \dots\dots\dots(3-118)$$

$$f_{s'} = \frac{x_b - d'}{x_b} \cdot 600 \quad \dots\dots\dots(3-119)$$

$$f_s' = \frac{d-x}{x} \cdot 600 \leq f_y \quad \dots\dots\dots (3-120)$$

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

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

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot (x \cdot \beta_1) \quad \dots\dots\dots(3-121)$$

$$C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad \dots\dots\dots(3-122)$$

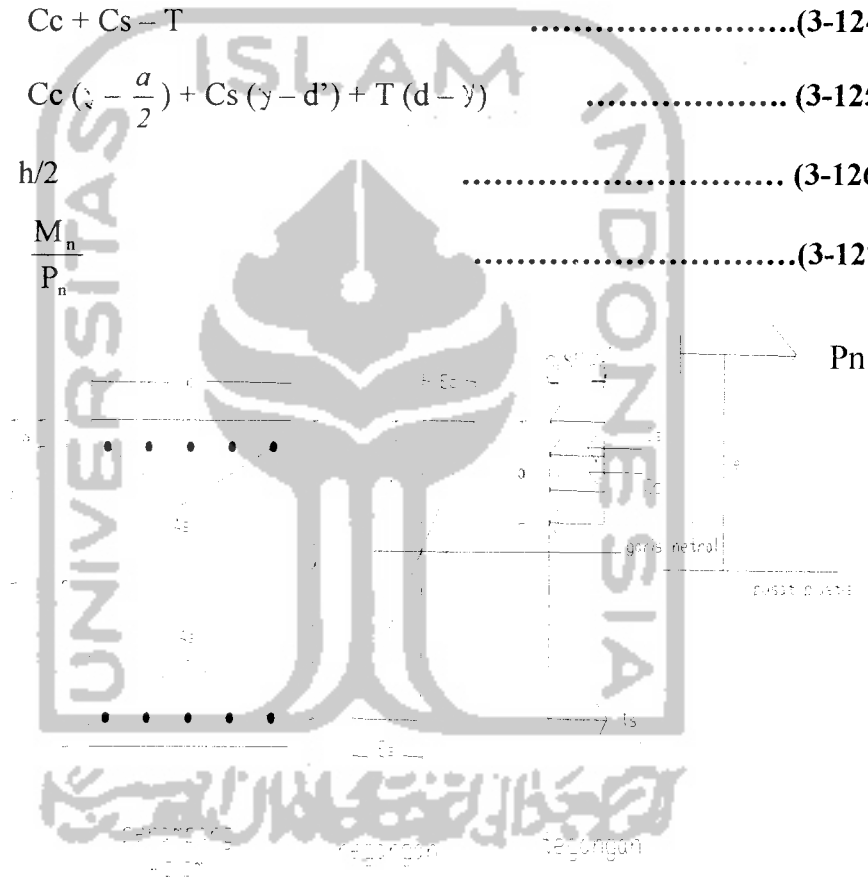
$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(3-123)$$

$$P_n = C_c + C_s - T \quad \dots\dots\dots(3-124)$$

$$M_n = C_c \left(y - \frac{a}{2} \right) + C_s (y - d') + T (d - y) \quad \dots\dots\dots (3-125)$$

$$y = h/2 \quad \dots\dots\dots (3-126)$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} \quad \dots\dots\dots(3-127)$$



Gambar Diagram Tegangan-Regangan Kolom

keterangan : M_n = kapasitas lentur kolom dalam keadaan seimbang (Nmm)

P_n = kuat Desak aksial kolom (N)

e = eksentrisitas gaya pada kolom (mm)

f_s' = tegangan leleh baja tulangan (MPa)

x = jarak serat terluar beton ketitik ditinjau (mm)

