

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Atap

Untuk perencanaan atap pada perencanaan Ramp COT Dr Sardjito Yogyakarta ini menggunakan metode perencanaan tegangan kerja (*working stress design*) dari AISC. Pada metode ini, elemen struktural harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tegangan yang dihitung akibat beban kerja tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan. Tegangan ijin ini ditentukan untuk mendapatkan faktor keamanan terhadap tercapainya tegangan batas. Tegangan yang dihitung harus berada dalam keadaan elastis yaitu tegangan sebanding dengan regangan, (*Salmon dan Johnson, 1986*). Perencanaan ini meliputi:

3.1.1 Perencanaan gording

Dalam perencanaan gording harus memenuhi syarat-syarat antara lain:

- **Tegangan**

$$\frac{f_{bx}}{0,66F_y} + \frac{f_{by}}{0,66F_y} \leq 1,0 \dots\dots\dots(3.1)$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\perp \max}}{S_x} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$f_{by} = \frac{M_{// \max}}{S_y} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana:

f_{bx} = tegangan lentur arah sumbu x (ksi)

f_{by} = tegangan lentur arah sumbu y (ksi)

F_y = tegangan leleh baja (ksi)

S_x = modulus elastisitas tampang arah sumbu x (in^3)

S_y = modulus elastisitas tampang arah sumbu y (in^3)

M_{\perp} = modulus tegak lurus sumbu batang (k in)

$M_{//}$ = modulus sejajar sumbu batang (k in)

- **Lendutan**

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

$$\delta_{//} = \frac{5 q_{//} \left(\frac{L}{a+1} \right)^4}{384 E I_y} \leq \frac{L}{360} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_{\perp}^2 + \delta_{//}^2} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana:

δ = resultan lendutan (mm)

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

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

E = modulus elastisitas baja (200000MPa)

I_x = inersia arah sumbu x (mm^4)

I_y = inersia arah sumbu y (mm^4)

3.1.2 Perencanaan Sagrod

Perencanaan sagrod ini bertujuan untuk menentukan diameter kabel yang akan dipakai $P = 0.33.F_u.A_{sagrod} \dots\dots\dots(3.7)$

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

$$P// = P \cdot \sin \alpha \cdot S_s \dots \dots \dots (3.8)$$

Sehingga luas tampang sagrod :

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

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

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

Dimana:

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

3.1.3 Perencanaan Tierod

Gaya batang:

$$T = P// \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots (3.12)$$

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

Sehingga :

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

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

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

Dimana:

T = tegangan yang bekerja (kips)

F_u = kuat tarik baja (ksi)

D = diameter baja (in)

A = luas penampang baja (in²)

3.1.4 Perencanaan Batang Tarik

Perencanaan batang tarik merupakan salah satu masalah teknik yang paling sederhana dan bersifat langsung. Karena stabilitas bukan merupakan hal yang utama, perencanaan batang tarik pada hakekatnya menentukan luas penampang lintang batang yang cukup untuk menahan beban yang bekerja dengan faktor keamanan yang memadai terhadap keruntuhan.

Untuk batang yang berlubang akibat paku keling atau baut, atau untuk batang berulir, luas penampang lintang yang direduksir (yang disebut luas netto) digunakan dalam perhitungan. Lubang atau ulir pada batang menimbulkan konsentrasi tegangan yang tidak merata, misalnya lubang pada pelat akan menaikkan distribusi tegangan pada beban kerja. Teori elastisitas menunjukkan bahwa tegangan tarik didekat lubang akan sekitar tiga kali tegangan tarik pada luass netto. Namun ketika setiap serat mencapai tegangan leleh (F_y) tegangannya menjadi konstan, tetapi deformasi berlanjut terus bila beban meningkat hingga

akhirnya semua serat mencapai atau melampaui regangan leleh (*Salmon dan Johnson, 1996*).

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 adalah sebagai berikut:

Untuk elemen/batang utama	$\lambda = L/r \leq 240$
Untuk elemen/batang sekunder/ <i>bracing</i>	$\lambda = L/r \leq 300$

Sehingga untuk batang utama diperoleh:

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

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

$$A_{g1\text{perlu}} = \frac{T}{0,6.F_y} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$A_{g2\text{perlu}} = \frac{T}{0,5.F_u.\mu} + A_{\text{lubang}} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$A_{\text{lubang}} = \left(\frac{l''}{8} + obaut \right) .tp.n \dots\dots\dots(3.20)$$

dipakai profil yang luasnya (A) lebih besar dari nilai $A_{g\text{perlu}}$ terpakai.

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{brutto}} - A_{\text{lubang}} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$A_{\text{effektif}} = A_{\text{netto}} .\mu \dots\dots\dots(3.22)$$

Dimana:

L = panjang batang (in)

T = gaya tarik (kips)

r = jari-jari inersia terkecil profil (in)

A_{netto} = luas bersih penampang (in^2)

A_g = luas kotor penampang (in^2)

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 $\mu = 0,9$
 - Minimum 3 ikatan perbaris tekanan yang tidak sama dengan kriteria diatas $\mu = 0,85$
 - 2 ikatan pergaris tekanan $\mu = 0,75$
- (tabel AISC 1.14.2.2 dan 1.14.2.3)

3. Kontrol kelangsingan

$$\lambda_{pda} = \frac{k.L}{r_{pda}} \leq 240 \dots\dots\dots(3.23)$$

Dimana: kL/r = angka kelangsingan elemen tarik.

