

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Dasar Perencanaan

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

Menurut SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.2 faktor beban ditentukan sebagai berikut :

1. Beban mati = D
2. Beban Hidup = L
3. Beban gempa = E

$$U = 1,2.D + 1,6.L \dots\dots\dots (3.1)$$

$$U = 0,9.(D + E) \dots\dots\dots (3.2)$$

$$U = 1,05.(D + L_r \pm E) \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana :

U = Kuat perlu, adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor dan gaya terdalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi.

D = Beban mati, adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala tambahan, penyelesaian mesin-mesin serta

peralatan tetapa yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

L = Beban hidup, adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat dipindahkan dan atau beban akibat air hujan pada atap yang datar.

E = Beban gempa.

Kepastian kekuatan beban terhadap pembebanan dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan (ϕ). Menurut SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3.2 faktor reduksi kekuatan ditentukan sebagai berikut:

- | | | |
|----|---|---------------|
| 1. | Lentur tanpa beban aksial | $\phi = 0,80$ |
| 2. | Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur | $\phi = 0,80$ |
| 3. | Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur | $\phi = 0,65$ |
| 4. | Geser dan torsi | $\phi = 0,60$ |

3.2 Perencanaan Atap

Perencanaan atap baja dalam perencanaan Gedung Jurusan Akuntansi Fakultas Ekonomi UPN "Veteran" Yogyakarta menggunakan metode perencanaan tegangan kerja (*working stress design*) dari AISC. Perencanaan meliputi:

3.2.1 Perencanaan Gording

Dalam perencanaan gording harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut:

1. Tegangan :

$$\frac{f_{bx}}{0,66 \cdot f_y} + \frac{f_{by}}{0,75 \cdot f_y} \leq 1,0 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$F_{bx} = \frac{M_{\perp} \cdot maks}{S_x} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$F_{by} = \frac{M_{\parallel} \cdot maks}{S_y} \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana : f_{bx} = tegangan lentur arah sumbu x (kg/cm^2)

f_{by} = tegangan lentur arah sumbu y (kg/cm^2)

f_y = tegangan leleh baja (kg/cm^2)

S_x = modulus elastis tampang terhadap sumbu x (cm^3)

S_y = modulus elastis tampang terhadap sumbu y (cm^3)

M_{\perp} = momen tegak lurus sumbu batang (kgm)

M_{\parallel} = momen sejajar lurus sumbu batang (kgm)

2. Lendutan :

$$\delta_{\perp} = \frac{5}{384} \frac{q_{\perp} L^4}{E L_x} \leq \frac{L}{360} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\delta_{\parallel} = \frac{5}{384} \frac{q_{\parallel} \left(\frac{L}{(a+1)} \right)^4}{E L_y} \leq \frac{L}{360} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_{\perp}^2 + \delta_{\parallel}^2} \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana :

L = panjang batang (m)

q_{\perp} = beban merata tegak lurus sumbu batang (kg/m)

q_{\parallel} = beban merata sejajar batang (kg/m)

δ = resultan lendutan

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

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

E = modulus elastisitas baja (29000 ksi)

I_x = inersia terhadap sumbu x (mm⁴)

I_y = inersia terhadap sumbu y (mm⁴)

3.2.2 Perencanaan Sagrod

Perencanaan sagrod ini menentukan diameter kabel yang akan dicapai :

$$P = 0,33 \cdot F_u \cdot A_{\text{sagrod}} \dots \dots \dots (3.10)$$

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

$$P // = P \cdot \sin \alpha \cdot S_s \dots \dots \dots (3.11)$$

Sehingga luas tampang sagrod :

$$A_{\text{sagrod}} = \frac{P //}{0,33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2_{\text{sagrod}} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$D_{\text{sagrod}} = \sqrt{\frac{P // \cdot 4}{0,33 \cdot F_u \cdot \pi}} \dots \dots \dots (3.13)$$

$$D_{\text{pakai}} = D_{\text{sagrod}} + 3 \text{ mm} \dots \dots \dots (3.14)$$

dimana :

P = gaya yang bekerja (kg)

P// = gaya sejajar sumbu batang (kg)

Ss = jarak beban sagrod (m)

D = diameter baja (mm)

A = luas penampang (mm²)

3.2.3 Perencanaan Tierod

$$\text{Gaya batang : } T = \frac{P}{\cos \alpha} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$T = 0,33 F_u \cdot A_{\text{tierod}} \dots\dots\dots (3.16)$$

sehingga :

$$A_{\text{sagrod}} = \frac{T}{0,33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \pi \cdot D_{\text{tierod}}^2 \dots\dots\dots (3.17)$$

$$D_{\text{tierod}} = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{0,33 \cdot F_u \cdot \pi}} \dots\dots\dots (3.18)$$

$$D_{\text{pakai}} = D_{\text{tierod}} + 3 \text{ mm} \dots\dots\dots (3.19)$$

dimana :

T = gaya tarik yang bekerja (kg)

F_u = kuat tarik baja (kg/cm²)

A = luas penampang (mm²)

3.2.4 Perencanaan Batang Tarik

Langkah – langkah perencanaan batang tarik adalah sebagai berikut :

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

Angka kelangsingan ($\lambda = L/r$) maksimum yang dapat diterima batang tarik.

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

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

Sehingga untuk elemen/batang utama diperoleh :

$$I_{min} =$$

$$\frac{L}{240} \dots\dots\dots (3.20)$$

2. Menentukan luas bruto (A_g), luas netto (A_n), luas efektif (A_{ef})

$$A_{g1perlu} = \frac{T}{0,6.F_y} \dots\dots\dots (3.21)$$

$$A_{g2perlu} = \frac{T}{0,5.F_u.\mu} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$A_{lubang} = \left(\frac{1}{8} + D_{baut} \right) t_{wp}.n \dots\dots\dots (3.23)$$

Dipakai profil yang luasnya (A) lebih besar dari nilai A_{gperlu} terpakai :

$$A_{netto} = A_{profil} - A_{lubang} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$A_{efektif} = A_{netto} - \mu \dots\dots\dots (3.25)$$

dimana :

r = jari-jari inersia profil

A_{netto} = luas bersih penampang (mm)

A_g = luas kotor penampang (mm)

n = jumlah batang

t_{wp} = tebal badan profil

μ = faktor reduksi luas netto

3. Kontrol kelangsingan

$$\lambda_{ada} = \frac{k.L}{r_{ada}} \leq 240 \dots\dots\dots (3.26)$$

dimana :

kL/r = angka kelangsingan elemen tarik

k = koefisien kelangsingan

4. Kontrol tegangan tarik yang terjadi

Tampang tanpa lubang :

$$F_a = \frac{T}{A_{profil}} \leq 0,6 \cdot f_y \dots\dots\dots (3.27)$$

Tampang ada lubang :

$$F_a = \frac{T}{A_{efektif}} \leq 0,5 \cdot f_y \dots\dots\dots (3.28)$$

dimana :

f_a = tegangan tarik yang terjadi (ksi)

3.2.5 Perencanaan Batang Desak

Langkah – langkah perencanaan batang desak adalah sebagai berikut :

1. Menentukan profil

Dalam menentukan profil baja untuk batang desak, dapat dilakukan dengan proses yang sama dengan menentukan profil batang tarik.

2. Kontrol terhadap tekuk dan kelangsingan

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

$$\frac{bf}{tw} \leq \frac{76}{\sqrt{f_y}} (ksi) \dots\dots\dots (3.29)$$

dan kontrol kelangsingan :

$$\frac{kL}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}} = \frac{755}{\sqrt{f_y}} (f_y \text{ dalam ksi}) \dots\dots\dots (3.30)$$

$$\leq Cc = \frac{6440}{\sqrt{f_y}} \text{ (} f_y \text{ dalam kg/cm}^2 \text{)} \dots\dots\dots (3.31)$$

$$\leq Cc = \frac{1987}{\sqrt{f_y}} \text{ (} f_y \text{ dalam Mpa)} \dots\dots\dots (3.32)$$

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{kL/r}{Cc} - \frac{1}{8} \frac{(kL/r)^3}{Cc^3} \dots\dots\dots (3.33)$$

$$F_a = \frac{f_y}{FS} \left(1 - 0,5 \left(\frac{kL/r}{Cc} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (3.34)$$

dimana :

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

kL/r = angka kelangsingan elemen desak

FS = faktor keamanan

3. Kontrol beban

$$T = F_a \cdot A_{profil} \leq P_{terjadi} \dots\dots\dots (3.35)$$

dimana :

T = beban ijin

P = beban yang terjadi

3.2.6 Perencanaan Sambungan

1. Menghitung kekuatan 1 (satu) baut

$$P_{tumpuan} = twp \cdot D_{baut} \cdot 1,2 \cdot F_u \cdot \text{jumlah tumpuan (n)} \dots\dots\dots (3.36)$$

$$D_{baut} = \frac{P_{tumpuan}}{1,2 \cdot f_u \cdot n \cdot twp} \dots\dots\dots (3.37)$$

$$P_{geser} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot F_v \cdot \text{jumlah bidang geser (n)} \dots\dots\dots (3.38)$$

$$D_{\text{baut}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{geser}}}{2 \cdot \pi \cdot F_v \cdot n}} \quad (3.39)$$

$F_v = 0,22 F_{u_{\text{baut}}}$. untuk baut non full draat

$F_v = 0,17 F_{u_{\text{baut}}}$. untuk baut full draat

dimana :

F_v = kuat geser baut (ksi)

