

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Atap

Perencanaan atap baja dalam perencanaan Gedung Pimpinan Daerah Muhammadiyah Semarang ini menggunakan metode perencanaan tegangan kerja (*working stress design*) dari AISC.. Perencanaan ini meliputi :

3.1.1 Perencanaan gording

Dalam perencanaan gording harus memenuhi syarat-syarat antara lain :

➤ **Tegangan :**

$$\frac{fbx}{0,66 Fy} + \frac{fby}{0,75 Fy} \leq 1,0 \quad \dots\dots\dots(3.1.1)$$

$$fbx = \frac{M_{\perp} \cdot \max}{Sx} \quad \dots\dots\dots(3.1.2)$$

$$fby = \frac{M_{\parallel} \cdot \max}{Sy} \quad \dots\dots\dots(3.1.3)$$

- dimana :
- fbx = tegangan lentur arah sumbu x (ksi)
 - fby = tegangan lentur arah sumbu y (ksi)
 - Fy = tegangan leleh baja (ksi)
 - Sx = modulus elastis tampang arah sumbu x (in³)
 - Sy = modulus elastis tampang arah sumbu y (in³)
 - M_⊥ = momen tegak lurus sumbu batang (kin)
 - M_∥ = momen sejajar sumbu batang (kin)

➤ **Lendutan :**

$$\delta_{\perp} = \frac{5}{384} \frac{q_{\perp} \cdot L^4}{EI_x} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots(3.1.4)$$

$$\delta_{\parallel} = \frac{5}{384} \frac{q_{\parallel} \cdot \left(\frac{L}{(a+1)}\right)^4}{EI_y} \leq \frac{L}{360} \quad \dots\dots\dots(3.1.5)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_{\perp}^2 + \delta_{\parallel}^2} \quad \dots\dots\dots (3.1.6)$$

- dimana :
- 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 (mm⁴)
 - I_y = Inersia arah sumbu y (mm⁴)

3.1.2 Perencanaan sagrod

Perencanaan sagrod ini menentukan diameter kabel yang akan dipakai

$$P = 0.33 \cdot F_u \cdot A_{\text{sagrod}} \quad \dots\dots\dots (3.1.7)$$

Beban yang digunakan adalah beban arah sejajar sumbu ($P_{//}$) :

$$P_{//} = P \cdot \sin \alpha \cdot S_s \quad \dots\dots\dots (3.1.8)$$

Sehingga luas tampang sagrod :

$$A_{\text{sagrod}} = \frac{P_{//}}{0.33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{sagrod}}^2 \quad \dots\dots\dots (3.1.9)$$

$$D_{\text{sagrod}} = \sqrt{\frac{P_{//} \cdot 4}{0.33 \cdot F_u \cdot \pi}} \quad \dots\dots\dots (3.1.10)$$

$$D_{\text{pakai}} = D_{\text{sagrod}} + 3 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (3.1.11)$$

- dimana :
- P = gaya yang bekerja (kips)
 - P_{//} = gaya sejajar sumbu batang (kips)
 - F_u = kuat tarik baja (ksi)
 - S_s = jarak beban sagrod (in)
 - D = diameter baja (in)
 - A = luas penampang (in²)

3.1.3 Perencanaan Tierod

$$\text{Gaya batang } T = \frac{P}{\cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (3.1.12)$$

$$T = 0.33 \cdot F_u \cdot A_{\text{tierod}} \quad \dots\dots\dots (3.1.13)$$

Sehingga :

$$A_{\text{tierod}} = \frac{T}{0.33 \cdot F_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{tierod}}^2 \quad \dots\dots\dots (3.1.14)$$

$$D_{\text{tierod}} = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{0,33 \cdot F_u \cdot \pi}} \quad \dots\dots\dots(3.1.15)$$

$$D_{\text{pakai}} = D_{\text{tierod}} + 3\text{mm} \quad \dots\dots\dots(3.1.16)$$

dimana : T = tegangan yang bekerja (kips)
 Fu = kuat tarik baja (ksi)
 D = diameter baja (in)
 A = luas penampang baja (in²)

3.1.4 Perencanaan Batang Tarik

Langkah – langkah perencanaan batang tarik :

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

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

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

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

Sehingga untuk elemen/batang utama, diperoleh :

$$r_{\text{min}} = \frac{L}{240} \quad \dots\dots\dots(3.1.17)$$

2. Menentukan luas bruto (A_g), luas netto (A_n) dan luas efektif (A_e) :

$$A_{g1 \text{ perlu}} = \frac{T}{0,6 \cdot F_y} \quad \dots\dots\dots(3.1.18)$$

$$A_{g2 \text{ perlu}} = \frac{T}{0,50 \cdot F_u \cdot \mu} + A_{\text{lubang}} \quad \dots\dots\dots(3.1.19)$$

$$A_{\text{lubang}} = \left(\frac{1}{8} + \phi_{\text{baut}} \right) t p \cdot n \quad \dots\dots\dots(3.1.20)$$

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{bruto}} - A_{\text{lubang}} \quad \dots\dots\dots(3.1.21)$$

$$A_{\text{effektif}} = A_{\text{netto}} \cdot \mu \quad \dots\dots\dots(3.1.22)$$

dimana : 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)

n = jumlah batang

\varnothing = diameter (in)

μ = faktor reduksi luas netto, dengan kriteria :

- lebar sayap $\geq 2/3$ X kedalaman, sambungan pada sayap-sayap minimal 3 ikatan pergaris dalam garis tekanan $\mu = 0,90$
- minimum 3 ikatan perbaris tekanan yang tidak sama dengan kriteria diatas $\mu = 0,85$
- 2 ikatan pergaris tekanan $\mu = 0,75$

3. Kontrol kelangsingan

$$\lambda_{ada} = \frac{k.L}{r_{ada}} \leq 240 \quad \dots\dots\dots(3.1.23)$$

dimana : kL/r = angka kelangsingan elemen tarik

4. Kontrol Tegangan Tarik yang terjadi

◦ Tampang tanpa lubang : $f_a = \frac{T}{A_{profil}} \leq 0,6.F_y \quad \dots\dots\dots(3.1.24)$

◦ Tampang ada lubang : $f_a = \frac{T}{A_{efektif}} \leq 0,5.F_u \quad \dots\dots\dots(3.1.25)$

dimana : f_a = tegangan tarik yang terjadi (ksi)

3.1.5 Perencanaan Batang Desak

Langkah – langkah perencanaan batang desak :

1. Menentukan Profil

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

2. Kontrol Terhadap Tekuk dan Kelangsingan

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

$$\frac{bf}{tw} \leq \frac{76}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Ksi}) \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

dan kontrol kelangsingan :

$$\frac{kL}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{755}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Fy dalam Ksi}) \quad \dots(3.1.27)$$

$$\leq C_c = \frac{6400}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Fy dalam Kg/cm}^2) \quad \dots(3.1.28)$$

$$\leq C_c = \frac{1987}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Fy dalam Mpa}) \quad \dots(3.1.29)$$

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{kL/r}{C_c} - \frac{1}{8} \left(\frac{kL/r}{C_c} \right)^3 \quad \dots\dots\dots(3.1.30)$$

$$F_a = \frac{F_y}{FS} \left(1 - 0,5 \left(\frac{Kl/r}{C_c} \right)^2 \right) \quad \dots\dots\dots(3.1.31)$$

tetapi jika $\frac{kL}{r} > C_c$, maka :

$$F_a = \frac{12}{23} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{(Kl/r)^2} \quad \dots\dots\dots(3.1.32)$$