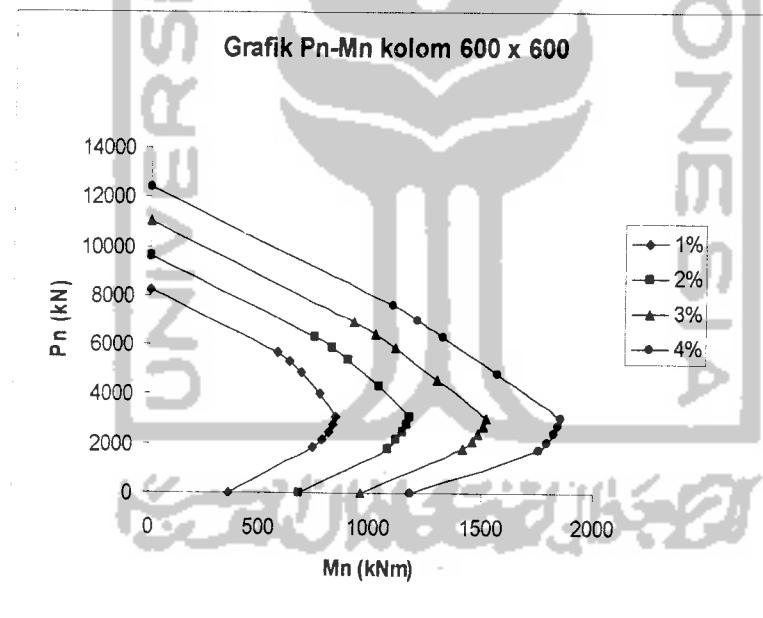
5. Pada saat $P_n = 0$; M_n dihitung dengan menghitung seperti balok bertulangan sebelah.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad \dots\dots\dots(3-128)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(3-129)$$

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

Gambar dibawah adalah Diagram Interaksi Kolom, dimana kuat desak aksial diungkapkan sebagai ϕP_n pada sumbu tegak dan kuat momen diungkapkan sabagai $\phi P_n.e$ pada sumbu datar. Diagram hanya berlaku untuk kolom yang dianalisis saja, dan 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 menjadi berlebihan (*overdesigned*). Dan titik-titik yang diluar diagram akan memberikan pasangan beban dan momen yang menghasilkn penulangan yang kurang (*underdesigned*).



Gambar 3.1 Diagram Momen Nominal-Kuat Desak Aksial Nominal (M_n - P_n)

3.4.2 Kolom Langsing

Tahap-tahap perencanaan kolom langsing adalah sebagai berikut :

1. Menentukan tingkat kelangsingan kolom

$$\begin{aligned} \text{Kelangsingan} &= \frac{k \cdot l_u}{r} \longrightarrow r = \sqrt{\frac{I}{A}} \\ &= 0,3 h \text{ (untuk kolom tampang persegi)} \\ &= 0,25 D \text{ (untuk kolom tampang bulat)} \end{aligned}$$

keterangan : k = faktor panjang efektif

l_u = panjang bersih kolom

r = radius girasi

I = inersia tampang

A = luas tampang

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 yan lain bebas $k = 2,0$
 - Kedua ujung jepit, ada gerak lateral $k = 1,0$
- Untuk kolom yang merupakan bagian portal

Sebagai langkah awal adalah menentukan nilai kekakuan relatif (Ψ)

$$\Psi = \frac{\sum (EI/l)_{kolom}}{\sum (EI/l)_{balok}} \dots\dots\dots(3-130)$$

kemudian nilai Ψ diplotkan ke dalam grafik nomogram atau grafik *alignment*, sehingga didapat nilai k.

Batasan-batasan kolom disebut langsing, adalah :

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

$$> 22 \quad \text{untuk rangka/portal bergoyang}$$

dimana : M_{1b} dan M_{2b} adalah momen-momen ujung terfaktor pada kolom yang posisinya berlawanan ($M_{1b} \leq M_{2b}$)

2. Momen rencana

$$M_{rencana} = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \dots\dots\dots(3-131)$$

$$\delta_b = \frac{Cm}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1,0 \quad \dots\dots\dots(3-132)$$

$$Cm = 0,6 + 0,4 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \geq 0,4 \quad \dots\dots\dots(3-133)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\phi \Sigma P_c}} \quad \dots\dots\dots(3-134)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(kl)^2} \quad (\text{rumus Euler}) \quad \dots\dots\dots(3-135)$$

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

$$EI = \frac{\frac{1}{5}(E_c \cdot I_g) + E_s \cdot I_{se}}{1 + \beta d} \quad \dots\dots\dots(3-136)$$