2. Menghitung jumlah baut

$$N = \frac{P_{\text{terjadi}}}{P_{\text{baut}}} \quad (3.40)$$

3.3 Perencanaan Pelat

3.3.1 Perencanaan Pelat Satu Arah

3.3.1.1 Menentukan tebal minimum plat (h)

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

- *Pelat dengan satu tepi menerus*

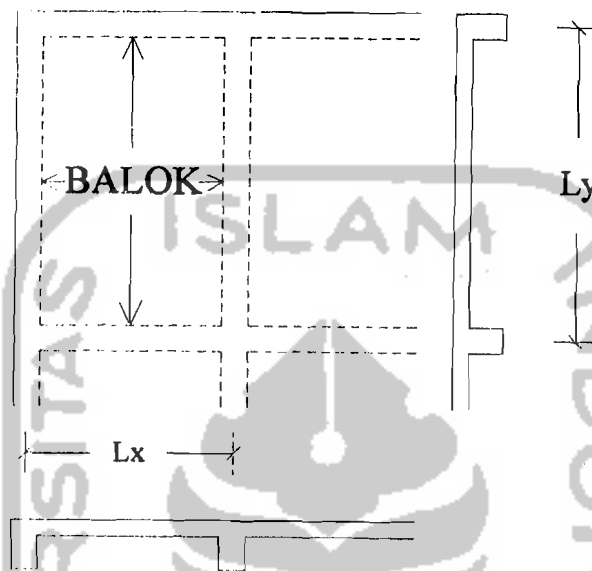
$$h_{\text{min}} = \frac{l_x}{24} \left(0,35 + \frac{F_y}{700} \right) \quad (3.41)$$

- *Pelat dengan dua tepi menerus*

$$h_{\text{min}} = \frac{l_x}{28} \left(0,35 + \frac{F_y}{700} \right) \quad (3.42)$$

Pelat satu arah adalah pelat yang ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, ataupun pelat yang ditumpu pada ke-empat sisinya, tetapi

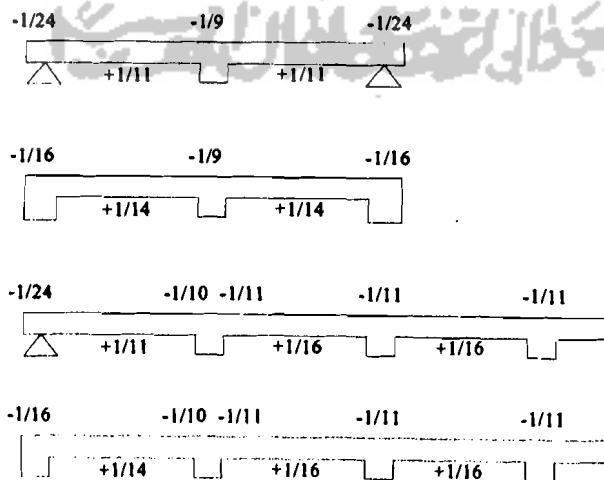
$L_y/L_x > 2,5$; sehingga hampir seluruh beban dilimpahkan pada sisi pendek.



Gambar 3.1 Pelat Satu Arah

Menghitung Momen dengan Metode Pendekatan Momen.

Skema koefisien momen dikalikan dengan $qU.Ln^2$:



Gambar 3.2 Koefisien Momen

$$Mu = \text{koef. } qU \cdot L_n^2 \dots \dots \dots (3.43)$$

Dimana : Mu = momen ultimit

qU = beban ultimit

L_n = bentang bersih = $L - (\frac{1}{2} b_{\text{balok}}) \cdot 2$

- $V_u = 1,15 \cdot \frac{1}{2} \cdot qU \cdot L_n$
- $V_u = \frac{1}{2} \cdot qU \cdot L_n \dots \dots \dots (3.44)$

- $d = h_{\text{plat}} - p_b - \frac{\phi}{2} \text{ (mm)} \dots \dots \dots (3.45)$

Periksa Kuat Geser (tanpa tulangan geser) :

- $\Phi V_n = \Phi \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \right) \dots \dots \dots (3.46)$

Syaratnya harus $> V_{u\text{terjadi}}$

\Rightarrow Perhitungan Tulangan Lentur:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \dots \dots \dots (3.47)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (3.48)$$

$$\text{Maka : } \rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \dots \dots \dots (3.49)$$

- a. Jika $\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{maks}}$; maka h harus diperbesar
- b. Jika $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$; maka $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}}$
- c. Jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ dan :
 - $1,33 \cdot \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$ maka $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}}$
 - $1,33 \cdot \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ maka $\rho_{\text{pakai}} = 1,33 \cdot \rho_{\text{perlu}}$

❖ **Luas Tulangan Pokok (A_s):**

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (3.50)$$

$$\text{Luas tulangan} = A_{1\phi} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2$$

$$S_{\text{pokok}} = (A_{1\phi} \cdot b) / A_s \quad \dots\dots\dots (3.51)$$

Jarak tulangan pokok tumpuan maksimum : 3.h atau 500 mm

Jarak tulangan pokok susut maksimum : 5.h atau 500 mm

$$\text{Luas tulangan dipakai; } s = \frac{(A_{1\phi} \cdot 1000)}{A_s} \quad \dots\dots\dots (3.52)$$

3.3.2 Perencanaan Pelat Dua Arah

3.3.2.1 Menentukan tebal minimum plat (h)

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

$$h \geq \frac{\text{Ln}\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]} \quad \dots\dots\dots (3.53)$$

$$\text{tetapi tidak boleh kurang dari : } h \geq \frac{\text{Ln}\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad \dots\dots\dots (3.54)$$

$$\text{dan tidak perlu kurang dari : } h \geq \frac{\text{Ln}\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \quad \dots\dots\dots (3.55)$$

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

1. Untuk α_m kurang dari ($<$) 2,00 digunakan nilai h minimal 120 mm.

2. Untuk α_m lebih dari (\geq) 2,00 digunakan nilai h minimal 90 mm.

dimana :

l_n = bentang bersih plat dihitung dari muka kolom (mm)

α_m = rasio kekakuan balok terhadap plat

β = rasio panjang terhadap lebar bentang plat = 0,85, untuk

$f'_c \leq 30$ Mpa (SK-SNI-T-15-1991-03 pasal 3.3.2.butir 7.3)

Berdasarkan PBBI-1971-NI-2, pasal 9.1 ayat 1 bahwa dalam segala hal tebal plat tidak boleh kurang dari 7 cm untuk pelat atap dan 12 cm untuk pelat lantai.

3.3.2.2 Menentukan momen lentur terjadi

Perencanaan dan analisis dengan menggunakan metode koefisien momen.

Besar momen lentur :

$$M_{utx} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot c_{tx} \dots\dots\dots (3.56)$$

$$M_{ulx} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot c_{lx}^2 \dots\dots\dots (3.57)$$

$$M_{uty} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot c_{ty}^2 \dots\dots\dots (3.58)$$

$$M_{uly} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot c_{ly}^2 \dots\dots\dots (3.59)$$

dimana : q_u = beban merata

l_x = panjang bentang tumpuan arah x

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

3.3.2.3 Menentukan luas tulangan (A_s) arah x dan y

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (3.60)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots\dots\dots (3.61)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots (3.62)$$

- Jika $\rho_{min} > \rho_{maks}$ maka h harus diperbesar
- Jika $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$ maka $\rho_{pakai} = \rho_{perlu}$
- Jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ dan :
 - $1,33 \cdot \rho_{perlu} > \rho_{min}$ maka $\rho_{pakai} = \rho_{min}$
 - $1,33 \cdot \rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka $\rho_{pakai} = 1,33 \cdot \rho_{perlu}$

Setelah didapatkan nilai ρ_{pakai} maka :

$$A_{Sperlu} = \rho_{pakai} \cdot b \cdot d \geq A_{Stul. bagi/susut} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots (3.63)$$

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

$$\text{Jarak antar tulangan : } s \leq \frac{A_{1\phi} \cdot b}{A_{Sperlu}} \dots\dots\dots (3.64)$$

$$s \leq 2h \dots\dots\dots (3.65)$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (3.66)$$

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

$$A_{Sada} = \frac{A_{1\phi} \cdot b}{s} \dots\dots\dots (3.67)$$

3.3.2.4 Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi

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

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d - a/2) \leq Mu/\Phi \dots\dots\dots (3.69)$$

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

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d - a/2) \leq 1,33 \cdot Mu/\Phi \dots\dots\dots (3.70)$$

3.4 Perencanaan Balok

Langkah – langkah perencanaan balok adalah sebagai berikut :

1. Menentukan mutu beton dan baja tulangan

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

$$f'_c \leq 30 \text{ Mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f'_c \geq 30 \text{ Mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0,85 \cdot 0,008 \cdot (f'_c - 30) \geq 0,65 \dots\dots (3.71)$$

2. Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (3.72)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (3.73)$$

dalam perencanaan dipakai nilai

$$\rho : \rho_{pakai} = 0,5 \cdot \rho_{maks} > \rho_{min} \dots\dots\dots (3.74)$$

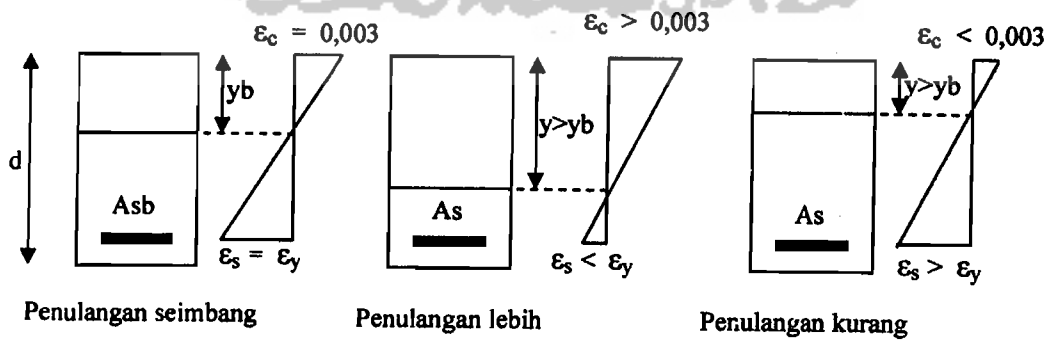
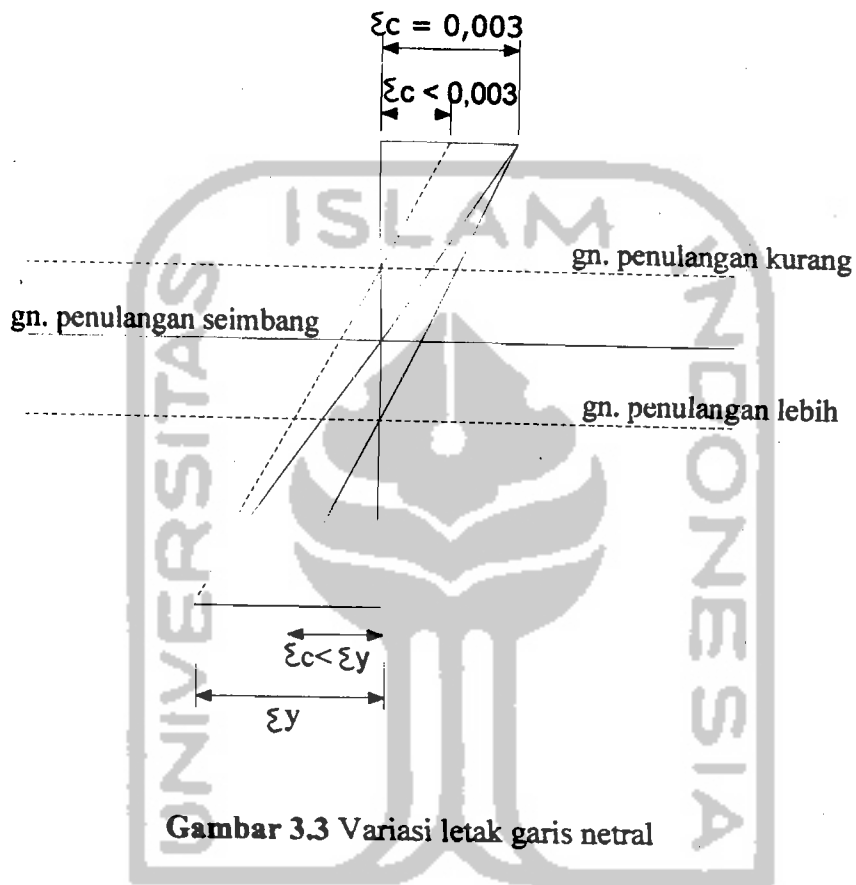
dimana :