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

$$T = F_a \cdot A \geq P_{batang} \quad \dots\dots\dots(3.1.33)$$

dimana : T = beban ijin

P = beban yang terjadi

3.1.6 Perencanaan Sambungan

• **Menghitung Kekuatan 1 Baut**

$$P_{tumpuan} = t_p \cdot D_{baut} \cdot 1,2 \cdot F_{u\ plat} \cdot N \dots\dots\dots(3.1.35)$$

$$D_{baut} = \frac{P_{tumpuan}}{1,2 \cdot F_u \cdot N \cdot t_p} \dots\dots\dots(3.1.36)$$

$$P_{geser} = A_{baut} \cdot F_v \cdot 2N = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{baut}^2 \cdot F_v \cdot 2N \dots\dots\dots(3.1.37)$$

$$D_{baut} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{geser}}{2 \cdot \pi \cdot F_v \cdot N}} \dots\dots\dots(3.1.38)$$

$F_v = 0,22 \cdot F_{u\ baut}$, untuk baut Non Full Draat

$F_v = 0,17 \cdot F_{u\ baut}$, untuk baut Full Draat

• **Menghitung Jumlah Baut**

$$N = \frac{P_{yangterjadi}}{P_{1baut}} \dots\dots\dots(3.1.39)$$

3.2 Perencanaan Pelat 2 Arah

1. Menentukan tebal minimum pelat (h)

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

$$h \geq \frac{Ln.(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5\beta \cdot \left[\alpha_m - 0,12 \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \dots\dots\dots(3.2.1)$$

tetapi tidak boleh kurang dari : $h \geq \frac{Ln.(0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(3.2.2)$

dan tidak perlu lebih dari : $h \leq \frac{Ln.(0,8 + f_y/1500)}{36} \dots\dots\dots(3.2.3)$

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 (≥) 2,0 digunakan nilai h minimal 90 mm.

- dimana : L_n = bentang bersih terkecil pada pelat dihitung dari muka kolom (mm)
 α_m = rasio kekakuan balok terhadap pelat
 β = rasio panjang terhadap lebar bentang pelat

2. Menentukan Momen Lentur terjadi

Perencanaan dan analisis dengan menggunakan *metode koefisien momen*.

Besar momen lentur dalam arah bentang panjang :

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{tx} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{lx} \dots\dots\dots (3.2.5)$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{ty} \dots\dots\dots (3.2.6)$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{ly} \dots\dots\dots (3.2.7)$$

- dimana : q_u = beban merata
 L_x = panjang bentang pendek
 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

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

3. Menentukan Tinggi manfaat (d) arah x dan y

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (3.2.8)$$

$$\rho_{mak} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (3.2.9)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (3.2.10)$$

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

$$d_x = h - P_b - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul. x} \dots\dots\dots (3.2.11)$$

$$d_y = h - P_b - \phi_{tul. x} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul. y} \dots\dots\dots (3.2.12)$$

d_y untuk tulangan tumpuan arah y (t_y) sama dengan d_x

4. Menentukan Luas Tulangan (As) arah x dan y

$$R_n = \frac{Mu/\phi}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(3.2.13)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots\dots\dots (3.2.14)$$

$$\rho_{ada} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(3.2.15)$$

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

Setelah didapatkan nilai ρ_{perlu} , maka :

$$A_{S_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \geq A_{Stul \text{ bagi/susut}} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots (3.2.16)$$

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

$$\text{Jarak antar tulangan : } s \leq \frac{A_1 \cdot b}{A_{S_{perlu}}} \dots\dots\dots (3.2.17)$$

$$s \leq 2h \dots\dots\dots (3.2.18)$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (3.2.19)$$

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

$$A_{S_{ada}} = \frac{A_1 \cdot b}{s} \dots\dots\dots(3.2.20)$$

5. Kontrol kapasitas lentur pelat yang terjadi

$$a = \frac{A_{S_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(3.2.21)$$

$$M_n = A_{S_{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \geq \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(3.2.22)$$

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

$$M_n = A_{S_{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \geq 1,33 \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(3.2.23)$$

3.3 Perencanaan Balok

Langkah-langkah perencanaan elemen 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)

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

$$f'c > 30 \text{ MPa} \longrightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'c - 30) \geq 0,65 \quad \dots\dots(3.3.1)$$

2. Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \dots\dots\dots(3.3.2)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \quad \dots\dots\dots(3.3.3)$$

dalam perencanaan dipakai nilai ρ : $\rho_{pakai} = 0,5 \cdot \rho_{maks} > \rho_{min} \quad \dots\dots\dots(3.3.4)$

dimana :

ρ_b = rasio tulangan terhadap luas beton efektif dalam keadaan seimbang

ρ_{maks} = rasio tulangan maksimum

ρ_{pakai} = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

ρ_{min} = rasio tulangan minimum

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \quad \dots\dots\dots(3.3.5)$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m) \quad \dots\dots\dots(3.3.6)$$

$$b \cdot d^2 = \frac{M_u / \theta}{R_n} \quad \dots\dots\dots(3.3.7)$$

Tentukan b, didapat d_{perlu}

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

Jika nilai $d_{diketahui} (<) d_{perlu}$, maka digunakan tulangan rangkap.

$$d_{diketahui} = h_{diketahui} - P_b - \emptyset \text{ sengkang} - (1/2) \emptyset \text{ tulangan rencana}$$

dimana :

m = perbandingan isi dari tulangan memanjang dari bentuk yang tertutup

R_n = koefisien tahanan untuk perencanaan kuat

- d = tinggi efektif penampang ,diukur dari serat atas ke pusat tul. tarik (mm)
 M_u = momen lentur ultimit akibat beban luar (Nmm)
 ϕ = faktor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,80 (lentur tanpa aksial)
 h = tinggi total penampang beton (mm)

3.3.1 Perencanaan Balok Penampang Persegi Menahan Lentur Tulangan Sebelah

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

Langkah – langkah perencanaannya sebagai berikut :

1. Menentukan ρ_{ada} dan Rn_{ada}

$$Rn_{ada} = \frac{M_u / \phi}{b \cdot d_{diketahui}^2} \dots\dots\dots(3.3.8)$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \cdot \rho > \rho_{min} \dots\dots\dots(3.3.9)$$

2. Menentukan Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho_{ada} \cdot b \cdot d_{diketahui} \dots\dots\dots(3.3.10)$$

$$n = \frac{A_s}{A_{1\emptyset}} ; n \text{ bilangan bulat} \dots\dots\dots(3.3.11)$$

$n \geq 2$ batang

$$A_{s_{ada}} = n \cdot A_{1\emptyset} > A_s \dots\dots\dots(3.3.12)$$

dimana : A_s = Luas tulangan tarik longitudinal (mm^2)

n = jumlah tulangan yang dipakai (buah)

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

$A_{1\emptyset}$ = Luas tampang 1 buah tulangan (mm^2)

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

Rn_{ada} = koefisien tahanan untuk perencanaan kuat

3. Kontrol kapasitas Lentur yang terjadi

$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(3.3.13)$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d_{diketahui} - a/2) > M_u/\phi \quad \dots\dots\dots(3.3.14)$$

dimana : a = tinggi blok tegangan persegi ekivalen (mm)

M_n = kapasitas lentur nominal yang terjadi (Nmm)

3.3.2 Perencanaan Balok Penampang Persegi Menahan lentur Tulangan Rangkap

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

Langkah – langkah perencanaannya sebagai berikut :

1. Menentukan A_{s1} dan M_{n1}

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d_{diketahui} \quad \dots\dots\dots(3.3.15)$$

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

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad \dots\dots\dots(3.3.16)$$

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d_{diketahui} - a/2) < M_u/\phi \quad \dots\dots\dots(3.3.17)$$

2. Menentukan M_{n2}

$$M_u/\phi \leq M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$M_{n2} = M_u/\phi - M_{n1} \quad \dots\dots\dots(3.3.18)$$

dimana:

M_{n1} = kuat momen pas. kopel gaya beton tekan dan tul. baja tarik (Nmm)

M_{n2} = kuat momen pas.kopel tul.baja tekan dan baja tarik tambahan (Nmm)

3. Menentukan A_{s'} = A_{s2} dan A_s

Tegangan baja desak;

$$f_{s'} = 600 \cdot \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot f_y} \cdot \frac{d'}{d_{diketahui}} \right\} \quad \dots\dots\dots(3.3.19)$$

jika f_{s'} ≥ f_y, maka baja desak sudah leleh, sehingga dipakai : f_{s'} = f_y

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

$$A_{s'} = \frac{M_{n2}}{f_{s'} \cdot (d_{diketahui} - d')} \quad \dots\dots\dots(3.3.20)$$

$$n' \geq \frac{As'}{A_{l\phi}} ; \quad n \text{ bilangan bulat}$$

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

$$As = As_1 + As', \quad As' = As_2 \quad \dots\dots\dots(3.3.21)$$

$$n \geq \frac{As}{A_{l\phi}} ; \quad n \text{ bilangan bulat}$$

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

dimana : 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)

n' = jumlah tulangan desak yang dipakai (buah)

n = jumlah tulangan tarik yang dipakai (buah)

4. Kontrol kapasitas Lentur yang terjadi

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d_{diketahui}} \quad \dots\dots\dots(3.3.22)$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \cdot d_{diketahui}} \quad \dots\dots\dots(3.3.23)$$

Tegangan baja desak

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

$$a = \frac{As \cdot fy - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad \dots\dots\dots(3.3.24)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$= (As \cdot fy - As' \cdot fs') \cdot (d_{diketahui} - \frac{a}{2}) + (As' \cdot fs') \cdot (d_{diketahui} - d') \quad \dots\dots\dots(3.3.25)$$

3.3.3 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 T-15-1991-03 adalah sebesar :

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c} \right) . b . d \text{ (Newton)} \quad \dots\dots\dots (3.3.26)$$

Sedangkan kekuatan minimal tulangan geser vertikal menahan geser, dinyatakan

dalam : $V_{s_{min}} = \frac{1}{3} . b . d \text{ (Newton)} \quad \dots\dots\dots (3.3.27)$

2. Menentukan jarak sengkang

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

- Bila $V_u \leq 0,5 \phi V_c$ (3.3.28)

Geser tidak diperhitungkan

- Bila $0,5 . V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq V_c$ (3.3.29)

Perlu tulangan geser kecuali untuk struktur sebagai berikut : struktur pelat (lantai, atap, pondasi), balok $h \leq 25 \text{ cm}$, atau $h \leq 2,5h_f$.

Tulangan geser dengan jarak :

$$s \leq \frac{A_v . f_y . d}{V_{s_{min}}} \quad \dots\dots\dots (3.3.30)$$

$$\leq \frac{d}{2} \quad \dots\dots\dots (3.3.31)$$

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

- Bila $V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq (V_c + V_{s_{min}})$ (3.3.32)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

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

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

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

- Bila $(V_c + V_{s_{min}}) < V_u/\phi \leq 3.V_c$ (3.3.33)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{(V_u/\phi - V_c)} \quad \dots\dots\dots (3.3.34)$$

$$\leq d/2$$

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

- Bila $3.V_c < V_u/\phi \leq 5.V_c$ (3.3.35)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

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

$$\leq d/4$$

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

- Bila $V_u/\phi > 5V_c$
Maka ukuran balok diperbesar(3.3.36)

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)

3.3.4 Perencanaan Geser dan Torsi Balok

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

1. Identifikasi jenis torsi

- Untuk struktur statis tertentu : torsi keseimbangan

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi terfaktor :

$$T_u \geq \phi \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \quad \dots\dots\dots (3.3.37)$$

- Untuk struktur statis tak tentu : torsi kompatibilitas

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi terfaktor :

$$T_u \geq \phi \left(\frac{1}{9} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots\dots\dots(3.3.38)$$

2. Menentukan kuat momen torsi nominal (Tn)

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

$$T_n = T_c + T_s \dots\dots\dots(3.3.39)$$

• Bila Puntir Murni

$$T_c = \left(\frac{1}{15} \sqrt{f'c} \right) \cdot \Sigma x^2 \cdot y \dots\dots\dots(3.3.40)$$

• Bila Puntir Murni + Geser :

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{15} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \dots\dots\dots(3.3.41)$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\Sigma x^2 \cdot y} \dots\dots\dots(3.3.42)$$

$$V_c = \left(\frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \cdot T_u / V_u)^2}} \right) \dots\dots\dots(3.3.43)$$

• Bila Puntir Murni + Geser + Gaya Aksial :

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{15} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g} \right) \dots\dots\dots (3.3.44)$$

$$V_c = \left(\frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \cdot T_u / V_u)^2}} \right) \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g} \right) \dots\dots\dots(3.3.45)$$

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

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

Untuk torsi keseimbangan : $T_s = \frac{T_u}{\phi} - T_c \dots\dots\dots (3.3.46)$

$$\text{Untuk torsi kompatibilitas : } T_s = \frac{1}{9} \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \cdot \frac{1}{3} - T_c \quad \dots\dots (3.3.47)$$

3. Jika $\frac{T_u}{\phi} > 4 T_c$ \longrightarrow tampang diperbesar

dimana : T_n = kekuatan nominal tampang torsi (Nmm)

T_u = kekuatan torsi terfaktor akibat beban geser (Nmm)

T_s = kekuatan baja nominal menahan torsi (Nmm)

T_c = kekuatan beton nominal menahan torsi (Nmm)

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

A_g = luas tampang beton (mm^2)

3. Menghitung perbandingan luas tulangan torsi dan jarak sengkang

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y} \quad \dots\dots\dots (3.3.48)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{3} \left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5 \quad \dots\dots\dots (3.3.49)$$

4. Menentukan tulangan geser + torsi

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

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad \dots\dots\dots (3.3.50)$$

Perbandingan antara luas tulangan geser dan jarak :

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} \quad \dots\dots\dots (3.3.51)$$

Luas total sengkang (tulangan torsi + geser)

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 \cdot A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \geq \frac{b_w \cdot s}{3 f_y} \quad \dots\dots\dots (3.3.52)$$

5. Menentukan tulangan torsi memanjang

$$A_{l1} = 2 \cdot A_t \cdot \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \text{ atau ; } \quad \dots\dots\dots (3.3.53)$$

$$A_{l1} = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3 C_t}} \right) - 2 \cdot 2t \right] \cdot \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \quad \dots\dots (3.3.54)$$

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

$$A_{I_2} = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + V_u} \right) - \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \dots\dots\dots(3.3.55)$$

dimana :
 A_v = luas sengkang menahan geser (mm^2)
 A_t = luas sengkang menahan torsi (mm^2)
 A_I = luas tulangan memanjang tambahan pada torsi (mm^2)

6. Kriteria tulangan geser dan torsi

- Jarak tulangan sengkang : $s \leq \frac{x_1 + y_1}{4} \dots\dots\dots(3.3.56)$
 $\leq 300 \text{ mm}$
- 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 Kolom Tunggal

3.4.1 Perencanaan Kolom Pendek

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

1. Menentukan properties penampang kolom (b, h, f_c', f_y, d', d)
2. Menghitung kapasitas kolom pendek

$$P_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots\dots\dots (3.4.1)$$

- Untuk sengkang biasa :

$$\phi P_{no} = 0,8 \cdot \phi P_o = 0,8 \cdot \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \dots\dots\dots(3.4.2)$$

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

$$A_{g_{perlu}} = \frac{P_u}{0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \dots\dots\dots ..(3.4.3)$$

Tabel 2.1. Nilai Faktor Reduksi kekuatan

	Gaya yang bekerja	Nilai (ϕ)
1	Lentur tanpa beban aksial	0,8
2	Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,8
3	Aksial tekan, dan aksial tekan dengan lentur:	
	Dengan tulangan spiral	0,7
	Dengan tulangan sengkang ikat	0,65
4	Geser dan torsi	0,6
5	Tumpuan pada beton	0,7

2.5 Dasar-dasar Perencanaan

Peraturan-peraturan/standarisasi yang digunakan dalam perencanaan ulang Gedung Pimpinan Daerah Muhammadiyah Semarang adalah:

- a. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI), 1971 NI-2.
- b. Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI), 1984.
- c. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
- d. Peraturan Perencanaan Ketahanan Untuk Rumah Dan Gedung (PPKURG), 1987.
- e. Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03).
- f. Pedoman Perencanaan Untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Beton Bertulang Untuk Gedung, 1983.
- g. Tabel Manual of Steel Construction ASD-AISC (ninth edition).
- h. Tabel Profil Konstruksi Baja (Ir. Morisco).