Bila $A_{sst} \leq 3 \% A_g$, maka :

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{2,5(1 + \beta d)} \quad \dots\dots\dots(3-137)$$

Keterangan :

δ_b = pembesaran momen dengan pengaku pada pembebanan tetap

δ_s = pembesaran momen tanpa pengaku pada pembebanan sementara

M_{2b} = momen terfaktor terbesar pada ujung komponen tekan akibat pembebanan tetap

M_{2s} = momen terfaktor terbesar disepanjang komponen struktur tekan akibat pembebanan sementara

P_u = beban aksial kolom akibat gaya luar

ϕ = 0,65 = faktor reduksi

P_c = beban tekuk

E_c = modulus elastis beton

E_s = modulus elastis baja tulangan

I_g = momen inersia beton kotor (penulangan diabaikan)

$$I_{se} = \text{momen inersia terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur}$$

$$\beta_d = \frac{\text{momen.akibat.beban.mati.rencana}}{\text{momen.akibat.beban.total}} \dots\dots\dots(3-138)$$

3. Mencari Mn dan Pn

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots(3-139)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3-140)$$

Dari nilai tersebut dimasukkan ke dalam diagram Pn-Mn kolom untuk mendapatkan luas tulangan rencana.

3.5 PERENCANAAN BEBAN GEMPA

3.5.1 Perencanaan Struktur Portal Dengan Daktilitas Penuh

Pembebanan gempa menurut PPKGURDG 1987 :

$$V_b = C.I.K.W_t \dots\dots\dots(3-141)$$

Keterangan :

V_b = gaya gempa dasar

C = koefisien gempa dasar

I = Faktor keutamaan struktur

K = Faktor jenis struktur

W_t = Berat kombinasi beban mati keseluruhan dan beban hidup vertical yang direduksi

- Koefisien gempa dasar (C) ditentukan dari gambar 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 :

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

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

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

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x}{\sum W_x \cdot h_x} \cdot V_{bx} \quad \dots\dots\dots(3-142)$$

$$F_y = \frac{W_y \cdot h_y}{\sum W_y \cdot h_y} \cdot V_{by} \quad \dots\dots\dots(3-143)$$

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

$$F_x = 0,9 \frac{W_x \cdot h_x}{\sum W_x \cdot h_x} V_{bx} + (0,1 \cdot V_{bdipuncak}) \quad \dots\dots\dots(3-144)$$

$$F_y = 0,9 \frac{W_y \cdot h_y}{\sum W_y \cdot h_y} V_{by} + (0,1 \cdot V_{bdipuncak}) \quad \dots\dots\dots(3-145)$$

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

3.5.2 Perencanaan Balok Portal

a. Perencanaan Balok Portal Terhadap Lentur

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

$$M_{u,b} = 1,2 \cdot M_{d,b} + 1,6 \cdot M_{L,br} \quad \dots\dots\dots(3-146)$$

$$M_{u,b} = 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{E,br} + M_{E,b}) \quad \dots\dots\dots(3-147)$$

$$M_{u,b} = 0,9 \cdot M_{D,b} + M_{E,b} \quad \dots\dots\dots(3-148)$$

Keterangan :

$M_{D,b}$ = 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

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

$$q = 30 \cdot \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \right\} \% \quad \dots\dots\dots(3-149)$$

Dengan syarat apabila tulangan lentur balok portal telah direncanakan ($\rho - \rho'$) tidak boleh melebihi $0,5 \rho_b$. Momen lapangan dan tumpuan pada bidang muka kolom yang diperoleh dari hasil redistribusi selanjutnya digunakan untuk menghitung penulangan lentur yang diperlukan. Untuk portal dengan daktilitas penuh perlu dihitung kapasitas lentur sendi plastis balok yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$M_{kap,b} = \phi_0 \cdot M_{nak,b} \quad \dots\dots\dots(3-150)$$

Keterangan :

ϕ_0 = 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 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 :

$$V_{u,b} = 0,7 \left(\frac{M_{kap} + M_{kap}'}{l_n} \right) + 1,05V_g \quad \dots\dots\dots(3-151)$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,b} = 1,05 \left(V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4,0}{K} V_{E,b} \right) \dots\dots\dots(3-152)$$