ρ_b = rasio tulangan terhadap luas beton efektif dalam keadaan seimbang

ρ_{maks} = rasio tulangan maksimum

ρ_{min} = rasio tulangan minimum

ρ_{pakai} = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan



Gambar 3.4 Diagram Regangan Beton Untuk Berbagai Kondisi Penulangan

3. Menentukan tinggi efektif (h) dan lebar (b) penampang beton

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots\dots\dots (3.75)$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m) \dots\dots\dots (3.76)$$

$$B \cdot d^2 = \frac{M_u \cdot \phi}{R_n} \dots\dots\dots (3.77)$$

Temukan b. didapat d_{perlu}

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

Jika nilai $d_{diketahui} (\leq) d_{perlu}$ maka digunakan *tulangan rangkap*

$d_{diketahui} = h_{diketahui} - pb - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan rencana}$

dimana :

m = perbandingan isi dari tulangan memanjang dari bentuk yang tertutup

R_n = koefisien tahanan

d = tinggi efektif penampang, diukur dari serat atas ke pusat tulangan tarik (mm)

M_u = momen lentur ultimit akibat beban luar (Nm)

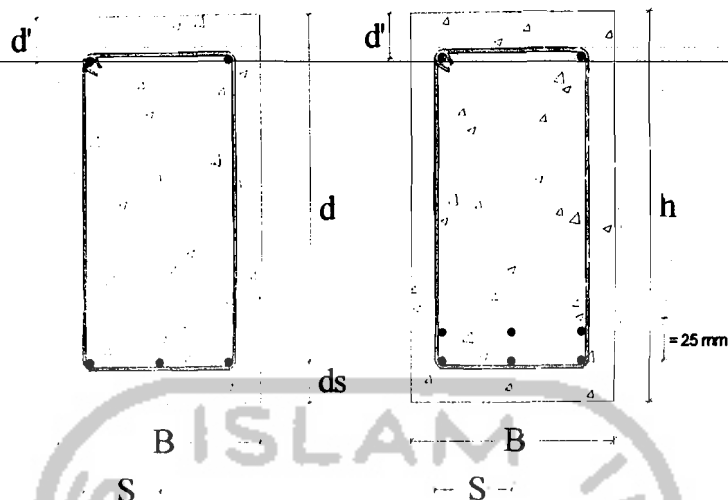
Φ = faktor reduksi kekuatan diambil nilai 0,80
(lentur tanpa aksial)

h = tinggi total penampang beton (mm)

d' = d_s = penutup beton (mm)

untuk tulangan 2 lapis dipakai = 80 s/d 100

untuk tulangan 1 lapis dipakai = 60 s/d 70



S = Jarak bersih antar tulangan
 = 25 mm
 Ø = tulangan
 = 1,33 agregat terbesar

Gambar 3.5 Penampang Balok

3.4.1 Perencanaan balok penampang persegi menahan lentur tulangan sebelah

Balok lentur tulangan sebelah direncanakan, jika nilai $d_{diketahui} \geq d_{perlu}$

Langkah langkah perencanaannya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan ρ_{perlu} dan Rn_{baru}

$$Rn_{baru} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2_{diketahui}} \dots\dots\dots (3.78)$$

$$n = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \cdot \rho < \rho_{min} \dots\dots\dots (3.79)$$

2. Menentukan luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d_{diketahui} \dots\dots\dots (3.80)$$

$$n = \frac{A_s}{A_{1\phi}} ; n \text{ bilangan bulat, } n \leq 2 \text{ batang (3.81)}$$

$$A_{s_{ada}} = n \cdot A_{1\phi} > A_s \text{ (3.82)}$$

Dimana :

A_s = luas tulangan tarik longitudinal (mm²)

n = jumlah tulangan yang dipakai (buah)

$A_{s_{ada}}$ = luas tulangan tarik longitudinal yang ada (mm²)

$A_{1\phi}$ = luas tampang 1 buah tulangan (mm²)

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

Rn_{baru} = koefisien tahanan untuk perencanaan

3. Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

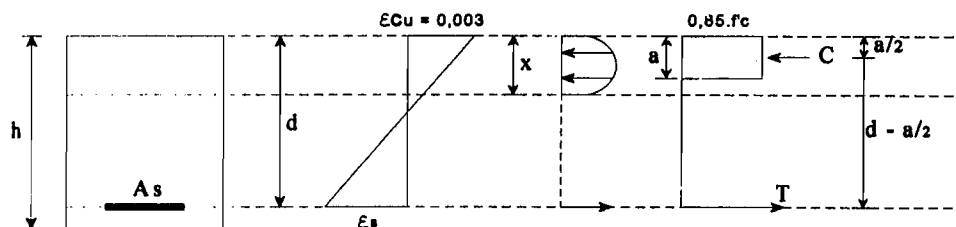
$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \text{ (3.83)}$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d_{diketahui} - a/2) > \frac{M_u}{\phi} \text{ (3.84)}$$

dimana :

a = tinggi balok tegangan persegi ekuivalen (mm)

M_n = kapasitas lentur nominal yang terjadi (Nmm)



Gambar 3.6 Diagram Tegangan regangan Tulangan Sebelah

3.4.2 Perencanaan balok penampang persegi menahan lentur tulangan

rangkap

Balok lentur tulangan rangkap direncanakan, jika nilai $d_{diketahui} < d_{perlu}$

Langkah – langkah perencanaanya sebagai berikut :

1. Menentukan As_1 dan Mn_1

$$As_1 = \rho_1 \cdot b \cdot d_{diketahui} \dots\dots\dots (3.85)$$

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

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3.86)$$

$$Mn_1 = As_1 \cdot fy \cdot \left(d_{diketahui} - \frac{a}{2} \right) < \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots (3.87)$$

2. Menentukan Mn_2

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

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn_1 \dots\dots\dots (3.88)$$

dimana :

Mn_1 = kuat momen pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik (Nmm)

Mn_2 = kuat momen pasangan kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan (Nmm)

3. Menentukan tulangan desak dan tarik

a. Tulangan desak :

$$fs' = 600 \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot fy} \cdot \frac{d'}{d_{diketahui}} \right\} \dots\dots\dots (3.89)$$

jika $f_s' > f_{y1}$ maka baja desak sudah leleh, sehingga dipakai : $f_s' = f_y$

jika $f_s' < f_{y1}$ maka baja desak belum leleh, sehingga dipakai : $f_s' = f_s'$

$$A_{s'} = A_{s2} = \frac{Mn_2}{f_s'(d_{diketahui} - d')} \dots\dots\dots (3.90)$$

$$\frac{A_{s'}}{A_{1\phi}} = n' ; n \text{ bilangan bulat } \geq 2 \text{ batang}$$

$$(n' \cdot A_{1\phi}) \geq A_{s2}$$

b. Tulangan tarik :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \dots\dots\dots (3.91)$$

$$\frac{A_s}{A_{1\phi}} = n ; n \text{ bilangan bulat } \geq 2 \text{ batang}$$

$$(n \cdot A_{1\phi}) \geq A_s$$

dimana :

ρ_1 = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan (Nmm)

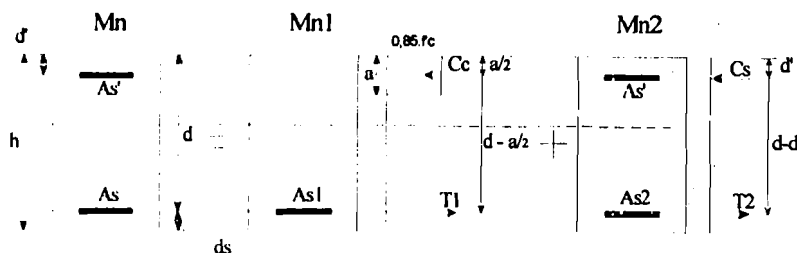
A_{s1} = luas penampang baja tarik (mm²)

A_{s2} = luas penampang baja tarik tambahan (mm²)

$A_{s'}$ = luas penampang baja desak (mm²)

n' = jumlah tulangan desak yang dipakai (buah)

n = jumlah tulangan tarik yang dipakai (buah)



Gambar 3.7 Perencanaan Balok Tulangan Rangkap

4. Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d_{diketahui}} \dots\dots\dots (3.92)$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \cdot d_{diketahui}} \dots\dots\dots (3.93)$$