• Untuk sengkang spiral :

$$\phi P_{no} = 0,85 \cdot \phi P_o = 0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \quad \dots(3.4.4)$$

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

$$A_{g_{perlu}} = \frac{P_u}{0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \quad \dots(3.4.5)$$

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

$$A_g = b \cdot h = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad \dots(3.4.6)$$

$$A_{st} = n\% \cdot A_g = A_s + A_{s'} \quad \dots(3.4.7)$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{A_{st}}{2} \quad \dots(3.4.8)$$

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad \dots(3.4.9)$$

$$P_{no} = 0,8 \cdot P_o \quad ; \text{ untuk sengkang biasa} \quad \dots(3.4.10)$$

$$P_{no} = 0,85 \cdot P_o \quad ; \text{ untuk sengkang spiral} \quad \dots(3.4.11)$$

dimana : 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. Kapasitas kolom dengan beban eksentris

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad \dots(3.4.12)$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \quad \dots(3.4.13)$$

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

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b (x_b \cdot \beta_1) \quad \dots(3.4.14)$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad \dots(3.4.15)$$

dengan nilai f_s' sebagai berikut :

$$f_s' = \frac{x_b \cdot d'}{x_b} \cdot 600 \quad \dots(3.4.16)$$

$$f_s' > f_y \longrightarrow f_s' = f_y$$

$$f_s' < f_y \longrightarrow f_s' = f_s'$$

$$T_b = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(3.4.17)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_b \quad \dots\dots\dots(3.4.18)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_{sb} (\bar{y} - d') + T_b (d - \bar{y}) \quad \dots\dots\dots(3.4.19)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \quad \dots\dots\dots(3.4.20)$$

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

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

syarat kegagalan :

a. runtuh seimbang

$$x = x_b$$

b. runtuh desak

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

c. runtuh tarik

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

kemudian dihitung

$$a = \beta_1 \cdot x \quad \dots\dots\dots(3.4.21)$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot 600 \quad \dots\dots\dots(3.4.22)$$

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

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b (x_b \cdot \beta_1) \quad \dots\dots\dots(3.4.23)$$

$$C_{sb} = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \quad \dots\dots\dots(3.4.24)$$

$$T_b = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(3.4.25)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_b \quad \dots\dots\dots(3.4.26)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_{sb} (\bar{y} - d') + T_b (d - \bar{y}) \quad \dots\dots\dots(3.4.27)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \dots\dots\dots(3.4.28)$$

dimana : M_{nb} = kapasitas lentur kolom dalam keadaan seimbang (Nmm)

P_{nb} = kuat Desak aksial kolom dalam keadaan seimbang (N)

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

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

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

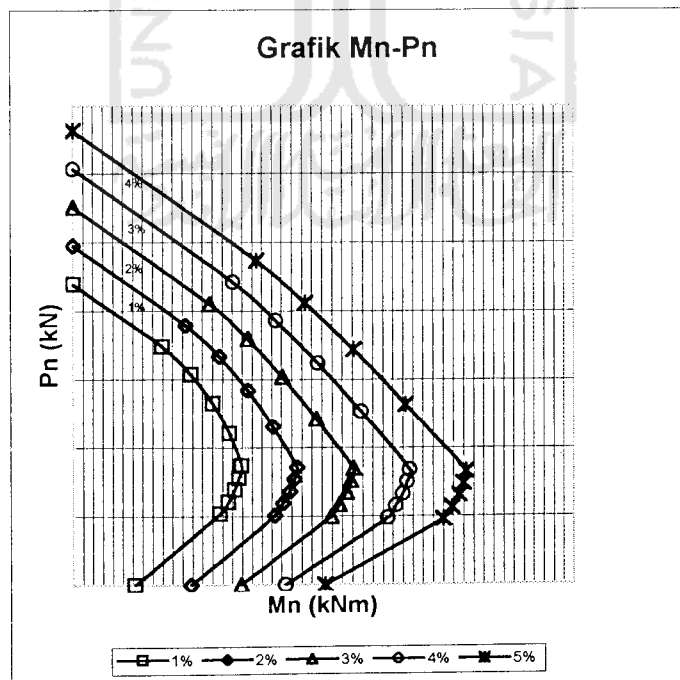
x = jarak serat terluar beton ketitik ditinjau (mm)

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(3.4.29)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(3.4.30)$$

6. Gambar Diagram Momen Nominal (M_n) dan Gaya Desak Aksial Nominal (P_n) ($A_{st}=1\% \cdot A_g, A_{st}=2\% \cdot A_g, A_{st}=3\% \cdot A_g, A_{st}=4\% \cdot A_g, A_{st}=5\% \cdot A_g$)



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

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

dimana :

k = faktor panjang efektif

lu = 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)

$$\Psi = \frac{\sum (EI/l)_{kolom}}{\sum (EI/l)_{balok}} \dots\dots\dots(3.4.31)$$

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

Batasan-batasan kolom disebut langsing, adalah :

$$\begin{aligned} \frac{k \cdot l}{r} &> 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}}, \text{ untuk rangka dengan pengaku lateral (tak bergoyang)} \\ &> 22 \quad \text{untuk rangka/portal bergoyang} \end{aligned}$$

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

2. Momen rencana

$$M_{rencana} = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \quad \dots\dots\dots (3.4.32)$$

$$\delta_b = \frac{Cm}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1,0 \quad \dots\dots\dots (3.4.33)$$

$$Cm = 0,6 + 0,4 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \geq 0,4 \quad \dots\dots\dots (3.4.34)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\phi \Sigma P_c}} \quad \dots\dots\dots (3.4.35)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(kl)^2} \quad (\text{rumus Euler}) \quad \dots\dots\dots (3.4.36)$$

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

$$EI = \frac{\frac{1}{5}(E_c \cdot I_g) + E_s \cdot I_{se}}{1 + \beta d} \quad \dots\dots\dots (3.4.37)$$

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

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{2,5(1 + \beta d)} \quad \dots\dots\dots (3.4.38)$$

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 disepanjang komponen struktur tekan akibat pembebanan sementara

P_u = beban aksial kolom akibat gaya luar

ϕ = 0,65 = faktor reduksi

$$\begin{aligned}
 P_c &= \text{beban tekuk} \\
 E_c &= \text{modulus elastis beton} \\
 E_s &= \text{modulus elastis baja tulangan} \\
 I_g &= \text{momen inersia beton kotor (penulangan diabaikan)} \\
 I_{sc} &= \text{momen inersia terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur} \\
 \beta_d &= \frac{\text{momen.akibat.beban.mati.rencana}}{\text{momen.akibat.beban.total}} \dots\dots\dots(3.4.39)
 \end{aligned}$$

3. Mencari Mn dan Pn

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.4.40)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.4.41)$$