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

3.5.3 Perencanaan Kolom Portal

a. Perencanaan Kolom Portal Terhadap Lentur dan Aksial

Untuk struktur rangka dengan daktilitas 3, kuat lentur minimum harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$M_{u,k} = 0,70 \cdot \omega_d \cdot \sum M_{kap,b} \dots\dots\dots(3-153)$$

$$\text{atau } M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot (M_{kap, ki} + M_{kap, ka}) \dots\dots\dots(3-154)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$M_{u,k} = 1,05 \left(M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4,0}{K} \cdot M_{g,k} \right) \dots\dots\dots(3-155)$$

$$M_{u,k} = \phi_0 \cdot M_{nak,b} \dots\dots\dots(3-156)$$

$$\text{Sehingga : } \sum M_{kap,b} = M_{kap, ki} + M_{kap, ka} \dots\dots\dots(3-157)$$

keterangan :

ω = 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 dasar (tanpa faktor pengali tambahan).

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:

$$N_{u,k} = \frac{0,7.R_v \cdot \sum M_{kap,b}}{l_b} + 1,05 N_{g,k} \dots\dots\dots(3-158)$$

tetapi dalam segala hal :

$$N_{u,k} > 1,05 \left(N_{g,k} + \frac{4,0}{K} \cdot N_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3-159)$$

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_b = 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

b. 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 :

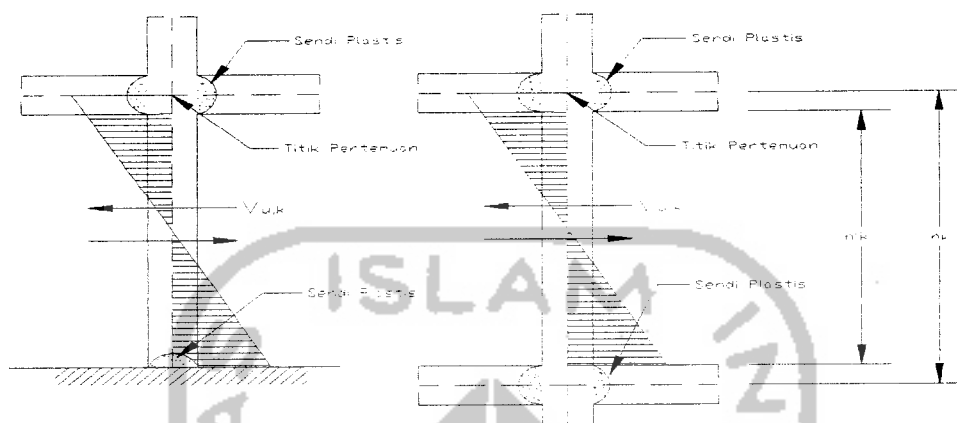
$$V_{u,k} = \frac{M_{u,katas} + M_{u,kbawah}}{h'_k} \dots\dots\dots(3-160)$$

Dan dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 \cdot \left(M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3-161)$$

Kapasitas lentur sendi plastis kolom dapat dihitung :

$$M_{\text{kap, k bawah}} = \phi_0 \cdot M_{\text{nak, k bawah}} \dots\dots\dots(3-162)$$