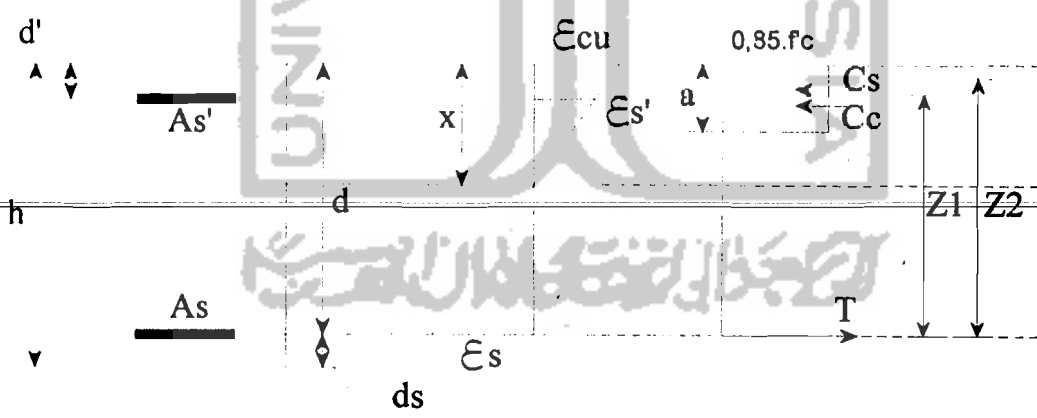
Tegangan baja desak

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

$$a = \frac{As \cdot fy - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3.94)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$= (As \cdot fy - As' \cdot fs') \cdot (d_{diket} - \frac{a}{2}) + (As' \cdot fs') \cdot (d_{diket} - d) \geq \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots (3.95)$$



Gambar 3.8 Diagram Tegangan Regangan Balok Tulangan Rangkap

3.4.3 Perencanaan geser balok

Langkah-langkah perencanaan tulangan geser pada balok sebagai berikut:

1. 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-T15-1991-03 adalah sebesar :

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b \cdot d \text{ (Newton)} \dots\dots\dots (3.96)$$

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

$$V_{s_{min}} = 1/3 \cdot b \cdot d \text{ (Newton)} \dots\dots\dots (3.97)$$

2. menentukan jarak sengkang

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

$$\text{Bila } V_u \leq 0,5 \phi V_c \dots\dots\dots (3.98)$$

maka geser tidak perlu diperhitungkan

$$\text{Bila } 0,5 V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq V_c \dots\dots\dots (3.99)$$

perlu tulangan geser kecuali untuk struktur pelat lantai, pelat atap dan pondasi, balok $h \leq 25 \text{ cm}$, atau $h \leq 2,5 \cdot hf$

Tulangan geser dengan jarak :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s_{min}}} \dots\dots\dots (3.100)$$

$$\leq \frac{d}{2} \dots\dots\dots (3.101)$$

$$\leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (3.102)$$

$$\text{bila } V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq (V_c + V_{s_{\min}}) \dots\dots\dots (3.103)$$

maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

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

$$\leq \frac{d}{2}$$

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

$$\text{bila } (V_c + V_{s_{\min}}) < \frac{V_u}{\phi} \leq 3 \cdot V_c \dots\dots\dots (3.104)$$

maka perlu tulangan geser dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\frac{V_u}{\phi} - V_c} \dots\dots\dots (3.105)$$

$$\leq \frac{d}{2}$$

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

$$\text{bila } 3 \cdot V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq 5 \cdot V_c \dots\dots\dots (3.106)$$

maka perlu tulangan geser dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\frac{V_u}{\phi} - V_c} \dots\dots\dots (3.107)$$

$$\leq \frac{d}{4}$$

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

$$\text{bila } \frac{V_u}{\phi} > 5 \cdot V_c \dots\dots\dots (3.108)$$

dimana :

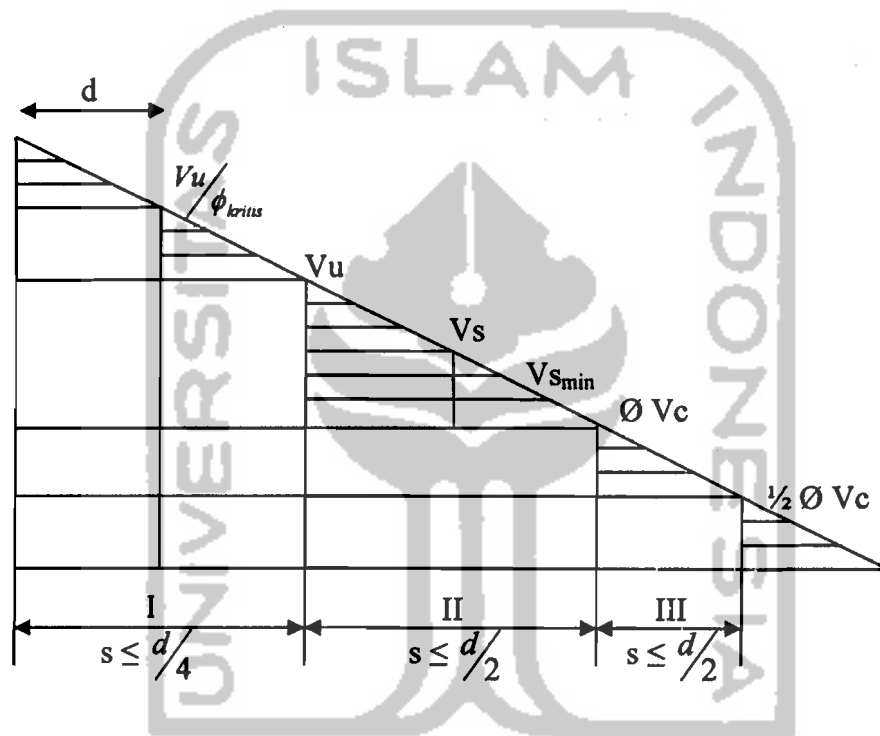
$V_{s_{\min}}$ = kuat geser nominal tulangan geser minimal (N)

V_c = tegangan ijin geser beton (MPa)

V_u = gaya geser berfaktor akibat beban luar (N)

Φ = faktor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,60 (geser dan torsi)

A_v = luas penampang tulangan geser (mm)



Gambar 3.9 Diagram Gaya Geser Balok

3.5 Perencanaan Kolom

3.5.1 Perencanaan Kolom Tunggal

3.5.1.1 Perencanaan kolom pendek

Langkah – langkah perencanaan kolom pendek adalah sebagai berikut :

1. Menentukan propertis penampang kolom (b, h, f'_c, f_y, d', d)
2. Menghitung kapasitas kolom pendek

$$P_{no} = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

$$A_{st} = \rho_g \cdot A_g$$

$$; \text{ nilai batas } \rho_g \text{ adalah } 0,01 \leq \rho_g \leq 0,08 \quad \dots\dots\dots (3.110)$$

$$\Phi P_{no} = 0,8 \cdot \phi P_o$$

$$= 0,8 \cdot \phi (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \quad \dots\dots\dots (3.111)$$

karena $P_u \leq \phi \cdot P_n$ maka dapat diperoleh $A_{g\text{perlu}}$ berdasarkan P_u dan rasio penulangan ρ_g sebagai berikut :

a. Untuk sengkang biasa

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f'_c (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \quad \dots\dots\dots (3.112)$$

b. Untuk sengkang spiral

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,85 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f'_c (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \quad \dots\dots\dots (3.113)$$

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

$$A_g = b \cdot h \quad \text{atau} \quad A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad \dots\dots\dots (3.114)$$

$$A_{st} = n \% \cdot A_g = A_s + A_{s'} \quad \dots\dots\dots (3.115)$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{A_{st}}{2} \quad \dots\dots\dots (3.116)$$

$$P_{no} = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (3.117)$$

$$P_{maks} = 0,8 \cdot P_{no} \text{ untuk sengkang biasa} \quad \dots\dots\dots (3.118)$$

$$P_{maks} = 0,85 \cdot P_{no} \text{ untuk sengkang spiral} \quad \dots\dots\dots (3.119)$$

dimana :

P_o = Kuat desak aksial nominal pada eksentrisitas no 1 (N)

P_u = Gaya desak aksial terfaktor pada eksentrisitas tertentu (KN)

P_n = Kuat desak aksial pada eksentrisitas tertentu (KN)

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. Kapasitas kolom dengan beban eksentris

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad \dots\dots\dots (3.120)$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot 600 \leq f_y \quad \dots\dots\dots (3.121)$$

jika $f_s' > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b (x_b \cdot \beta_1) \quad \dots\dots\dots (3.122)$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots\dots\dots (3.123)$$

dengan nilai f_s' sebagai berikut :

$$f_s' = \frac{x_b \cdot d'}{x_b} \cdot 600 \leq f_y \quad \dots\dots\dots (3.124)$$

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

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

$$T_b = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (3.125)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb} \quad \dots\dots\dots (3.126)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left(\frac{1}{2}h - d' \right) + T_{sb} \left(d - \frac{1}{2}h \right) \quad \dots\dots\dots (3.127)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \quad \dots\dots\dots (3.128)$$

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. Kapasitas kolom dengan beban eksentris

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad \dots\dots\dots (3.120)$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot 600 \leq f_y \quad \dots\dots\dots (3.121)$$

jika $f_s' > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b (x_b \cdot \beta_1) \quad \dots\dots\dots (3.122)$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_s - 0,85 \cdot f_c) \quad \dots\dots\dots (3.123)$$

dengan nilai f_s' sebagai berikut :

$$f_s' = \frac{x_b \cdot d'}{x_b} \cdot 600 \leq f_y \quad \dots\dots\dots (3.124)$$

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

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

$$T_b = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (3.125)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb} \quad \dots\dots\dots (3.126)$$

$$M_{nb} = C_{cb} (\frac{1}{2}h - d') + T_{sb} (d - \frac{1}{2}h) \quad \dots\dots\dots (3.127)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \quad \dots\dots\dots (3.128)$$

4. 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

$$\text{Dengan } x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

Syarat kegagalan :

1) runtuh seimbang

$$x = x_b$$

2) runtuh desak

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

3) runtuh tarik

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

kemudian dihitung :

$$a = \beta \cdot x$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x_b} \cdot 600 \leq f_y$$

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

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b (x_b \cdot \beta_1) \dots\dots\dots (3.129)$$

$$C_{sb} = A_s' \cdot (f_s - 0,85 \cdot f'_c) \dots\dots\dots (3.130)$$

$$T_b = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (3.131)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_b \dots\dots\dots (3.132)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left(y - \frac{a}{2} \right) + C_{sb} (y - d') + T_b (d - y) \dots\dots (3.133)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \dots\dots\dots (3.134)$$

dimana :