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

3.5 Perencanaan Beban Gempa

3.5.1 Perencanaan Struktur Portal Dengan Daktilitas Penuh

Pembeban gempa menurut Pedoman Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (PPKGURDG, 1987) dinyatakan dalam :

$$V = C.I.K.W_t \dots\dots\dots(3.5.1)$$

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

dengan rumus :

$$F_i = \frac{W_i.H_i}{\sum W_i.H_i} \cdot V \dots\dots\dots(3.5.2)$$

dimana : V = gaya geser dasar horizontal total akibat gempa (Ton)

C = koefisien gempa dasar

I = factor keutamaan struktur

K = factor jenis struktur

W_t = berat total bangunan (Ton)

H = Tinggi bangunan (m)

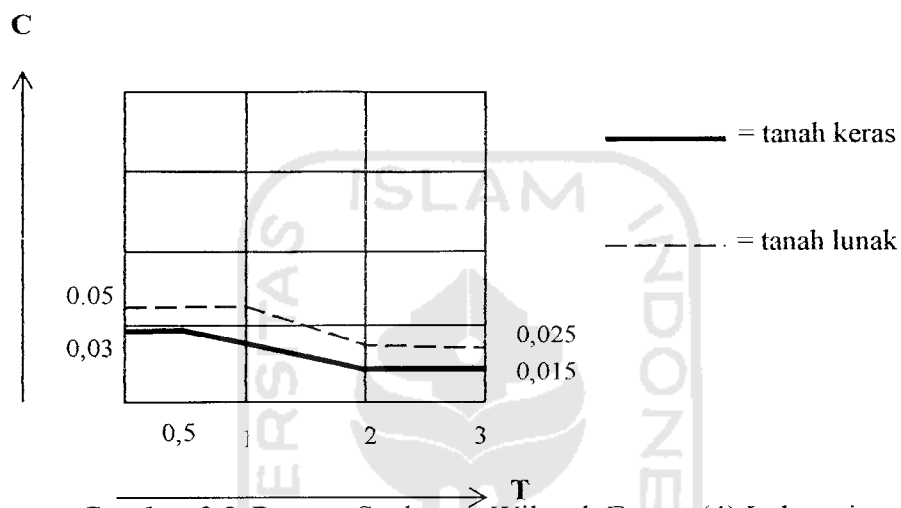
F_i = Gaya geser tiap tingkat (Ton)

3.5.2 Waktu getar alami struktur (T)

$$T = 0,06 \cdot H^{3/4} \dots\dots\dots(3.5.3)$$

3.5.3 Koefisien gempa dasar (C)

Dalam perencanaan ulang ini, bangunan berada dalam wilayah gempa empat (4) daerah Semarang, pada kondisi tanah lunak.



Gambar 3.2 Respon Spektrum Wilayah Empat (4) Indonesia

3.5.4 Faktor keutamaan gedung (I)

Nilai K diambil dari tabel 2.4 Buku Beton Seri 3 Gideon Kusuma. Dalam perencanaan ulang ini digunakan nilai I =1.

3.5.5 Faktor jenis bangunan (K)

Dalam perencanaan ulang ini bangunan direncanakan dengan daktilitas tingkat III (penuh), dengan nilai K=1.

3.5.6 Berat total bangunan (Wt)

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

3.6 Perencanaan Balok dan Kolom Portal

3.6.1 Perencanaan Balok Portal terhadap Beban Lentur

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

$$M_{u,b} = 1,2.M_{d,b} + 1,6.M_{L,bR} \dots\dots\dots(3.6.1)$$

$$M_{u,b} = 1,05. (M_{D,b} + M_{E,bR} + M_{E,b}) \dots\dots\dots (3.6.2)$$

$$M_{u,b} = 0,9.M_{D,b} + M_{E,b} \dots\dots\dots(3.6.3)$$

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

$M_{E,b}$ = 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 :

$$q = 30. \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \right\} \% \dots\dots\dots(3.6.4)$$

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 :

$$M_{kap,b} = \phi_o. M_{nak,b} \dots\dots\dots(3.6.5)$$

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_o = factor penambahan kekuatan yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk $f_y < 400$ Mpa dan 1,40 untuk $f_y > 400$ Mpa

3.6.2 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 :

$$V_{u,b} = 0,7 \cdot \left(\frac{M_{kap} + M'_{kap}}{l_n} \right) + 1,05 \cdot V_g \quad \dots\dots\dots(3.6.6)$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari

$$V_{u,b} = 1,07 \cdot (V_{B,b} + V_{L,b} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,b}) \quad \dots\dots\dots(3.6.7)$$

dimana :

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

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

l_n = bentang bersih balok

3.6.3 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 :

$$\sum M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \sum M_{kap,b} \quad \dots\dots\dots(3.6.8)$$

atau
$$M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot (M_{kap, ki} + M_{kap, ka}) \quad \dots\dots\dots(3.6.9)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$M_{u,b} = 1,05 \cdot (M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} \cdot M_{E,k}) \quad \dots\dots\dots(3.6.10)$$

Sehingga :
$$\sum M_{kap,b} = M_{kap, ki} + M_{kap, ka} \quad \dots\dots\dots(3.6.11)$$

dimana :

ω_d = factor pembesar dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan, diambil nilai $\omega_d = 1,3$

α_k = factor 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

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

$$N_{u,k} = \frac{0,7 \cdot R_n \cdot \sum M_{kap,b}}{l_b} + 1,05 \cdot N_{g,k} \quad \dots\dots\dots(3.6.12)$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$N_{u,k} = 1,05 \cdot \left(N_{g,k} + \frac{4}{K} \cdot N_{E,k} \right) \quad \dots\dots\dots(3.6.13)$$

Dengan nilai R_n = faktor reduksi yang ditentukan sebesar :

1,0	untuk	$1 < n < 4$
$1,1 - 0,025n$	untuk	$4 < n < 20$
0,6	untuk	$n > 20$

dimana : n = jumlah lantai diatas kolom yang ditinjau

l_b = bentang balok dari as ke as kolom

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

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

3.6.4 Perencanaan Kolom Portal terhadap Beban Geser

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

Untuk kolom lantai atas dan lantai dasar :

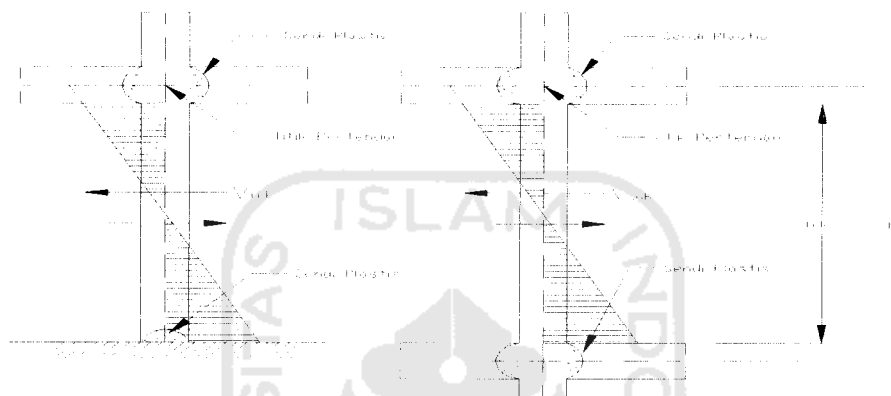
$$V_{u,k} = \frac{M_{u,katas} + M_{u,kbawah}}{h'_k} \quad \dots\dots\dots(3.6.14)$$

Dan dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 \cdot \left(M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,k} \right) \dots\dots\dots(3.6.15)$$

Kapasitas lentur sendi plastis kolom dapat dihitung :

$$M_{\text{kap, k bawah}} = \phi_0 \cdot M_{\text{nak, k bawah}} \dots\dots\dots(3.6.16)$$