Gambar 3.2 Kolom dengan $M_{u,k}$ Berdasarkan Kapasitas Sendi Plastis Balok

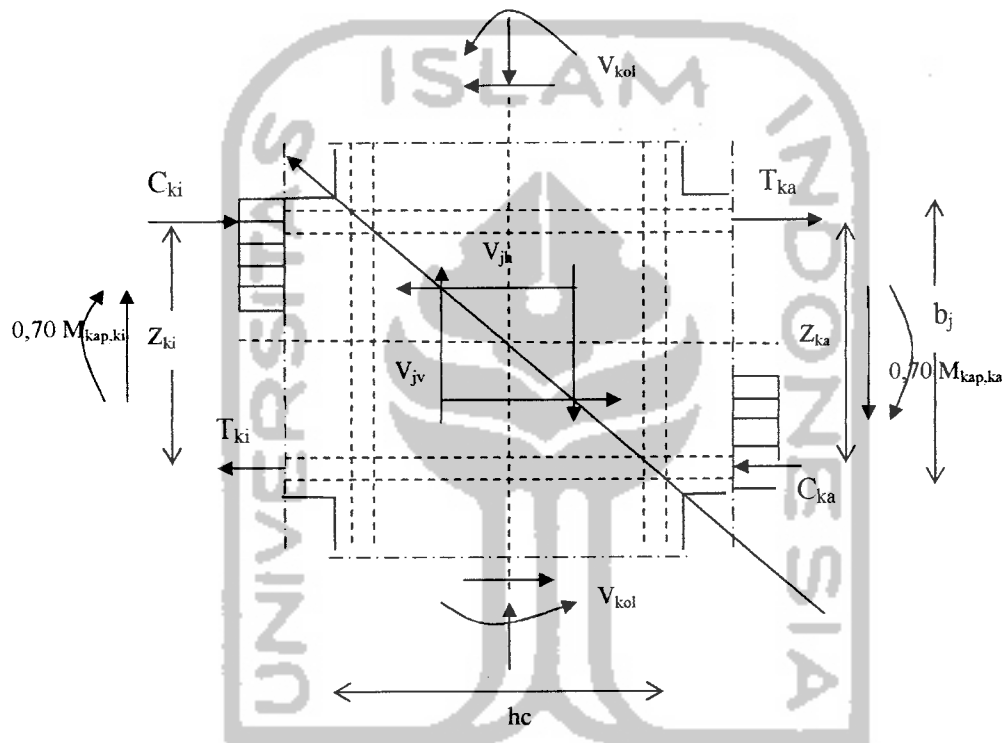
keterangan :

- $M_{u,k}$ atas = momen rencana kolom ujung atas dihitung pada muka balok
- $M_{u,k}$ bawah = momen rencana kolom ujung bawah dihitung pada muka balok
- h'_k = tinggi bersih kolom
- $V_{D,k}$ = gaya geser kolom akibat beban mati
- $V_{L,k}$ = gaya geser kolom akibat beban hidup
- $V_{E,k}$ = gaya geser kolom akibat beban gempa.
- $M_{\text{kap, k bawah}}$ = kapasitas lentur ujung dasar kolom lantai dasar
- $M_{\text{nak, k bawah}}$ = kuat lentur nominal actual ujung dasar kolom lantai dasar
- $M_{\text{kap,ki}}$ = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salah satu ujung balok kiri atau bidang muka kolom kiri.
- $M_{\text{kap,ka}}$ = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salah satu ujung balok kanan atau bidang muka kolom kanan.
- $V_{D,b}$ = gaya geser balok portal akibat beban mati
- $V_{L,b}$ = gaya geser balok portal akibat beban hidup
- $V_{E,b}$ = gaya geser balok portal akibat beban gempa.
- l_n = bentang bersih balok

3.5.4 Perencanaan Titik Pertemuan Balok Kolom

Pada titik pertemuan rangka join harus memenuhi beberapa ketentuan. Momen lentur dan gaya geser kolom, serta geser horisontal V_{jh} dan geser vertikal V_{jv} yang melewati inti join harus dianalisis dengan memperhitungkan seluruh pengaruh gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada titik pertemuan (join).

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



Gambar 3.3 Panel Pertemuan Balok dan Kolom Portal

Dimana:

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \quad \dots\dots\dots(3-163)$$

Dengan,

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,70 \frac{M_{kap,ki}}{Z_{ki}} \quad \dots\dots\dots(3-164)$$

$$T_{ka} = C_{ka} = 0,70 \frac{M_{kap,ka}}{Z_{ka}} \quad \dots\dots\dots(3-165)$$

$$V_{kol} = \frac{0,70 \left(\frac{I_{ki}}{I_{ki'}} M_{kap,ki} + \frac{I_{ka}}{I_{ka'}} M_{kap,ka} \right)}{1/2(h_{ka} + h_{ki})} \dots\dots\dots(3-166)$$

Tegangan geser horizontal nominal dalam join adalah sebagai berikut:

$$V_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} < 1,5 \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(3-167)$$

Keterangan :

b_j = lebar efektif join, mm

h_c = tinggi total penampang kolom dalam arah geser yang ditinjau, mm

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 :

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right) - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \cdot h_j} \dots\dots\dots(3-168)$$

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

$$V_{ch} = 0,7 \cdot P_{cs} \dots\dots\dots(3-169)$$

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 :

$$V_{ch} = 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \dots\dots\dots(3-170)$$

Dimana rasio A_s'/A_s tidak boleh lebih besar dari satu (1).