4. Kontrol tegangan tarik yang terjadi

Tampang tanpa lubang: $f_a = \frac{T}{A_{profil}} \leq 0,6.F_y \dots\dots\dots(3.24)$

Tampang ada lubang: $f_a = \frac{T}{A_{effektif}} \leq 0,5.F_u \dots\dots\dots(3.25)$

Dimana: f_a = tegangan tarik yang terjadi (ksi).

3.1.5 Perencanaan Batang Desak

Batang desak merupakan elemen struktur suatu bangunan yang memikul gaya tekan aksial. Tetapi pada hakekatnya jarang sekali batang mengalami tekanan aksial saja kecuali pada struktur rangka atap baja. Namun bila pembebanan ditata sedemikian rupa sehingga pengekangan rotasi ujung dapat diabaikan atau beban dari batang-batang yang bertemu diujung batang bersifat simetris dan pengaruh lentur sangat kecil dibandingkan tekanan langsung, maka batang tekan dapat direncanakan dengan aman. Keruntuhan batang desak dapat diklasifikasikan:

1. Keruntuhan akibat tegangan leleh bahan terlampaui, yang terjadi pada batang tekan pendek.
2. Keruntuhan akibat tekuk, yang terjadi pada batang tekan langsing.

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 kelangsingan dan tekuk

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

$$\frac{b_f}{t_w} \leq \frac{76}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{ksi}) \dots\dots\dots(3.26)$$

dan kontrol kelangsingan

$$\frac{kL}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \frac{755}{\sqrt{F_y}} \text{ (Fy dalam ksi)} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$\leq C_c = \frac{6400}{\sqrt{F_y}} \text{ (Fy dalam Kg/cm}^2\text{)} \dots \dots \dots (3.28)$$

$$\leq C_c = \frac{1987}{\sqrt{F_y}} \text{ (Fy dalam Mpa)} \dots \dots \dots (3.29)$$

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{kL/r}{C_c} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(kL/r)^3}{C_c^3} \dots \dots \dots (3.30)$$

$$F_a = \frac{F_y}{F_s} \left(1 - 0,5 \left(\frac{kL/r}{C_c} \right)^2 \right) \dots \dots \dots (3.31)$$

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

$$F_a = \frac{12}{23} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{(kL/r)^2} \dots \dots \dots (3.32)$$

Dimana:

F_a – tegangan ijin pada luas bruto dalam kondisi beban

kerja (ksi)

kL/r = angka kelangsingan elemen desak

F_s = faktor keamanan

3. Kontrol beban

Sehingga setelah nilai F_a didapat dengan ketentuan-ketentuan diatas, maka diadakan kontrol terhadap beban yang terjadi dengan beban ijin.

$$T = F_a \cdot A \geq P_{batang} \dots \dots \dots (3.33)$$

Dimana:

T = beban ijin (kips)

P = beban yang terjadi (kips)

3.1.6 Perencanaan Sambungan

Menurut AISC-2.1 tentang perencanaan tegangan kerja (*working stress*) dan AISC-2.1 tentang perencanaan plastis, konstruksi baja dibedakan atas tiga kategori sesuai dengan jenis sambungan yang dipakai, antara lain:

1. *Sambungan portal kaku*, yang memiliki kontinuitas penuh sehingga sudut pertemuan antara batang-batang tidak berubah, yaitu pengekangan (*restrain*) rotasi sekitar 90% atau lebih dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut.
2. *Sambungan kerangka sederhana (simple framing)*, dimana pengekangan rotasinya di ujung-ujung batang dibuat sekecil mungkin. Suatu kerangka dapat dianggap sederhana jika sudut semula antara batang-batang yang berpotongan dapat berubah sampai 80% dari besarnya perubahan teoritis yang diperoleh dengan menggunakan sambungan sendi tanpa gesekan (*frictionless*).
3. Sambungan kerangka semi-kaku, yaitu pengekangan rotasinya berkisar antara 20 dan 90 persen dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut. Alternatifnya kita dapat menganggap momen yang disalurkan pada sambungan kerangka semi kaku tidak sama dengan nol (atau kecil sekali) seperti pada sambungan kerangka sederhana,

dan juga tidak memberikan kontinuitas momen penuh seperti anggapan yang dipakai pada analisis elastis portal kaku.

Menghitung Kekuatan 1 Baut

$$P_{\text{tumpuan}} = t_p \cdot D_{\text{baut}} \cdot 1,2 \cdot f_{u,\text{plat}} \cdot n \dots \dots \dots (3.35)$$

$$D_{\text{baut}} = \frac{P_{\text{tumpuan}}}{1,2 \cdot f_u \cdot N \cdot t_p} \dots \dots \dots (3.36)$$

$$D_{\text{geser}} = A_{\text{baut}} \cdot F_v \cdot 2N = \frac{1}{4} \pi \cdot D_{\text{baut}}^2 \cdot F_v \cdot 2N \dots \dots \dots (3.37)$$

$$D_{\text{baut}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{geser}}}{2 \cdot \pi \cdot F_v \cdot N}} \dots \dots \dots (3.38)$$

$$F_v = 0,22 \cdot f_{u \text{ baut}}, \text{ untuk baut } \textit{Non Full Drat}$$

$$F_v = 0,17 \cdot f_{u \text{ baut}}, \text{ untuk baut } \textit{Full Drat}$$

Menghitung Jumlah Baut

$$N = \frac{P_{\text{ba tan g}}}{P_{t \text{ baut}}} \dots \dots \dots (3.39)$$

3.2 Perencanaan Pelat Dua Arah

1. Menentukan tebal minimum pelat (h)

- Tegangan leleh baja (f_y) : dalam satuan Mpa
- Kuat desak beton rencana (f'_c) : dalam satuan Mpa