Mnb = kapasitas lentur kolom dalam keadaan seimbang (KNm)

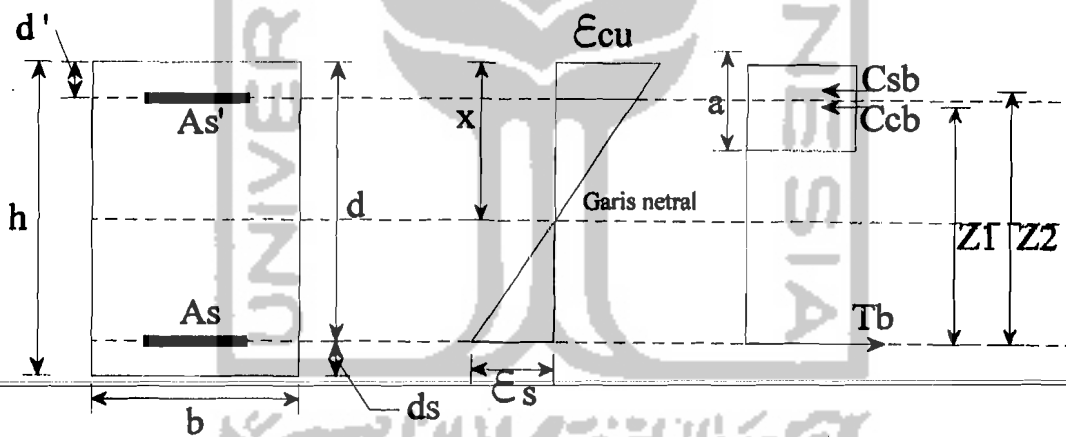
Pnb = kuat desak aksial kolom dalam keadaan seimbang (KN)

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

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

xb = jarak serat terluar beton ketitik tinjau keadaan seimbang (mm)

x = jarak serat terluar beton ketitik tinjau (mm)



Gambar 3.10 Diagram Tegangan Regangan Kolom

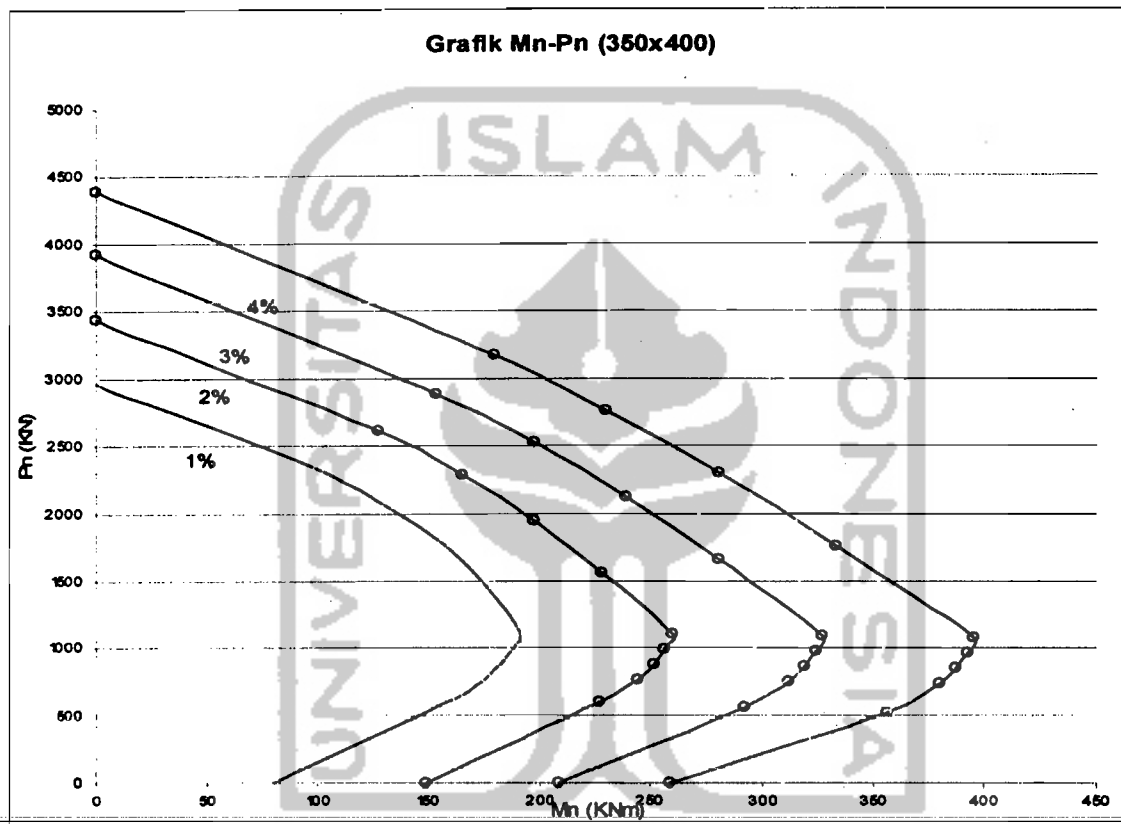
5. Pada saat $P_n = 0$; M_n dihitung dengan menghitung seperti balok bertulang sebelah

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_{s'} \cdot f_{s'}}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \dots\dots\dots (3.135)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots (3.1376)$$

6. Gambar diagram momen nominal (M_n) dengan gaya desak aksial nominal

$$(P_n). (A_{st}=1\%. A_g. A_{st}=2\%. A_g. A_{st}=3\%. A_g. A_{st}=4\%. A_g. A_{st}=5\%. A_g. A_{st})$$



Gambar 3.11 Diagram Momen Nominal-Kuat Desak Aksial Nominal (Mn-Pn)

3.5.1.2 Perencanaan Kolom Langsing

Langkah-langkah perencanaan kolom langsing adalah sebagai berikut :

1. Menentukan tingkat kelangsingan kolom

$$\text{Kelangsingan} = \frac{k \cdot l_u}{r} \rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\approx 0,3 h \text{ (untuk kolom tampang persegi)}$$

= 0,25 D (untuk kolom tampang bulat)

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 :

a. 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 $k = 1,0$

b. Untuk kolom yang merupakan bagian portal

Sebagai langkah awal adalah menentukan nilai kekakuan relatif (ψ)

$$\psi = \frac{\sum (EI/l_u) \text{ kolom}}{\sum (EI/l_n) \text{ balok}} \dots\dots\dots (3.137)$$

Kemudian nilai ψ diplotkan ke dalam grafik nomogram atau

grafik *aligement*, sehingga didapat nilai k .

Batasan-batasan kolom disebut langsing, adalah :

$$\frac{kl}{r} > 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}}, \text{ untuk rangka dengan pengaku lateral}$$

(tak bergoyang)



$\frac{kl}{r} > 22$, 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

$$M_{rencana} = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \dots\dots\dots (3.138)$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1,0 \dots\dots\dots (3.139)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \geq 0,4 \dots\dots\dots (3.140)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{EP_u}{\phi \sum P_c}} \dots\dots\dots (3.141)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(klu)^2} \text{ (rumus Euler) } \dots\dots\dots (3.142)$$

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

:

$$EI = \frac{\frac{1}{5}(E_c \cdot I_g) + E_s \cdot I_{se}}{1 + \beta \cdot d} \dots\dots\dots (3.143)$$

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

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{2,5(1 + \beta \cdot d)} \dots\dots\dots (3.144)$$

Dimana :

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 di sepanjang 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_{sc} = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang komponen
struktur.

$$\beta_d = \frac{\text{momen akibat beban mati rencana}}{\text{momen akibat beban total}} \dots\dots\dots (3.145)$$

3. Momen rencana

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots (3.146)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots (3.147)$$

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

3.6 Perencanaan Portal Terhadap Gaya Gempa

3.6.1 Perencanaan Struktur Portal dengan Daktilitas Penuh

Pembebanan gempa menurut pedoman Ketahanan Gempa Untuk

Rumah Dan Gedung (SNI-1726-2002) dinyatakan dalam :

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} W_T \dots \dots \dots (3.148)$$

R = Faktor reduksi gempa tabel 2 pasal 4.3.4

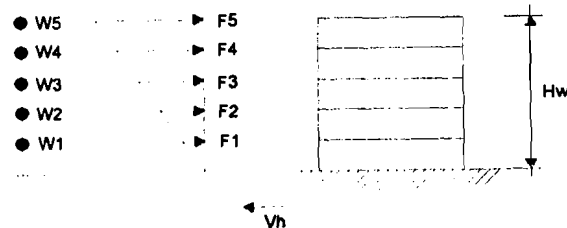
C₁ = Faktor respon gempa rencana dari gambar 2. Respon Spektrum gempa rencana pasal 4.7.6

W_t = Berat Total Gedung

I = Faktor Keutamaan dari Tabel 1 pasal 4.1.2

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

$$F_i = \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i} \cdot V \dots \dots \dots (3.149)$$



Gambar 3.12 Distribusi Gaya Geser Gempa

Dimana :

V = gaya geser dasar horisontal total akibat gempa (ton)

C = koefisien gempa dasar

I = faktor keutamaan struktur

K = faktor jenis struktur

Wt = berat total bangunan(ton).

H = tinggi bangunan

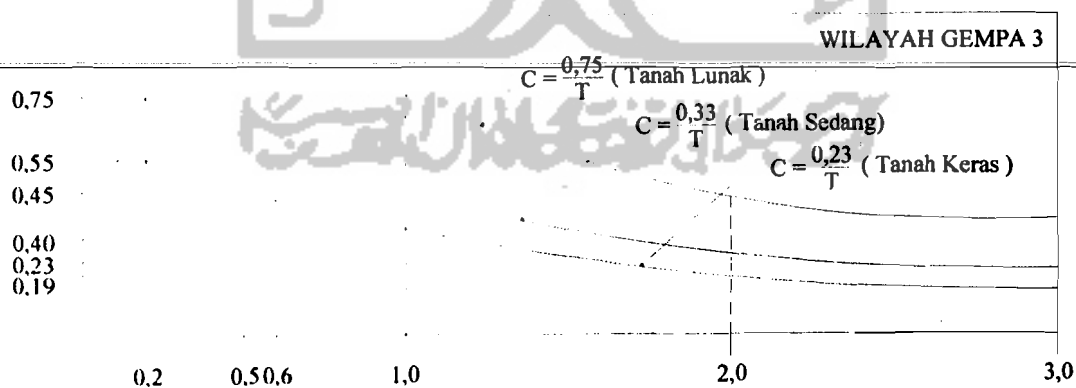
Fi = gaya geser tiap tingkat

A. Waktu Getar Alami Struktur (T)

$$T = 0,06.H^{3/4} \dots\dots\dots (3.150)$$

B. Koefisien Gempa Dasar (C)

Dalam perencanaan ulang ini, bangunan berada pada wilayah gempa tiga (3), daerah Jogjakarta, pada kondisi tanah keras.