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

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \cdot h_j \quad \dots\dots\dots(3-171)$$

Pada join rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis :

$$V_{sh} = V_{jh} - 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \quad \dots\dots\dots(3-172)$$

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 : $A_{jh} = \frac{V_{jg}}{f_y} \quad \dots\dots\dots(3-173)$

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

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

$$V_{jv} = V_{jh} \cdot \frac{h_c}{b_j} \quad \dots\dots\dots(3-174)$$

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

menjadi : $V_{cv} = A_{sc}' \cdot \frac{V_{sh}}{V_{sc}} \cdot \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'c} \right) \quad \dots\dots\dots(3-175)$

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

A_{sc} = luas tulangan longitudinal tarik

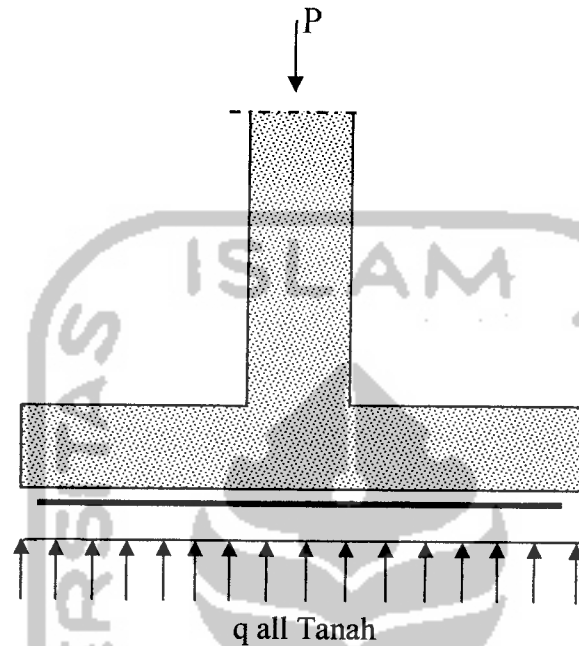
Sehingga luas tulangan join vertikal : $A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y} \quad \dots\dots\dots(3-176)$

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

3.6 PONDASI

3.6.1 Perencanaan Dimensi Penampang Pondasi

1. Tinjauan Terhadap Beban Tetap



Gambar 3.4 Potongan Pondasi

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{netto tanah}} &= \sigma_{\text{tanah}} - \Sigma(h \cdot \gamma_{\text{beton}}) - \Sigma(h \cdot \gamma_{\text{tanah}}) \\ \sigma_{\text{netto tanah}} &= \frac{P}{A_{\text{perlu}}} + \frac{My}{1/6 \cdot Bx^2 \cdot By} + \frac{Mx}{1/6 \cdot By^2 \cdot Bx} \dots\dots\dots(3-177)\end{aligned}$$

Kemudian dengan coba-coba diambil nilai L_p (lebar pondasi) dan P_p (panjang pondasi)

Sehingga didapat nilai $A_{\text{ada}} = L_p \times P_p > A_{\text{perlu}}$

Kontrol tegangan kontak yang terjadi di dasar pondasi :

$$\sigma_{\text{netto tanah}} = \frac{P}{A_{\text{ada}}} + \frac{My}{1/6 \cdot P^2 \cdot L} + \frac{Mx}{1/6 \cdot L^2 \cdot P} < \sigma_{\text{netto tanah}} \dots\dots\dots(3-178)$$

Jarak pusat tulangan tarik ke serat tekan beton :

$$d = h - P_b - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{\text{tul. pokok}} \dots\dots\dots(3-179)$$

keterangan :