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

$$h \geq \frac{L_n \cdot (0,8 + f_y / 1500)}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,12(1 + 1/\beta))} \dots\dots\dots(3.40)$$

tetapi tidak boleh kurang dari:

$$h \geq \frac{\ln \cdot (0,8 + f_y / 1500)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(3.41)$$

dan tidak perlu lebih dari:

$$h \leq \frac{\ln \cdot (0,8 + f_y / 1500)}{36} \dots\dots\dots(3.42)$$

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

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

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 pelat dua arah untuk beban gravitasi dilakukan dengan menggunakan metode koefisien momen. Besar momen lentur dalam arah bentang panjang:

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{tx} \dots \dots \dots (3.43)$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{lx} \dots \dots \dots (3.44)$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{ty} \dots \dots \dots (3.45)$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot c_{ly} \dots \dots \dots (3.46)$$

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 13.3.2 PBBI 1971.

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (3.47)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots \dots \dots (3.48)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (3.49)$$

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.

$$d_x = h - \rho_b - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tulx} \dots \dots \dots (3.50)$$

$$d_y = h - \rho_b - \phi_{tulx} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tuly} \dots \dots \dots (3.51)$$

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

4. Menentukan luas tulangan (A_s) arah x dan y

$$R_n = \frac{M_u / \Phi}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (3.52)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \dots \dots \dots (3.53)$$

$$\rho_{ada} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (3.54)$$

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

Setelah didapatkan nilai ρ_{perlu} , maka:

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \geq A_{Stul \text{ bagi/susut}} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots \dots \dots (3.55)$$

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

Jarak antar tulangan:

$$s \leq \frac{A_s \cdot b}{A_{sperlu}} \dots \dots \dots (3.56)$$

$$s \leq 2h \dots \dots \dots (3.57)$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \dots \dots \dots (3.58)$$

Diambil nilai jarak antar tulangan (s) yang terkecil, sehingga didapatkan nilai A_{sada} .

$$A_{s_{ada}} \leq \frac{A_{10} \cdot b}{s} \dots \dots \dots (3.59)$$

5. Kontrol Kapasitas lentur pelat yang terjadi

$$a \leq \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots \dots \dots (3.60)$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d - a/2) \geq M_u / \Phi \dots \dots \dots (3.61)$$

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

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot (d - a/2) \geq 1,33 \cdot M_u / \Phi \dots \dots \dots (3.62)$$

3.3 Perencanaan Balok

Pada perencanaan ini digunakan metode kekuatan batas (*ultimit*) dimana beban kerja dikalikan faktor beban yang disebut beban terfaktor. Dari beban terfaktor ini, dimensi struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga didapat kuat penampang yang pada saat runtuk besarnya kira-kira lebih kecil sedikit dari kuat batas runtuh sesungguhnya. Kekuatan pada saat runtuh disebut kuat batas (*ultimit*) dan beban yang bekerja saat runtuh disebut beban *ultimit*. Kuat rencana penampang didapat dari perkalian kuat nominal/teoritis dengan faktor kapasitas.

Langkah-langkah perencanaan elemen balok adalah sebagai berikut:

1. Menentukan mutu beton dan baja tulangan

- Tegangan leleh baja (f_y)
- Kuat desak rencana beton ($f'c$)

Dari kuat desak rencana beton didapatkan nilai faktor blok tegangan beton (β_1), yaitu: (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 butir 7.3)

$f'c \leq 30$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85$

$f'c > 30$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) \geq 0,65$(3.63)

2. Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

Dalam menentukan nilai ρ , beton dalam keadaan regangan seimbang, yaitu pada saat regangan beton mencapai maksimum $\epsilon'_{cu} = 0,003$ bersamaan dengan regangan baja mencapai leleh $\epsilon_s = \epsilon_y = f_y/E_s$.

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(3.64)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots(3.65)$$

dalam perencanaan dipakai ρ : $\rho_{pakai} = 0,5 \cdot \rho_{maks} > \rho_{min}$ (3.66)

Dimana:

ρ_b = rasio tulangan terhadap luas beton efektif dalam kolom 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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots(3.67)$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m) \dots\dots\dots(3.68)$$

$$b \cdot d^2 = \frac{M_u}{R_n} \dots\dots\dots(3.69)$$

Karenan nilai $\frac{Mu/\theta}{Rn}$ diketahui, maka d_{perlu} dan b penampang beton dapat dicari dengan cara coba-coba (*trial and error*). Untuk mendapatkan nilai d_{perlu} dan b penampang beton yang proposional digunakan pebandingan $b/d_{perlu} = 1,2-3,0$.