Gambar 3.3 Kolom dengan $M_{u,k}$ Berdasarkan Kapasitas Sendi Plastis Balok

dimana :

- $M_{u,k}$ 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

3.6.5 Perencanaan Panel Pertemuan Balok - Kolom

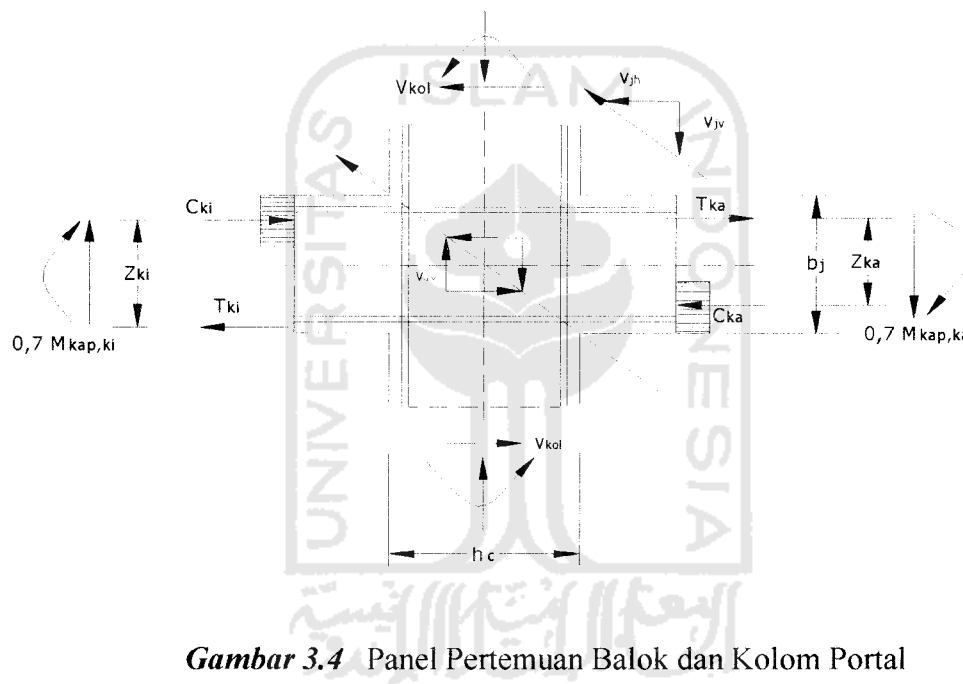
Panel pertemuan balok kolom portal harus diproporsikan sedemikian rupa, sehingga memenuhi persyaratan kuat geser horizontal perlu ($V_{u,h}$) dan kuat geser vertical perlu ($V_{u,v}$) yang berkaitan dengan terjadinya momen kapasitas pada sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu pada kolom itu. Gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada join rangka adalah seperti yang seperti yang terlihat pada gambar 3.14, dimana gaya geser horizontal :

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \dots\dots\dots(3.6.17)$$

$$C_k = T_{ki} = 0,7 \cdot \left(\frac{M_{kap,ki}}{Z_i} \right) \quad \dots\dots\dots(3.6.18)$$

$$T_k = C_{ka} = 0,7 \cdot \left(\frac{M_{kap,ka}}{Z_{ka}} \right) \quad \dots\dots\dots(3.6.19)$$

$$V_{kol} = \frac{0,7 \cdot \left(l_{ki} \cdot l_{ki} \cdot M_{kap,ki} + l_{ka} \cdot l_{ka} \cdot M_{kap,ka} \right)}{1/2 (h_{k,a} + h_{k,b})} \quad \dots\dots\dots(3.6.20)$$



Gambar 3.4 Panel Pertemuan Balok dan Kolom Portal

Tegangan geser horizontal nominal dalam join adalah :

$$V_{jh \text{ aktual}} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} < 1,5 \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \quad \dots\dots\dots(3.6.21)$$

dimana : d_j = lebar efektif join (mm)

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

Gaya geser horizontal V_{jh} ini tahan oleh dua (2) mekanisme kuat geser inti, yaitu ;

- strat beton diagonal yang melewati daerah tekan ujung join yang memikul gaya geser V_{ch}

- mekanisme panel rangka yang terdiri dari sengkang horisontal dan strat beton diagonal daerah tarik join yang memikul gaya geser V_{sh}

sehingga :
$$V_{sh} + V_{ch} = V_{jh} \quad \dots\dots\dots(3.6.22)$$

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

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

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \cdot h_j \quad \dots\dots\dots(3.6.23)$$

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

$$V_{ch} = 0,7 \cdot P_{cs} \quad \dots\dots\dots(3.6.24)$$

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

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

$$V_{ch} = 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \quad \dots\dots\dots(3.6.25)$$

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

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

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

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right)} - 0,1 \cdot f'c \cdot b_j \cdot h_j \quad \dots\dots\dots(3.6.26)$$

Pada join rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis :

$$V_{sh} = V_{jh} - 0,5 \cdot \frac{A_s'}{A_s} \cdot V_{jh} \cdot \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 \cdot A_g \cdot f'c} \right) \dots\dots\dots(3.6.27)$$

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

$$A_{jh} = \frac{V_{jh}}{f_y} \dots\dots\dots(3.6.28)$$

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

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

$$V_{jv} = V_{jh} \cdot \frac{h_c}{b_j} \dots\dots\dots(3.6.29)$$

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

menjadi :
$$V_{cv} = A_{sc} \cdot \frac{V_{sh}}{V_{sc}} \cdot \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'c} \right) \dots\dots\dots(3.6.30)$$

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

$A_{sc} =$ luas tulangan longitudinal tarik

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

3.7 Pondasi

3.7.1 Perencanaan Pondasi

Pondasi yang direncanakan dalam perhitungan gedung ini adalah pondasi sumuran dan pondasi telapak. Cara perencanaan pondasi telapak sama dengan perencanaan plat dua arah pada umumnya, hanya pada bagian bawah dari plat pondasi diberi balok sloof yang berfungsi pengikat kolom.

Langkah – langkah perencanaan pondasi telapak dan pondasi sumuran adalah sebagai berikut :

A. Pondasi Telapak

Langkah – langkah perencanaan pondasi telapak, adalah sebagai berikut :

1. Menentukan data mutu beton, baja tulangan, ukuran kolom dan data tanah.

2. Untuk beban aksial dan momen eksentris ($e \neq 0$)

$$q_{all \max} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{6.e}{b} \right) \dots\dots\dots(3.7.1)$$

$$q_{all \min} = \frac{P}{A} \left(1 - \frac{6.e}{b} \right) \dots\dots\dots(3.7.2)$$

- Pada kondisi dimana : $e < 1/6.b$ \longrightarrow $q_{all \min}$ bernilai negatif (-)
- Pada kondisi dimana : $e = 1/6.b$ \longrightarrow $q_{all \min}$ bernilai nol (0)
- Pada kondisi dimana : $e > 1/6.b$ \longrightarrow $q_{all \text{ netto } \min}$ bernilai positif (+)

Eksentrisitas kolom menyebabkan tegangan tanah dibawah pondasi tidak merata, tetapi diasumsikan berubah secara linier sepanjang tapak, sehingga :

$$q_{all \text{ rata-rata}} = \frac{1}{2} (q_{all \max} + q_{all \min}) \dots\dots\dots(3.7.2)$$

Sehingga untuk dimensi penampang tapak, digunakan nilai q_{all} terbesar :

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P}{q_{all \max}} \left(1 + \frac{6.e}{b} \right) \dots\dots\dots(3.7.4)$$