- Nila P , M_x , M_y dari hasil analisis SAP 2000

- $\gamma_{\text{tanah}} = \text{berat volume tanah (kN/m}^3\text{)}$

2. Tinjauan Terhadap Beban Sementara

Eksentrisitas yang terjadi :

$$- e_x = \frac{M_x}{P} \dots\dots\dots(3-180)$$

$$- e_y = \frac{M_y}{P} \dots\dots\dots(3-181)$$

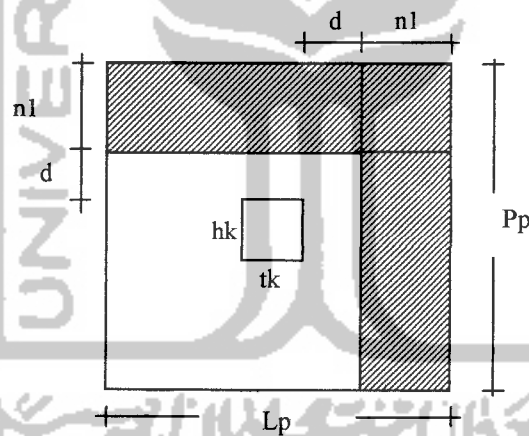
Kontrol tegangan yang terjadi :

$$\sigma = \frac{P}{(L.(P - 2.e_x)) + (P.(L - 2.e_y))} \dots\dots\dots(3-182)$$

3.6.2 Perencanaan Geser Pondasi

3.6.2.1 Geser satu (1) arah

→ Ditinjau pada arah momen terbesar .



Gambar 3.5 Pondasi dengan geser satu arah

$$n_1 = \frac{L_p - t_k - 2.d}{2} \dots\dots\dots(3-183)$$

• Tegangan kontak yang terjadi :

$$q_{u_{\max}} = \frac{P}{A_{\text{ada}}} + \frac{M}{1/6.L^2.P} \dots\dots\dots(3-184)$$

$$q_{u_{\min}} = \frac{P}{A_{\text{ada}}} - \frac{M}{1/6.L^2.P} \dots\dots\dots(3-185)$$

$$q_{u_m} = \frac{(L_p - m) \cdot q_{\max} + m \cdot q_{u_{\min}}}{L_p} \dots\dots\dots(3-186)$$

$$q_{u_{\text{terjadi}}} = q_{u_{\max}} + q_{u_m} \dots\dots\dots(3-187)$$

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

$$V_u = q_{u_{\text{terjadi}}} \cdot n_1 \cdot \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(3-188)$$

- Kekuatan beton menahan geser:

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot L \cdot d \dots\dots\dots(3-189)$$

- Kontrol gaya geser :

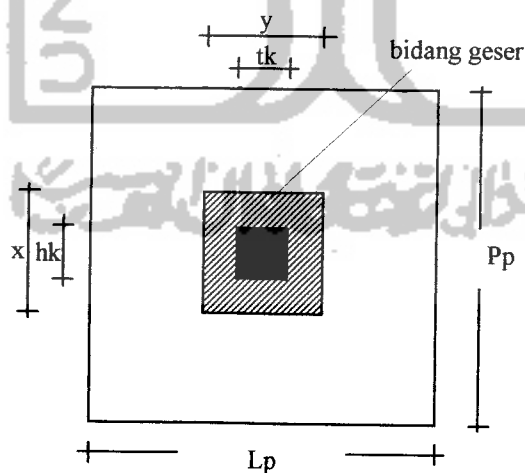
$$V_c \geq \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(3-190)$$

3.6.2.2 Perencanaan Geser Dua Arah

→ Ditinjau pada arah momen terbesar.

$$x = h_k + d$$

$$y = t_k + d$$



Gambar 3.6 Pondasi dengan geser dua arah

- Tegangan kontak yang terjadi :