Pada beton tulangan sebelah digunakan nilai d_1 :

- $d_1 = 50-70$ mm untuk tulangan tarik 1 lapis
- $d_1 = 71-100$ mm untuk tulangan tarik 2 lapis

Dimana :

M = perbandingan isi dari tulangan memanjang dari bentuk yang tertutup

Rn = koefisien tahanan untuk perencanaan baut

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

d_o = tebal selimut beton, diukur dari serat bawah ke pusat tulangan tarik (mm)

Mu = momen lentur ultimit akibat beban luar (Nmm)

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

h = tinggi total penampang beton (mm)

Setelah nilai d_{perlu} didapat, maka:

$$h = d_{ada} + d_{perlu} \dots \dots \dots (3.70)$$

Nilai d_c seperti diatas, tergantung dari banyaknya tulangan tarik yang digunakan.

Jika nilai $d_{ada} \geq d_{perlu}$ maka digunakan tulangan sebelah

Jika nilai $d_{ada} \leq d_{perlu}$ maka digunakan tulangan rangkap.

3.3.1 Perencanaan Balok Penampang Persegi Menahan Lentur Tulangan

Sebelah

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

Langkah-langkah perencanaan tulangan sebelah:

1. Menentukan ρ_{ada} dan Rn_{ada}

$$Rn_{ada} = \frac{Mu / \phi}{b \cdot d_{ada}^2} \dots \dots \dots (3.71)$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \cdot \rho > \rho_{min} \dots \dots \dots (3.72)$$

2. Menentukan luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho_{ada} \cdot b \cdot d_{ada} \dots \dots \dots (3.73)$$

$$n = \frac{A_s}{A_{1\phi}} ; n \text{ bilangan bulat dan } \geq 2 \text{ batang} \dots \dots \dots (3.74)$$

$$A_{sada} = n \cdot A_{1\phi} > A_s \dots \dots \dots (3.75)$$

Dimana:

A_s = luas tulangan tarik longitudinal (mm^2)

n = jumlah tulangan yang dipakai (buah)

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

$A_{1\phi}$ = luas tampang 1 buah tulangan (mm^2)

ρ_{ada} = rasio tulangan berdasarkan tampang beton

Rn_{ada} = koefisien tahanan untuk perencanaan kuat

3. Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3.76)$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot (d - \frac{a}{2}) > Mu/\phi \dots\dots\dots (3.77)$$

Dimana:

a = tinggi blok tegangan persegi ekivalen (mm)

Mn = kapasitas lentur nominal yang terjadi (Nmm)

3.3.2 Perencanaan Balok Tampang Persegi Menahan Lentur Tulangan

Rangkap

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

Langkah-langkah perencanaan balok tulangan rangkap:

1. Menentukan As_1 dan Mn_1

$$As_1 = \rho_1 \cdot b \cdot d_{diketahui} \dots\dots\dots (3.78)$$

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

$$a = \frac{As_1 \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (3.79)$$

$$Mn_1 = As_1 \cdot fy \cdot (d_{diketahui} - \frac{a}{2}) < Mu/\phi \dots\dots\dots (3.80)$$

2. Menentukan Mn_2

$$Mu/\phi \leq Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\Phi} - Mn_1 \dots \dots \dots (3.81)$$

Dimana:

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

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

3. Menentukan $As' = As_2$ dan As

Tegangan baja desak:

$$fs' = 600 \left(1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{(\rho - \rho') \cdot fy} \cdot \frac{d'}{d_{diketahui}} \right) \dots \dots \dots (3.82)$$

jika $fs' \leq fy$, maka baja desak sudah leleh, sehingga dipakai $fs' = fy$

jika $fs' > fy$, maka baja desak belum leleh, sehingga dipakai $fs' = fs'$

$$As' = \frac{Mn_2}{fs' \cdot (d_{diketahui} - d')} \dots \dots \dots (3.83)$$

$$n = \frac{As'}{A_1}; n \text{ bilangan bulat dan } n \geq 2 \text{ batang}$$

$$As = As_1 + As'; As' = As_2 \dots \dots \dots (3.84)$$

$$n \geq \frac{As}{A_{1\emptyset}}; n \text{ bilangan bulat dan } n \geq 2 \text{ batang}$$

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)

A_s' = 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

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d_{\text{diketahui}}} \dots \dots \dots (3.85)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d_{\text{diketahui}}} \dots \dots \dots (3.86)$$

tegangan baja desak

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_{s'}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots \dots \dots (3.87)$$

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

$$= (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_{s'}) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + (A_s' \cdot f_{s'}) \cdot (d - d') \dots \dots \dots (3.88)$$

3.3.3 Perencanaan Geser Balok

Langkah-langkah perencanaan tulangan geser pada balok:

1. Menentukan tegangan geser beton (V_c)

Tegangan geser beton biasa dinyatakan dengan fungsi dari $\sqrt{f'_c}$ (dalam satuan Mpa) dan kapasitas beton dalam menerima geser menurut SK SNI T-15-1991-03 adalah sebagai berikut:

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b \cdot d \text{ (Newton)} \dots \dots \dots (3.89)$$

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

$$s_{\min} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \text{ (Newton)} \dots \dots \dots (3.90)$$

2. Menentukan jarak sengkang

Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, adalah sebagai berikut:

- Bila $V_u \leq 0,5 \cdot \Phi V_c$ (3.91)

Geser tidak diperhitungkan .