Setelah A_{perlu} diketahui lebar (B) dan panjang (N) sisi tapak pondasi bisa dicari dan diperoleh nilai A_{ada} . Sehingga tegangan kontak yang terjadi di dasar pondasi,

adalah :

$$q_u = \frac{P}{A_{\text{ada}}} \dots\dots\dots(3.7.5)$$

3. Kontrol kapasitas daya dukung tanah (q_{ult})

Kapasitas daya dukung tanah yang terjadi di dasar pondasi adalah :

$$q_{ult \text{ netto}} = q_{ult \text{ bruto}} - q \dots\dots\dots(3.7.6)$$

dimana :

$$q = h \cdot \gamma' \dots\dots\dots(3.7.7)$$

Untuk memperoleh nilai $q_{ult \text{ bruto}}$ digunakan rumus Meyerhorf (1963) karena akan didapat nilai q_{ult} yang lebih besar, sehingga dimensi tapak akan lebih kecil disamping untuk kondisi dimana kedalaman pondasi lebih besar dari lebar pondasi. ($D_f > b$) rumus ini lebih tepat.

$$q_{ult \text{ bruto}} = C.N_c.S_c.d_c.i_c + q.N_q.S_q.d_q.i_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma.S_\gamma.d_\gamma.i_\gamma \dots\dots\dots(3.7.8)$$

Dengan mensubsitusikan pers.....maka diperoleh qult netto :

$$q_{ult \text{ netto}} = C.N_c.S_c.d_c.i_c + q.(N_q - 1).S_q.d_q.i_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma.S_\gamma.d_\gamma.i_\gamma \dots(3.7.9)$$

sehingga didapatkan tegangan ijin tanah dari rumus Meyerhorf (1963) :

$$q_{all} = \frac{q_{ultnetto \text{ meyerhorf}}}{SF}$$

$$= \frac{C.N_c.S_c.d_c.i_c + q.(N_q - 1).S_q.d_q.i_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma.S_\gamma.d_\gamma.i_\gamma}{SF} \dots(3.7.10)$$

dengan : $N_q = e^{\pi \tan \varphi} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \dots\dots\dots(3.7.11)$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi \dots\dots\dots(3.7.12)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan (1,4 \cdot \varphi) \dots\dots\dots(3.7.13)$$

Untuk tanah jenis pasir dimana kohesi (c) = 0, maka nilai :

- $N_\gamma = 0; N_c = 6,16; N_q = 1 \longrightarrow$ jika tapak bujur sangkar
- $N_\gamma = 0; N_c = 5,14; N_q = 1 \longrightarrow$ jika tapak persegi panjang

dimana :

$q_{ult \text{ bruto}}$ = kapasitas daya dukung kotor tanah (kg/cm^2)

$q_{ult \text{ netto}}$ = kapasitas daya dukung bersih tanah (kg/cm^2)

b = lebar efektif pondasi (m)

q = beban merata tanah diataspondasi dibawah permukaan tanah (kg/cm^2)

γ' = berat volume tanah (kg/cm^3)

h = kedalaman tanah diatas pondasi (m)

D_f = kedalaman pondasi (m)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah (*depth factor*)

S_c, N_q, N_γ = faktor bentuk pondasi (*shape factor*)

d_c, d_q, d_γ = faktor kemiringan beban (*inclination factor*)

Untuk masing-masing nilai fakor daya dukung tanah, bentuk pondasi, dan kemiringan beban tergantung dari nilai sudut geser dalam(φ), sebagai berikut :

Nilai Sudut geser dalam (ϕ)	Faktor Bentuk (Shape Factor)	Faktor Kedalaman (Depth Factor)	Faktor Kemiringan (Inclination factor)
$\phi = 0^\circ$	$S_q = S_\gamma = 1,0$	$d_q = d_\gamma = 1,0$	$i_\gamma = 1,0$
$0^\circ < \phi < 10^\circ$	$S_c = 1 + 0,2 \cdot K_p \cdot \frac{B}{L}$	$d_c = 1 + 0,2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B}$	$i_c = i_q = (1 - \frac{\alpha}{90^\circ})^2$
$\phi \geq 10^\circ$	$S_c = S_\gamma = 1 + 0,2 \cdot K_p \cdot \frac{B}{L}$	$D_q = D_\gamma = 1 + 0,2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B}$	$i_\gamma = (1 - \frac{\alpha}{\phi})^2$

Dimana nilai koefisien pasif tanah (K_p) adalah :

$$K_p = \tan^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots(3.7.14)$$

Kontrol tegangan ijin yang terjadi :

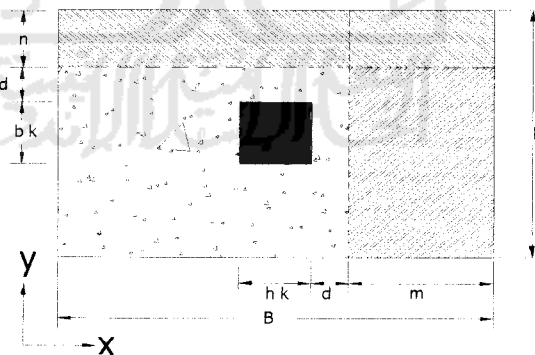
$$q_u \leq q_{all} \text{ Meyerhorf} \dots\dots\dots(3.7.15)$$

3.7.2 Perencanaan Geser Pondasi

3.7.2.1 Geser satu (1) arah

Tebal pelat (h) diasumsikan terlebih dahulu, sehingga nilai d dapat dicari :

$$d = h - \text{Penutup beton(Pb)} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tulangan} \dots\dots\dots(3.7.16)$$



Gambar 3.5 Daerah Geser Satu (1) Arah pada Penampang Pondasi

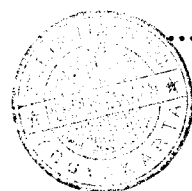
Gaya geser akibat beban luar (V_u) yang bekerja pada penampang kritis :

$$V_u = m \cdot L \cdot q_u \longrightarrow \text{pada arah - x} \dots\dots(3.7.17)$$

dimana : $m = \frac{B - h_k - 2 \cdot d}{2} \dots\dots\dots(3.7.18)$

$$V_u = n \cdot B \cdot q_u \longrightarrow \text{pada arah - y} \dots\dots(3.7.19)$$

dimana : $n = \frac{L - b_k - 2 \cdot d}{2} \dots\dots\dots(3.7.20)$



Kekuatan beton menahan gaya geser (V_c) :

▪ Arah – x : $V_{c_x} = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot L \cdot d \geq \frac{V_{u_x}}{\phi}$ (3.7.21)

▪ Arah – y : $V_{c_y} = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot P \cdot d \geq \frac{V_{u_y}}{\phi}$ (3.7.22)

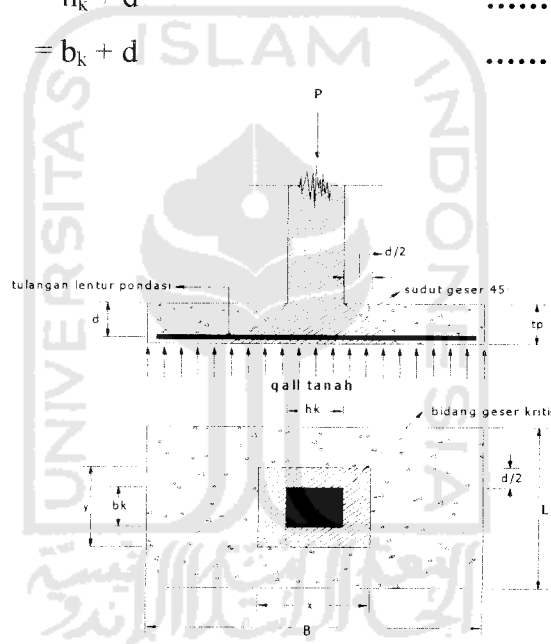
3.7.2.2 Geser dua (2) arah/ Pons

Gaya geser akibat beban luar yang bekerja pada penampang kritis :