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A_{ada}} + \frac{My}{1/6.P^2.L} + \frac{Mx}{1/6.L^2.P} \dots\dots\dots(3-191)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A_{ada}} - \frac{My}{1/6.P^2.L} - \frac{Mx}{1/6.L^2.P} \dots\dots\dots(3-192)$$

$$q_{u_{terjadi}} = q_{u_{\max}} + q_{u_{\min}} \dots\dots\dots(3-193)$$

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

$$V_u = q_{u_T} \cdot ((P_p \cdot L_p) - (x, y)) \dots\dots\dots(3-194)$$

- Kekuatan beton menahan geser :

$$\beta_c = \frac{\text{sisipanjang}}{\text{sisipendek}} \dots\dots\dots(3-195)$$

$$b_o = 2 \cdot (x + y) \dots\dots\dots(3-196)$$

$$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c}) \cdot (2 \cdot \sqrt{f'c}) \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(3-197)$$

$$V_{c2} = 4 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(3-198)$$

- Kontrol gaya geser :

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

$$V_c \geq \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(3-199)$$

3.6.3 Kuat Tumpuan Pondasi

- Kuat tumpuan Pondasi :

$$\phi \cdot P_n = \phi \cdot (0,85 \cdot f_c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}) \dots\dots\dots(3-200)$$

- Kuat tumpuan kolom :

$$\phi \cdot P_n = \phi \cdot (0,85 \cdot f_c \cdot A_1) \dots\dots\dots(3-201)$$

- Kontrol kuat tumpuan :

$$\phi \cdot P_{n_{pondasi}} > \phi \cdot P_{n_{kolom}} \dots\dots\dots(3-202)$$

keterangan :

A_1 = Luas penampang kolom

A_2 = Luas pelat pondasi

3.7.3 Perencanaan Tulangan Lentur Pondasi

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

• Tulangan arah x : $l_1 = \frac{1}{2} (P - h_k)$ (3-203)

$Mu_1 = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l_1^2$ (3-204)

• Tulangan arah y : $l_2 = \frac{1}{2} (P - b_k)$ (3-205)

$Mu_2 = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l_2^2$ (3-206)

Diambil nilai Mu_1 atau Mu_2 yang terbesar. Untuk Mu yang besar letak tulangan dibawah sedangkan Mu yang kecil letak tulangan diatas. Untuk pondasi diambil nilai penutup beton (P_b) ≥ 70 mm.

Gambar 3.7 Tegangan Lentur Pondasi

$d = h + P_b - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul.bawah}$ → untuk tul. bawah

$d = h + P_b - \varnothing_{tul.bawah} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{tul.atas}$ → untuk tul. atas

Untuk selanjutnya seperti pada perhitungan penulangan pada pelat lantai.

3.7 PERENCANAAN TANGGA

Langkah-langkah perencanaan tangga adalah sebagai berikut ini :

1. 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.
- Tinggi *optrede* ideal ≤ 20 cm (15 – 18 cm)

maka jumlah *optrede* (buah) :

Jumlah *optrede* = $\frac{h}{h_o}$ (dibulatkan keatas)(3-207)

sehingga tinggi *optrede* sebenarnya :

$h'_o = \frac{h}{jumlahoptrede}$ (3-208)

- Lebar *antrede* ideal ≥ 30 cm, diambil nilai lebar *antrede* (L_a) = 30 cm

$$\text{Jumlah antrede} = \text{Jumlah optrede} - 2 \quad \dots\dots\dots(3-209)$$

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

$$P_t = (P_a \times \text{Jumlah antred}/2) + L_b \leq 4,50 \text{ meter} \quad \dots(3-210)$$

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

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

- Diambil nilai tebal pelat (h) : 17,5 cm
- Sudut kemiringan ideal tangga antara $30^\circ - 35^\circ$ misal diambil sudut perkiraan awal (α) = 30° , maka tebal pelat sisi miring (h') :

$$h' = \frac{h}{\cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (3-211)$$

Sehingga sudut tangga sebenarnya (α') : $\alpha' = \frac{h'}{L_a} \quad \dots\dots\dots (3-212)$

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

$$d' = d - 2 \cdot (\text{lebar balok induk}/2) \quad \dots\dots\dots (3-213)$$

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

$$L_t = \frac{1}{2} \cdot (d' - (3 \times 0,1)) \geq 1,20 \text{ meter} \quad \dots\dots\dots (3-214)$$

3. Menentukan tulangan pelat tangga

Untuk perhitungan penulangan pelat tangga sama dengan perhitungan pada penulangan pelat lantai.