- Bila $0,5 \cdot V_c \leq \frac{V_u}{\Phi} \leq V_c$ (3.92)

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

Tulangan geser dengan jarak:

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s_{\min}}} \dots \dots \dots (3.93)$$

$$\leq \frac{d}{2} \dots \dots \dots (3.94)$$

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

- Bila $V_c < \frac{V_u}{\Phi} \leq (V_c + V_{s_{\min}})$ (3.95)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang:

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

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

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

- Bila $(V_c + V_{s_{min}}) < \frac{V_u}{\Phi} \leq 3.V_c \dots \dots \dots (3.96)$

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{(V_u / \Phi - V_c)} \dots \dots \dots (3.97)$$

$$\leq d/2$$

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

- Bila $3.V_c < \frac{V_u}{\Phi} \leq 5.V_c \dots \dots \dots (3.98)$

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{(V_u / \Phi - V_c)} \dots \dots \dots (3.97)$$

$$\leq d/4$$

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

- Bila $\frac{V_u}{\Phi} > 5.V_c \dots \dots \dots (3.99)$

Maka ukuran balok diperbesar.

Dimana:

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

V_c = tegangan ijin geser beton (Mpa)

V_u = gaya geser berfaktor akibat beban luar (N)

Φ = faktor reduksi kekuatan, sebesar 0,60

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 trefaktor:

$$T_u \geq \Phi \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots \dots \dots (3.100)$$

- Untuk struktur statis tak tentu torsi komabilitas

Pengaruh torsi diperhitungkan apabila momen torsi trefaktor:

$$T_u \geq \Phi \left(\frac{1}{9} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots \dots \dots (3.101)$$

2. Menentukan kuat momen torsi nominal (T_n)

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

$$T_n = T_c + T_s \dots \dots \dots (3.102)$$

- Bila puntir murni:

$$T_c = \Phi \left(\frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right) \dots \dots \dots (3.103)$$

- Bila puntir murni + geser:

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \dots \dots \dots (3.105)$$

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\Sigma x^2 \cdot y} \dots \dots \dots (3.106)$$

$$V_c = \left(\frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \cdot \frac{T_u}{V_u})^2}} \right) \dots \dots \dots (3.106)$$

- Bila puntir murni + geser + gaya aksial:

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{15} \cdot \sqrt{f'c} \cdot \Sigma x^2 \cdot y \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right)^2}} \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g}) \dots \dots \dots (3.107)$$

$$V_c = \left(\frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \cdot \frac{T_u}{V_u})^2}} \right) \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g}) \dots \dots (3.108)$$

Jika $\frac{T_u}{\Phi} \leq T_c$ torsi diabaikan

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

$$\text{Untuk torsi keseimbangan: } T_s = \frac{T_u}{\Phi} - t_c \dots \dots \dots (3.109)$$

$$\text{Untuk torsi kompatibilitas: } T_s = \frac{1}{9} \cdot \sqrt{f'c} \Sigma x^2 \cdot y \cdot \frac{1}{3} - T_c (3.110)$$

Jika $\frac{T_u}{\Phi} > 4T_c$ tampang diperbesar.

3. Menghitung perbandingan luas tulangan torsi dan jarak sengkang

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y} \dots \dots \dots (3.111)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{3} \cdot \left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5 \dots \dots \dots (3.112)$$

4. Menentukan tulangan geser + torsi

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

$$V_s = V_u/\Phi - V_c \dots \dots \dots (3.113)$$

Perbandingan antara luas tulangan geser dan jarak

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} \dots \dots \dots (3.114)$$

Luas total sengkang (tulangan torsi + geser)

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 \cdot A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \geq \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \dots \dots \dots (3.115)$$

$$x_1 = x - 2 \cdot \text{penutup beton} - 2 \cdot x \cdot \frac{1}{2} \text{ diameter sengkang}$$

$$y_1 = y - 2 \cdot \text{penutup beton} - 2 \cdot x \cdot \frac{1}{2} \text{ diameter sengkang}$$

5. Menentukan tulangan torsi memanjang

$$A_{l1} = 2 \cdot A_t \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \text{ atau} \dots \dots \dots (3.116)$$

$$A_{l1} = \left(\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + V_u/3C_t} \right) - 2 \cdot 2t \right) \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \dots \dots \dots (3.117)$$

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

$$A_{l2} = \left(\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + V_u/3C_t} \right) - \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \right) \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \dots \dots \dots (3.118)$$

Dimana:

A_v = luas sengkang menahan geser (mm^2)

A_t = luas sengkang menahan torsi (mm^2)

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

6. Kriteria tulangan geser dan torsi

- Jarak tulangan sengkang: $s \leq \left(\frac{x_1 + y_1}{4} \right) \dots \dots \dots (3.119)$
 $\leq 300 \text{ mm}$
- Tulangan memanjang disebar merata ke semua sisi dengan jarak tulangan memanjang $\leq 300 \text{ mm}$
- \emptyset 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

Sebagai bagian dari kerangka bangunan, kolom menempati posisi penting. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total dari keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya kegagalan/keruntuhan kolom tidak diawali dengan suatu gejala, melainkan bersifat mendadak. Sehingga dalam perencanaan kolom harus diperhitungkan lebih cermat dengan memberi cadangan kekuatan lebih tinggi dari komponen struktur lainnya.