$V_u = q_u \cdot ((P.L) - (x.y))$ (3.7.23)

$x = h_k + d$ (3.7.24)

$y = b_k + d$ (3.7.25)



Gambar 3.6 Gaya Geser Dua (2) Arah pada Penampang Pondasi

Kekuatan beton menahan gaya geser (V_c), diambil nilai terbesar diantara :

$V_c = 4 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot D$ (3.7.26)

atau $V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot (2\sqrt{f'c}) \cdot b_o \cdot D$ (3.7.27)

$b_o = 2 \cdot (x + y) = 2 \cdot ((h_k + d) + (b_k + d))$ (3.7.28)

$\beta_c = \frac{\text{sisi panjang tapak}}{\text{sisi pendek tapak}} \geq 1,0$

dimana : b_o = keliling penampang kritis (mm^2)

β_c = rasio sisi panjang dengan sisi pendek

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2.Rn.m}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(3.7.35)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(3.7.36)$$

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

Luas tulangan perlu : $A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(3.7.37)$

Luas tulangan susut : $A_{s_{tul. Susut}} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(3.7.38)$

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

$$s \leq \frac{A_{\emptyset 1} \cdot 1000}{A_{s_{perlu}}} \dots\dots\dots(3.7.39)$$

Sehingga nilai $A_{s_{ada}}$ dapat dihitung : $A_{s_{ada}} = \frac{A_{\emptyset 1} \cdot 1000}{s} \dots\dots\dots(3.7.40)$

Kontrol kapasitas lentur yang terjadi :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(3.7.41)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \geq \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.7.42)$$

B. Pondasi sumuran

Dalam perencanaan pondasi terlebih dahulu diketahui data – data dari hasil sondir tanah, yaitu :

- 1. Daya dukung tanah (q_c)
- 2. Kedalaman tanah keras

Setelah diketahui data diatas maka dapat di tentukan pondasi yang akan digunakan pada bangunan tersebut.

Langkah – langkah perhitungan pondasi sumuran :

1. Menentukan beban pondasi sumuran

$$P_{pondasi\ sumuran} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \gamma \dots\dots\dots(3.7.43)$$

$$P_{total} = P + P_{pondasi\ sumuran} \dots\dots\dots(3.7.44)$$

2. Menentukan daya dukung tanah netto :

$$q = h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 \dots\dots\dots (3.7.45)$$

$$\sigma_{\text{netto}} = \sigma_{\text{ijin dibawah sumuran}} - q \dots\dots\dots (3.7.46)$$

3. Menentukan dimensi pondasi sumuran

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P_{\text{total}}}{\sigma_{\text{netto}}} \dots\dots\dots (3.7.47)$$

$$D = \sqrt{\frac{A_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \cdot \pi}} \dots\dots\dots (3.7.48)$$

3.8 Perencanaan Tangga

3.8.1. Perencanaan Dimensi Tangga

Langkah-langkah perencanaan tangga adalah sebagai berikut :

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 ≥ 1,20 meter.
- Sandaran tangga dapat ditentukan bahannya, tebal, dan tinggi jadinya.
- Tinggi *optrede* ideal ≤ 20 cm (15 – 18 cm), misal diambil nilai perkiraan awal tinggi *optrede* (h_o) = 18 cm, maka jumlah *optrede* (buah) :

$$\text{Jumlah } optrede = \frac{h}{h_o} \text{ (dibulatkan keatas)} \dots\dots\dots(3.8.1)$$

$$\text{sehingga tinggi } optrede \text{ sebenarnya : } h'_o = \frac{h}{\text{jumlah } optrede} \dots\dots\dots (3.8.2)$$

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

$$\text{Jumlah } antrede = \text{Jumlah } optrede - 2 \dots\dots\dots(3.8.3)$$

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

$$P_t = (L_a \times \text{Jumlah } tangga/2) + L_b \leq 4,50 \text{ meter} \dots\dots\dots (3.8.4)$$

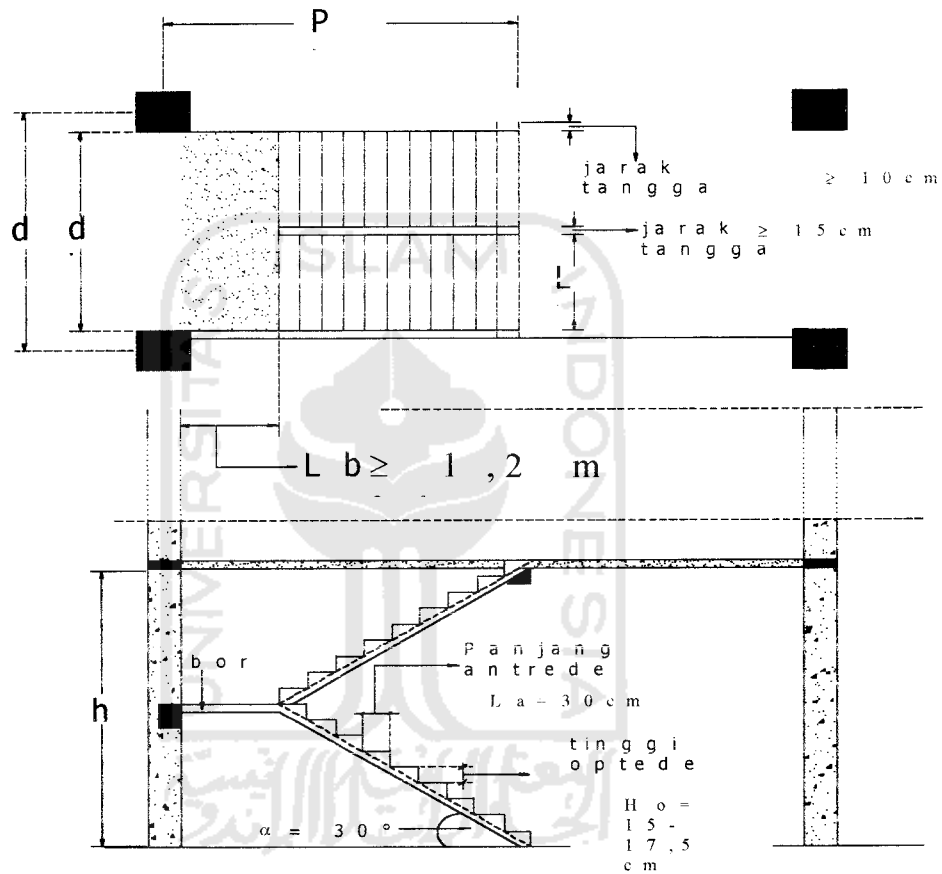
2. Menentukan tebal pelat tangga (h₁) dan lebar tangga (L_t)

Untuk panjang bentang tangga ± 4,50 meter.

- Diambil nilai tebal pelat (h) : 15 cm
- Sudut kemiringan ideal tangga antara 30° - 35° misal diambil sudut perkiraan awal (α) = 30°, maka tebal pelat sisi miring (h') :

$$h' = \frac{h}{\cos.\alpha} \dots\dots\dots (3.8.5)$$

Sehingga sudut tangga sebenarnya (α') : $\alpha' = \frac{h'}{L_a} \dots\dots\dots (3.8.6)$



Gambar 3.8 Dimensi Tangga

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

$$d' = d - 2.(1/2. lebar balok induk) \dots\dots\dots (3.8.7)$$

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

$$L_1 = 1/2. (d' - (3 \times 0,1)) \geq 1,20 \text{ meter} \dots\dots\dots (3.8.8)$$

3.8.2 Perencanaan Tulangan Tangga

Perencanaan tulangan pada tangga sama dengan perhitungan pada pelat lantai.