Gambar 3.13 Respon Spektrum Gempa Wilayah 3 (tiga) Indonesia

C. Faktor Keutamaan Gedung (I)

Berdasarkan fungsi bangunan, maka faktor keutamaan bangunan (T) diambil = 1,0 (SNI-1726-2002 tabel 1 pasal 4.1.2)

Sedangkan untuk faktor faktor reduksi gempa (R) diambil = 8,5 (SNI-1726-2002 Tabel 2 pasal 4.3.4) yaitu untuk daktail penuh.

D. Faktor Jenis Bangunan (K)

Faktor jenis struktur (K) dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin bahwa daktilitas yang dituntut tidak terlalu besar dari daktilitas yang tersedia pada saat terjadi gempa kuat. Dalam perencanaan ulang ini bangunan direncanakan dengan daktilitas penuh, dengan nilai $K=1$.

E. Berat Total Bangunan (Wt)

Berat total bangunan merupakan berat total dari massa struktur bangunan yang direncanakan ditambah beban hidup yang bekerja.

3.6.2 Perencanaan Balok dan Kolom Portal

3.6.2.1 Perencanaan Balok Portal Terhadap Beban Lentur

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

$$M_{u,b} = 1,2 \cdot M_{D,b} + 1,6 \cdot M_{L,b} \quad \dots\dots\dots (3.151)$$

$$M_{u,b} = 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{LR,b} + M_{E,b}) \quad \dots\dots\dots (3.152)$$

$$M_{u,b} = 0,9 \cdot (M_{D,b} + M_{E,b}) \quad \dots\dots\dots (3.153)$$

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

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

$M_{E,b}$ = 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 :

$$q = 30 \cdot \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \right\} \% \quad \dots \dots \dots (3.154)$$

Dengan syarat apabila tulangan lentur balok portal telah direncanakan ($\rho - \rho'$) tidak boleh melebihi $0,5 \cdot \rho_b$. 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 dihitung kapasitas lentur sendi plastis balok yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$M_{kap,b} = \phi_0 \cdot M_{nak,b} \quad \dots \dots \dots (3.155)$$

Dimana :

$M_{kap,b}$ = kapasitas lentur aktual balok pada pusat pertemuan balok kolom dengan memperhitungkan luas tulangan yang sebenarnya terpasang.

$M_{nak,b}$ = kapasitas lentur nominal balok dari luas tulangan yang

sebenarnya terpasang.

ϕ_0 = faktor penambahan kekuatan yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk

$f_y < 400$ Mpa dan 1,40 untuk $f_y > 400$ Mpa.

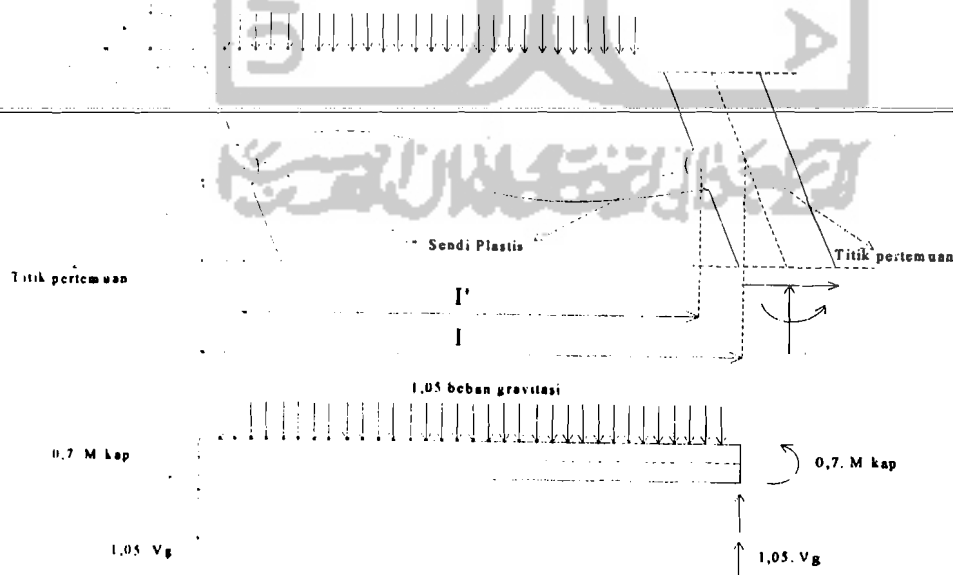
3.6.2.2 Perencanaan Balok Portal Terhadap Beban Geser

Kuat geser balok portal yang dibebani oleh beban gravitasi sepanjang bentangnya harus dihitung dalam kondisi terjadi sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok portal tersebut, dengan tanda yang berlawanan menurut persamaan berikut :

$$V_{u,b} = 0,7 \left(\frac{M_{kap} + M'_{kap}}{I_n} \right) + 1,05 \cdot V_g \quad \dots \dots \dots (3.156)$$

Tetapi tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,b} = 1,07 \left(V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,b} \right) \quad \dots \dots \dots (3.157)$$



Gambar 3.14 Balok Portal Dengan Sendi Plastis Pada Kedua Ujungnya

M_{kap} = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salah satu ujung balok atau bidang muka loncat.

M'_{kap} = momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada ujung balok atau bidang muka loncat yang lain.

$V_{D,b}$ = gaya geser balok portal akibat beban mati.

$V_{L,b}$ = gaya geser balok portal akibat beban hidup.

$V_{D,b}$ = gaya geser balok portal akibat beban gempa

I_n = bentang bersih balok

3.6.2.3. 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 :

$$\Sigma M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \Sigma M_{kap,b} \dots\dots\dots(3.158)$$

atau:

$$M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot (M_{kap,Ki} + M_{kap,Ka}) \dots\dots\dots(3.159)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$\Sigma M_{u,b} = 1,05 \cdot (M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} \cdot M_{E,k}) \dots\dots\dots(3.160)$$

Sehingga:

$$\Sigma M_{kap,b} = M_{kap,Ki} + M_{kap,Ka} \dots\dots\dots(3.161)$$

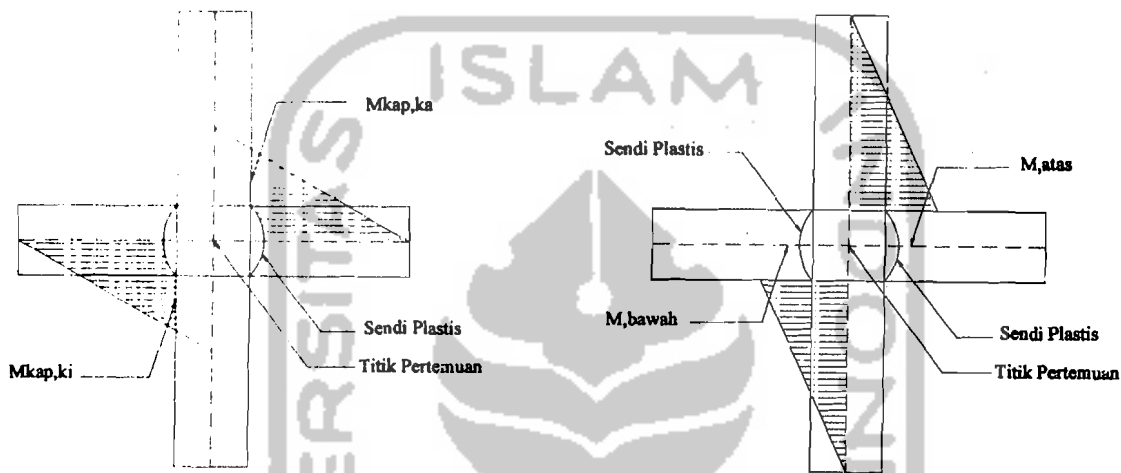
Dimana :

ω_d = faktor pembesar dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya

α_k = faktor distribusi momen kolom portal yang ditinjau sesuai dengan kekakuan relatif kolom atas dan bawah.

$M_{kap.Ki}$ = momen kapasitas lentur balok di sebelah kiri bidang muka kolom

$M_{kap.Ka}$ = momen kapasitas lentur balok di sebelah kanan bidang muka kolom



Gambar 3.15 Pertemuan Balok Kolom dengan Sendi Plastis di kedua Ujungnya

Sedangkan beban aksial rencana $N_{u,k}$ yang bekerja pada kolom portal

dengan daktilitas penuh, dihitung dengan :

$$N_{u,k} = \frac{0,7 \cdot R_n \cdot \sum M_{kap \rightarrow b}}{I_b} + 1,05 \cdot N_{g,k} \dots\dots\dots(3.162)$$

Tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$N_{u,k} = 1,05 \left(N_{g,k} + \frac{4}{K} \cdot N_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3.163)$$

Dengan nilai R_n = faktor reduksi yang ditentukan sebesar :

1,0 untuk $1 < n < 4$

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

1,0 untuk $1 < n < 4$

1,1 - 0,025.n untuk $4 < n < 20$

0,6 untuk $n > 20$

Dimana :

n = jumlah lantai di atas kolom yang ditinjau

l_b = bentang balok dari as ke as kolom

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

$N_{i,k}$ = gaya aksial kolom akibat beban gempa

3.6.2.4. Perencanaan Kolom Portal Terhadap Beban Geser

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

Untuk kolom lantai atas dan lantai dasar :