3.4.1 Langkah-langkah Perencanaan Kolom Terhadap Lentur

Perencanaan kolom pendek diawali dengan penentuan dimensi kolom secara lengkap.



Langkah-langkah perencanaan kolom pendek:

1. Menentukan propertis penampang kolom

- Tegangan leleh baja (f_y) dalam satuan Mpa
- Kuat desak beton rencana (f'_c) dalam satuan Mpa
- Panjang (h) dan lebar (b) kolom disesuaikan dengan bentuk konfigurasi struktur gedung.

2. Menghitung kapasitas kolom pendek

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots \dots \dots (3.120)$$

- Untuk sengkang biasa

$$\Phi P_{no} = 0,8 \cdot \Phi \cdot P_o = 0,8 \cdot \Phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \dots \dots \dots (3.121)$$

karena $P_u \leq \Phi \cdot P_n$, maka untuk kolom sehingga diperoleh

$A_{g\text{perlu}}$:

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,85 \cdot \Phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \dots \dots \dots (3.122)$$

- Untuk sengkang spiral

$$\Phi P_{no} = 0,8 \cdot \Phi \cdot P_o = 0,8 \cdot \Phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \dots \dots \dots (3.123)$$

karena $P_u \leq \Phi \cdot P_n$, maka untuk kolom sehingga diperoleh

$A_{g\text{perlu}}$:

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{P_u}{0,85 \cdot \Phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g)} \dots \dots \dots (3.124)$$

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

$$A_g = b \cdot h = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots \dots \dots (3.125)$$

$$A_{st} = n \cdot A_g = A_s + A_{s'} \dots \dots \dots (3.126)$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{A_{st}}{2} \dots \dots \dots (3.127)$$

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots \dots \dots (3.128)$$

$$P_{no} = 0,8 \cdot P_o \text{ untuk sengkang biasa} \dots \dots \dots (3.129)$$

$$P_{no} = 0,85 \cdot P_o \text{ untuk sengk spiral} \dots \dots \dots (3.130)$$

Dimana:

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

P_u = gaya desak aksial terfaktro 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

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \dots\dots\dots(3.131)$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \dots\dots\dots(3.132)$$

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

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b(x_b \cdot \beta_1) \dots\dots\dots(3.133)$$

$$C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \dots\dots\dots(3.134)$$

Dengan nilai f_s' sebagai berikut:

$$f_s' = \frac{x_b \cdot d'}{x_b} \cdot 600 \dots\dots\dots(3.135)$$

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

$< f_y \rightarrow f_s' = f_s'$

$$T_b = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(3.136)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} \dots\dots\dots(3.137)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_{sb} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_b \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(3.138)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \dots\dots\dots(3.139)$$

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:

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

$$a = \beta_1 \cdot x \dots \dots \dots (3.140)$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot 600 \dots \dots \dots (3.141)$$

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

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot (x_b \cdot \beta_1) \dots \dots \dots (3.142)$$

$$C_{sb} = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \dots \dots \dots (3.143)$$

$$T_b = A_s \cdot f_y \dots \dots \dots (3.144)$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_b \dots \dots \dots (3.145)$$

$$M_{nb} = C_{cb} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_{sb} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_b \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots \dots \dots (3.146)$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \dots \dots \dots (3.147)$$

dimana:

M_{nb} = Kapasitas lentur kolom dalam keadaan seimbang (Nmm)

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

e_b = eksentrisitas gaya kolom dalam keadaan seimbang (mm)

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

x_b = jarak serat terluar beton ke titik tinjau keadaan seimbang

x = jarak serat terluar ke titik tinjau (mm)

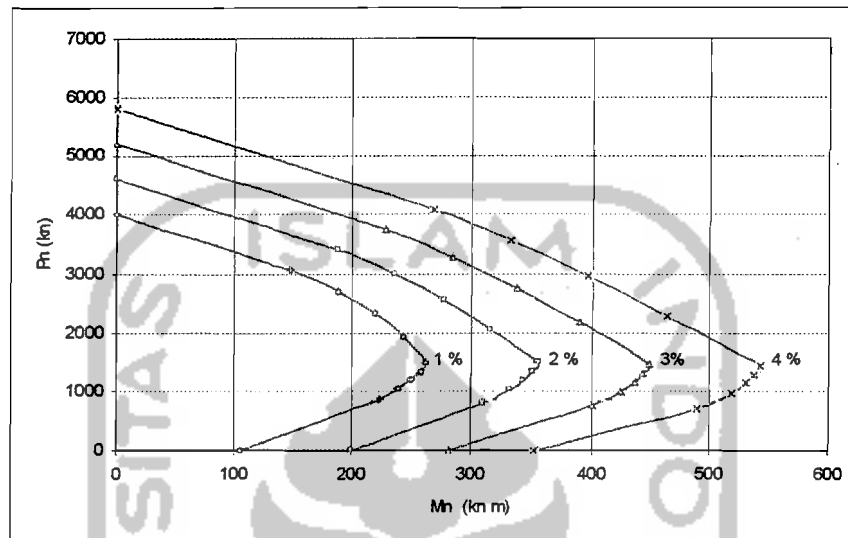
5. Pada saat $P_n = 0$; M_n dihitung dengan cara seperti balok bertulangan sebelah.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots \dots \dots (3.148)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (3.149)$$

6. Gambar diagram momen nominal (M_n) dan gaya desak aksial nominal (P_n) dengan $A_{st} = 1\%A_g$, $A_{st} = 2\%A_g$, $A_{st} = 3\%A_g$, $A_{st} = 4\%A_g$.

Gambar dibawah adalah diagram interaksi kolom, dimana kuat desak aksial diungkapkan sebagai ΦP_n pada sumbu tegak dan kuat momen diungkapkan sebagai $\Phi P_n \cdot e$ pada sumbu datar. Diagram ini hanya berlaku untuk kolom yang dianalisis saja, dan dapat memberikan gambaran tentang susunan pasangan kombinasi beban aksial dan kuat momen. Untuk titik-titik yang berada disebelah dalam diagram akan memberikan pasangan beban dan momen ijin, akan tetapi dengan menggunakannya perencanaan kolom, menjadi berlebihan (*overdesigned*). Dan titik-titik yang diluar diagram akan memberikan pasangan beban dan momen yang menghasilkan penulangan yang kurang (*underdesigned*).



Gambar 3.1 Diagram Momen Nominal-Kuat Desak Aksial Nominal (Mn-Pn)

3.4.2 Kolom Langsing

Suatu kolom digolongkan langsing apabila dimensi atau ukuran penampang lintangnya kecil dibandingkan dengan tinggi bebasnya (tinggi yang tidak ditopang).

Langkah-langkah perencanaan kolom langsing:

1. Menentukan tingkat kelangsingan kolom

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

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

$$= 0,25 \cdot D \text{ (untuk kolom tampang bulat)}$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif

l_u = panjang bersih kolom

r = radius girasi

I = inersia tampang

A = luas tampang

Nilai kolom 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, lainnya 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)

$$\Psi = \frac{\sum (EI)_1 \text{ kolom}}{\sum (EI)_1 \text{ balok}} \dots \dots \dots (3.150)$$

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

Batasan- batasan kolom disebut langsing:

$$\frac{kl}{r} \geq 34 - 12 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}}; \text{rangka dengan pengaku lateral}$$

$$\geq 22 ; \text{rangka/portal bergoyang}$$

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

2. Momen rencana

$$M_{rencana} = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{1b} \dots \dots \dots (3.152)$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\Phi P_c}} \geq 1,0 \dots \dots \dots (3.153)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \geq 0,4 \dots \dots \dots (3.154)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{\Phi P_c}} \dots \dots \dots (3.155)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(kl)^2} \text{ (rumus euler) } \dots \dots \dots (3.156)$$

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

$$EI = \frac{\frac{1}{5} (E_c \cdot I_g) + E_g \cdot I_{se}}{1 + \beta d} \dots \dots \dots (3.157)$$

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

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{2,5 \cdot (1 + \beta d)} \dots \dots \dots (3.158)$$

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

P_c = beban tekuk

E_c = modulus elastis beton

E_s = modulus elastis baja tulangan

I_g = momen inersia beton kotor (penulangan diabaikan)

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

$$\beta_d = \frac{\text{momen akibat beban mati rencana}}{\text{momen akibat beban total}} \dots\dots\dots(3.159)$$

3. Mencari Mn dan Pn

$$P_n = \frac{P_u}{\Phi} \dots\dots\dots(3.160)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} \dots\dots\dots(3.161)$$

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

3.5 Pembebanan Portal

3.5.1 Beban mati

Pembebanan mati yang bekerja pada balok lantai terdiri dari:

- **Berat balok sendiri**

Pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987 (PBI 1987) menentukan hal-hal sebagai berikut:

1. Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau di dalam menentukan beban mati dari suatu gedung harus diambil menurut tabel 2.1 PBI 1987 (pasal 2.1 ayat I PBI 1987).
2. Faktor reduksi beban mati diambil 0,9 sesuai dengan PBI 1987 pasal 2.2.

- **Komponen-komponen gedung lainnya**

Beban-beban mati komponen gedung di luar berat sendiri ditentukan dalam PBI 1987 tabel 2,13. Beban yang bekerja pada lantai dapat didistribusikan menurut metode amplop sebagai beban balok.

3.5.2 Beban hidup

Dalam perencanaan ini beban hidup yang bekerja pada portal hanya terdapat pada lantai gedung. Hal ini disebabkan karena perencanaan atap

menggunakan rangka baja. Pada PBI 1987 pasal 3.1 memuat ketentuan-ketentuan tentang beban hidup pada lantai.

- Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut Tabel 3.1. dalam beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruang yang bersangkutan, dan juga dinding-dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari 100 kg/m^2 . Gedung digunakan sebagai ruang kuliah dan kantor dengan beban hidup sebesar 250 kg/m^2 .
- Lantai-lantai gedung yang diharapkan akan dipakai untuk berbagai tujuan harus direncanakan terhadap beban hidup terberat yang mungkin terjadi.
- Faktor reduksi untuk beban hidup ditentukan oleh PBI 1987 Tabel 3.3.

3.5.3 Distribusi beban hidup dan mati pada lantai

Pendistribusian beban yang ditransferkan ke balok menggunakan metode amplop sesuai dengan denah bangunan sehingga diperoleh pembebanan yang berupa beban segitiga dan trapesium.