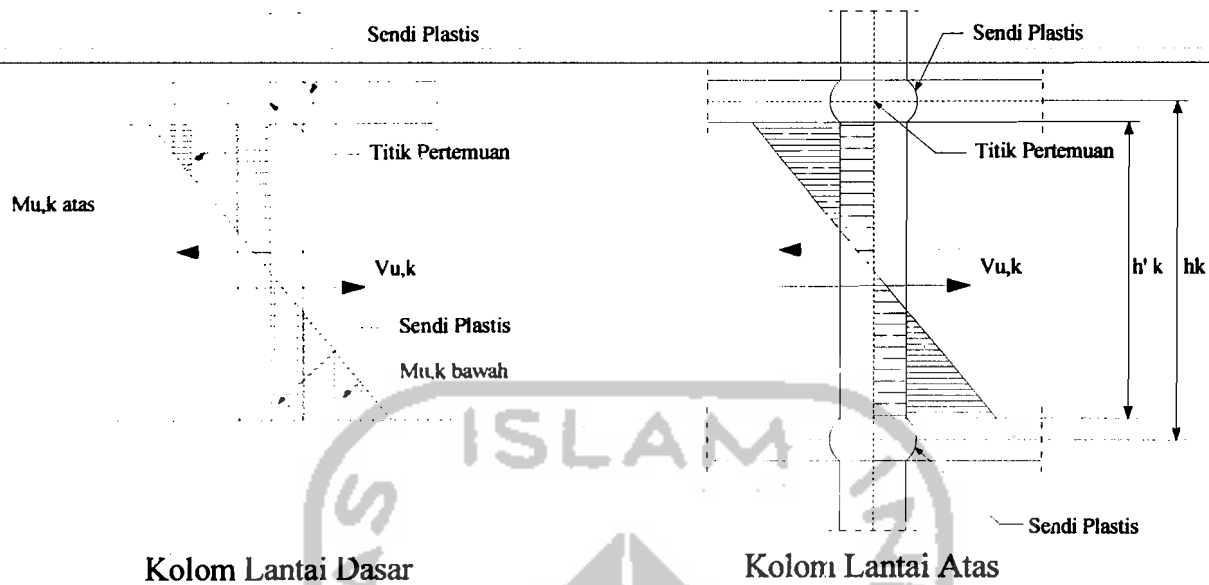
$$V_{u,k} = \frac{M_{u,katas} + M_{u,kbawah}}{h'_k} \dots\dots\dots(3.164)$$

Dan dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 \left(M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{k} \cdot V_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3.165)$$

Kapasitas lentur sendi plastis kolom dapat dihitung :

$$M_{kap,kbawah} = \phi_0 \cdot M_{nak,kbawah} \dots\dots\dots(3.166)$$



Gambar 3.16 Kolom dengan $M_{u,k}$ Berdasarkan Kapasitas Sendi Plastis Balok

Dimana :

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

$M_{u,k \text{ bawah}}$ = 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

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

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

3.6.2.5. Perencanaan Panel Pertemuan Balok-Kolom

Panel pertemuan balok kolom portal harus dipromosikan sedemikian rupa, sehingga memenuhi persyaratan kuat geser horisontal

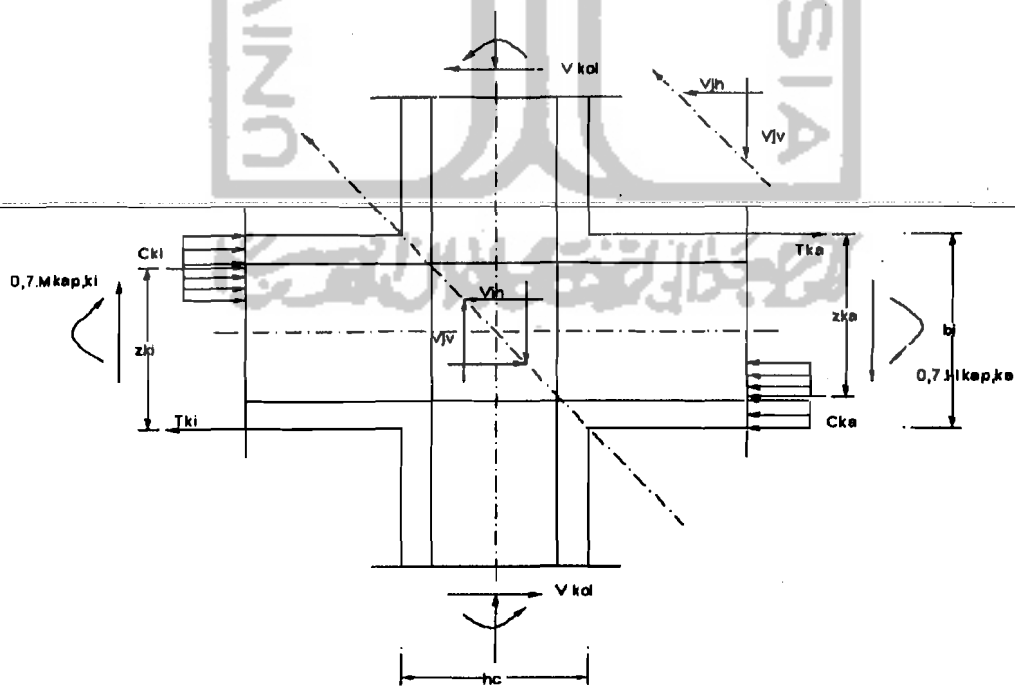
perlu ($V_{u,h}$) dan kuat geser vertikal perlu ($V_{u,v}$) yang berkaitan dengan terjadinya momen kapasitas pada sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu pada kolom itu. Gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada join rangka adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.15, dimana gaya geser horisontal :

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \quad \dots\dots\dots(3.167)$$

$$C_k = T_{ki} = 0,7 \cdot \left(\frac{M_{kap,ki}}{Z_{ki}} \right) \quad \dots\dots\dots(3.168)$$

$$T_k = C_{ka} = 0,7 \cdot \left(\frac{M_{kap,ka}}{Z_{ka}} \right) \quad \dots\dots\dots(3.169)$$

$$V_{kol} = \frac{0,7 \cdot \left(\frac{I_{ki}}{I_{ka}} \cdot M_{kap,ki} + \frac{I_{ka}}{I_{ka}} \cdot M_{kap,ka} \right)}{1/2 \cdot (h_{k,a} + h_{k,b})} \quad \dots\dots\dots(3.170)$$



Gambar 3.17 Panel Pertemuan Balok dan Kolom Portal

Tegangan geser horisontal nominal dalam joint adalah :

$$V_{jh \text{ aktual}} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} < 1,5 \cdot \sqrt{f'c} \quad (\text{MPa}) \quad \dots\dots\dots(3.171)$$

Dimana : d_j = lebar efektif joint (mm)

h_c = tinggi total penampang kolom dalam arah geser ditinjau (mm)

gaya geser horisontal V_{jh} ini ditahan oleh dua (2) mekanisme kuat geser inti, yaitu:

1. Serat beton diagonal yang melewati daerah tekan ujung joint yang memikul gaya geser V_{ch}
2. Mekanisme panel rangka yang terdiri dari sengkang horisontal dan straf beton diagonal daerah tarik joint yang memikul gaya geser V_{sh}

$$\text{Sehingga : } V_{sh} + V_{ch} = V_{jh} \quad \dots\dots\dots(3.172)$$

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

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

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right) - 0,1 \cdot f'c} \cdot b_j \cdot h_j \quad \dots\dots\dots(3.173)$$

- b. Balok diberi gaya prategang melewati joint, maka :

$$V_{ch} = 0,7 \cdot P_{cs} \quad \dots\dots\dots(3.174)$$

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

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

$$V_{ch} = 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \dots\dots\dots(3.175)$$

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

Dengan memindahkan lokasi sendi plastis agak jauh dari muka kolom, maka kemampuan mekanisme strai tekan tidak berkurang akibat beban bolak-balik dimana sebagian besar tegangan dipindahkan ke tulangan tekan. Pelelahan tulangan dapat juga mengakibatkan penetrasi kerusakan ikatan yang masuk ke inti join, sehingga ikatan antara tulangan dan strai tekan berkurang. Akibat kedua fenomena ini serta tekanan pada join, sendi plastis yang terletak bersebelahan kolom tidak bekerja, sehingga seluruh gaya besar V_{jh} dipikul oleh V_{sh} .

Bila tegangan rata-rata minimum pada penampang bruto kolom

diatas join kurang dari $0,1 \cdot f'c$ ($\rho_c < 0,1 \cdot f'c$) maka :

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \dots\dots\dots (3.176)$$

Pada join rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis :

$$V_{sh} = V_{jh} - 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} \dots\dots\dots (3.177)$$

Luas total efektif dari tulangan geser horisontal yang melewati bidang kritis diagonal dengan yang diletakkan di daerah tekan joint efektif (b) tidak boleh kurang dari :

$$A_{jh} = \frac{V_{jk}}{f_y} \dots\dots\dots(3.178)$$

Kegunaan sengkang horisontal ini harus didistribusikan secara merata diantara tulangan balok longitudinal atas dan bawah.

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

$$V_{jv} = V_{jh} \cdot \frac{h_c}{h_j} \dots\dots\dots(3.179)$$

Tulangan joint geser vertikal di dapat dari : $V_{sv} = V_{jv} - V_{cv}$

Menjadi :

$$V_{cv} = A_{sc} \cdot \frac{V_{sh}}{V_{sc}} \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'c} \right) \dots\dots\dots(3.180)$$

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

$A_{sc} =$ luas tulangan longitudinal tarik

3.7 Perencanaan Pondasi

Pada Gedung Kampus UPN "Veteran" Fakultas Ekonomi Jurusan Akuntansi ini perencanaan ulang pondasinya menggunakan pondasi dangkal, yaitu pondasi telapak dan didukung oleh pondasi sumuran sebagai lantai kerjanya. Perencanaan pondasi meliputi perencanaan dimensi luas penampang tapak dan juga penulangannya.

3.7.1 Menentukan Daya Dukung Ijin Tanah (q_{all})

Dalam menentukan daya dukung ijin tanah (q_{all}) terlebih dahulu diambil

asumsi dimensi pondasi dengan persamaan Bowles (1968), yaitu :

$$q_a = \frac{q_c}{33} \left(\frac{B+0,3}{B} \right) K_d \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.181)$$

q_a = daya dukung ijin (kg/cm²)

B = lebar pondasi asumsi (m)

D = kedalaman pondasi

$K_d = 1+0,33.D/B$

$K_{dmax} = 1,33$

q_c = nilai tahanan *conus* rata-rata dari data sondir tanah

3.7.2 Perencanaan Pondasi Telapak Setempat Eksentrisitas Kecil Dengan

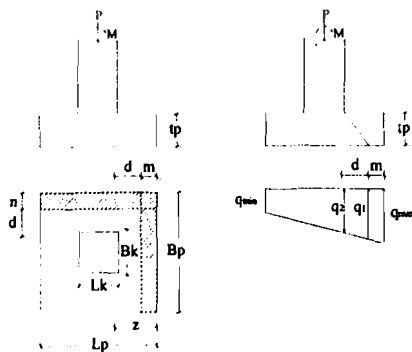
Momen Satu Arah

Syarat eksentrisitas kecil:

$$e \leq 1/6.L_p$$

$$L_p \geq 6.e$$

$$e = \frac{M}{P}$$



Gambar 3.18 Diagram Tegangan Pondasi Eksentrisitas Kecil

a. Menentukan Dimensi Pondasi Telapak

Mengasumsikan nilai L_s dengan trial dan error dengan rumus:

$$B_p \geq \left(\frac{(L_p.P) + (6.P.e)}{\sigma_{\text{inh.netto}} \cdot L_p^2} \right) \dots \dots \dots (3.182)$$

Cek tegangan max

$$\text{Teg. Maks} = \frac{P}{B_p.L_p} + \frac{P.e}{\frac{1}{6}.B_p.L_p^2} \leq \text{Teg. Netto tanah} \quad (3.183)$$

b. Cek Geser

$$d = t_p \text{ pelat} - 100$$

d = tebal plat pondasi dikurangi jarak antara pusat tulangan lentur ke beton tarik (± 100 mm)

$$m = \frac{L_p - L_k - 2d}{2} \dots \dots \dots (3.184)$$

$$n = \frac{B_p - b_k - 2d}{2} \dots \dots \dots (3.185)$$

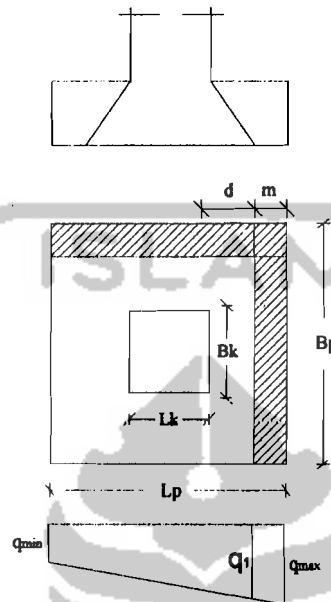
$$P_u = (1,2.P_d + 1,6.P_l)$$

$$P_u = 1,05.(P_d + P_l \pm P_e)$$

$$\sigma_{\text{all max}} = \frac{P_u}{B_p.L_p} + \frac{P.e}{\frac{1}{6}.B_p.L_p^2} \dots \dots \dots (3.186)$$

$$\sigma_{\text{all min}} = \frac{P_u}{B_p.L_p} - \frac{P.e}{\frac{1}{6}.B_p.L_p^2} \dots \dots \dots (3.187)$$

- Geser satu arah



Gambar 3.19 Pondasi dengan geser satu arah

$$q_1 = q_{\min} + \frac{L_p - d}{L_p} (q_{\max} - q_{\min}) \dots \dots \dots (3.188)$$

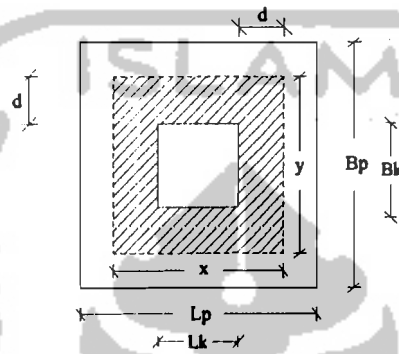
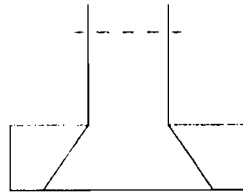
$$V_{u1} = \frac{q_{\max} + q_1}{2} \cdot L_p \cdot m \cdot B_p \dots \dots \dots (3.189)$$

$$V_{u1} / \phi = V_{u1} / 0,6 \dots \dots \dots (3.190)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot L_p \cdot d \dots \dots \dots (3.191)$$

$$V_c \geq V_{u1} / \phi \dots \dots \dots (3.192)$$

- Geser dua arah



Gambar 3.20 Pondasi dengan geser dua arah

$$\text{Teg. Ultimit rata-rata } (\sigma_u) = \frac{P_u}{B_p \cdot L_p} \dots\dots\dots (3.193)$$

$$x = L_k + d \dots\dots\dots (3.194)$$

$$y = B_k + d \dots\dots\dots (3.195)$$

$$b_o = (x + y) \cdot 2 \dots\dots\dots (3.196)$$

b_o = keliling penampang kritis (mm^2)

$$V_u = \sigma_u \cdot \{(B_p \cdot L_p) - (x \cdot y)\} \dots\dots\dots (3.197)$$

$$\beta_c = \frac{B_p}{L_p} = \frac{1}{1} \leq 2 \dots\dots\dots (3.198)$$

β_c = rasio sisi panjang dengan sisi pendek telapak pondasi

$$V_c = 4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (3.199)$$

$$V_c \geq \frac{V_{u1}}{\phi} \quad (\text{Aman})$$

3.7.3 Tinjauan Kuat Tumpu Pondasi dan Kolom

- Kuat tumpu pondasi

Luas penampang kolom (A_1) = $L_k \cdot B_k$

Luas pelat pondasi (A_2) = $L_s \cdot B_s$

$$\phi P_n = \phi \left(0,85 \cdot f'c \cdot A_1 \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \right) \dots\dots\dots (3.200)$$

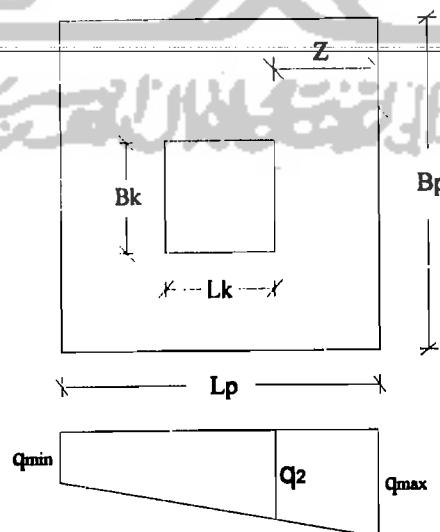
$\frac{A_1}{A_2}$ jika hasilnya lebih besar dari 2, maka dipakai nilai 2

- Kuat tumpu Kolom

$$\phi P_n = \phi (0,85 \cdot f'c \cdot A_1) \dots\dots\dots (3.201)$$

$\phi \cdot P_{n\text{pondasi}} > \phi \cdot P_{n\text{kolom}} \dots\dots\dots \text{Ok!}$

3.7.4 Tinjauan Kuat Tumpu Pondasi dan Kolom



Gambar 3.21 Tulangan Lentur Pondasi

$$Z = \frac{Lp - Lk}{2} \dots\dots\dots (3.202)$$

$$q_2 = q \text{ min} + \frac{Lp - Z}{Lp} (q \text{ max} - q \text{ min}) \dots\dots\dots (3.203)$$

$$Mu_{\text{pakai}} = \frac{q_1 \cdot Z}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot Z + \frac{q_{u \text{ max}} \cdot Z}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot Z \dots\dots\dots (3.204)$$

$$\frac{Mu_{\text{pakai}}}{\phi} = \frac{Mu_{\text{pakai}}}{0,8}$$

a. Tulangan Pokok

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

Untuk pondasi diambil nilai penutup beton (Pb) ≥ 70 mm.

$$d = tp - Pb - 0,5 \cdot \emptyset_{\text{tul. pokok}} \dots\dots\dots (3.205)$$

b. Menentukan rasio tulangan :

$$Rn = \frac{Mu_{\text{pakai}} / \phi}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots (3.206)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots (3.207)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn \cdot m}{fy}} \right) \dots\dots\dots (3.208)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \dots\dots\dots (3.209)$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (3.210)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy} \dots\dots\dots (3.211)$$

Persyaratan :

$$1. \text{ bila } \rho > \rho_{\text{min}} ; \rho < \rho_{\text{max}} \longrightarrow \rho_{\text{perlu}} = \rho$$

$$2. \text{ bila } \rho < \rho_{\min} ; 1,33.\rho < \rho_{\min} \rightarrow \rho_{\text{perlu}} = 1,33.\rho$$

$$3. \text{ bila } \rho < \rho_{\min} ; 1,33.\rho > \rho_{\min} \rightarrow \rho_{\text{perlu}} = \rho_{\min}$$

$$\text{Luas tulangan perlu : } A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (3.212)$$

$$\text{Jarak tulangan : } s = \frac{A_{1\phi} \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \dots\dots\dots (3.213)$$

$A_{1\phi}$ = luas tulangan 1 buah tulangan.

c. Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi :

$$a = \frac{A_{s_{\text{ada}}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3.214)$$

$$A_{s_{\text{ada}}} = \frac{A_{1\phi} \cdot b}{s} \dots\dots\dots (3.215)$$

$$M_n = A_{s_{\text{ada}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \geq \frac{M_u}{\Phi} \dots\dots\dots (3.216)$$

Bila $\rho_{\text{perlu}} = 1,33.\rho_{\text{ada}}$; maka :

$$M_n = A_{s_{\text{ada}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \geq 1,33 \cdot \frac{M_u}{\Phi} \dots\dots\dots (3.217)$$

d. Tulangan Susut

$A_{s_{\text{tul.susut}}} = 0,002 \cdot b \cdot h$ dimana b diambil tiap 1m

Setelah $A_{s_{\text{tul.susut}}}$ didapatkan, maka ditentukan diameter (ϕ) tulangan yang akan digunakan, sehingga didapat luas penampang tulangan ($A_{1\phi}$).

$$\text{jarak tulangan } s = \frac{A_{1\phi} \cdot b}{A_{s_{\text{tul.susut}}}} \dots\dots\dots (3.218)$$