Gambar 3.2 Bentuk Distribusi Beban Pelat pada Balok

3.6 Perencanaan Pondasi

3.6.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pondasi

Dalam proyek ini digunakan pondasi *bored pile* yang dihitung berdasarkan parameter kekuatan tanah yang diperoleh dari data penyelidikan sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*) di lapangan. Adapun metode yang dapat dipakai dalam penghitungan kapasitas dukung tiang adalah sebagai berikut:

1. Metode Vesic (1967)

Vesic dan Hardiyatmo (2001), menyarankan tahanan ujung tiang persatuan luas (f_b) ekuivalen dengan tahanan kerucut (q_c), atau

$$f_b = q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(3.162)$$

$$Q_b = A_b \cdot f_b \text{ (ton)} \dots\dots\dots(3.163)$$

$$f_s = 2 \cdot q_f \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(3.164)$$

$$Q_s = A_s \cdot f_s \text{ (ton)} \dots\dots\dots(3.165)$$

$$Q_u = Q_b + Q_s \text{ (ton)} \dots\dots\dots(3.166)$$

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots\dots\dots(3.167)$$

Dimana: Q_b = tahanan ujung ultimit tiang

f_s = tahanan gesek pada kulit tiang

Q_s = tahanan gesek ultimit tiang

Q_u = kapasitas ultimit tiang

Q_a = kapasitas ijin tiang bor

2. Metode Meyerhof (1976)

$$q_b = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \text{ (ton)} \dots\dots\dots(3.168)$$

- **Gaya-gaya di dalam tiang**

Momen lentur dan gaya geser di dalam tiang akibat momen luar M_o dan beban horizontal H_o dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Momen} = H_o \cdot l \left[\left(\frac{E}{L} + \frac{X}{L} \right) - \left(4 \frac{E}{L} + 3 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^3 + \left(3 \frac{E}{L} + 2 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^4 \right] \quad (3.172)$$

$$\text{Gaya geser} = H_o \left[1 - 3 \left(4 \frac{E}{L} + 3 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^2 + 4 \left(3 \frac{E}{L} + 2 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^3 \right] \quad \dots (3.173)$$

Dimana:

M_o momen luar akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang atau sumuran dalam kgm/m^2 diameter tiang atau sumuran, bertanda positif bila menyebabkan simpangan dalam arah yang sama dengan arah kerja dari beban horizontal

H_o beban horizontal akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang atau sumuran dalam kg/m diameter tiang atau sumuran

L panjang penunjang tiang atau sumuran dalam m yang diukur ke bawah dari taraf yang terletak 30 cm dibawah ujung atas tiang atau sumuran

E perbandingan M_o/R_o

X kedalaman penampang tiang atau sumuran, dimana momen dan gaya geser dihitung, yang diukur dari permukaan tanah

3. Tiang pendek dengan ujung atas ditahan terhadap perputaran sudut

- **Menentukan tegangan tanah lateral izin**

Bila tidak ditentukan dari penyelidikan tanah, maka R ditentukan dari tabel diatas.

- **Menentukan panjang penunjang**

Panjang penunjang (L) yang diperlukan tiang atau sumuran untuk menyalurkan momen luar M_o dan beban horizontal H_o akibat beban kerja dari ujung atas tiang atau sumuran ke tanah sekelilingnya tanpa dilampauinya tegangan tanah lateral yang diizinkan, dapat ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$L = 1,68 \sqrt[3]{\frac{M_o}{R}}, \text{ untuk tiang atau sumuran bulat} \dots \dots \dots (3.174)$$

$$L = 1,44 \sqrt[3]{\frac{M_o}{R}}, \text{ untuk tiang persegi} \dots \dots \dots (3.175)$$

Apabila panjang tiang atau sumuran yang sesungguhnya lebih besar dari panjang penunjang yang diperlukan menurut perhitungan, maka tiang atau sumuran tersebut harus direncanakan sebagai tiang panjang.

- **Gaya-gaya dalam di dalam tiang atau sumuran**

Momen lentur dan gaya geser maksimum di dalam tiang atau sumuran terjadi pada ujung atas sebesar momen luar dan gaya horizontal yang menangkap di ujung atas itu. Momen lentur dan gaya geser sepanjang kedalaman tiang atau sumuran dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut:

$$\text{Momen} = H_o L \left[\left(\frac{E}{L} + \frac{X}{L} \right) - \left(4 \frac{E}{L} + 3 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^3 + \left(3 \frac{E}{L} + 2 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^4 \right]$$

$$\text{Gaya geser} = H_o \left[1 - 3 \left(4 \frac{E}{L} + 3 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^2 + 4 \left(3 \frac{E}{L} + 2 \right) \left(\frac{X}{L} \right)^3 \right]$$

Dimana:

$$\frac{E}{L} = -\frac{2}{3}$$

M_o momen luar akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang atau sumuran dalam kgm/m' diameter tiang atau sumuran, bertanda positif bila menyebabkan simpangan dalam arah ayng sama dengan arah kerja dari beban horizontal **H_o**

H_o beban horizontal akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang atau sumuran dalam kg/m diameter tiang atau sumuran

L panjang penunjang tiang atau sumuran dalam m yang diukur ke bawah dari taraf yang terletak 30 cm dibawah ujung atas tiang atau sumuran

- E perbandingan M_o/R_o
- X kedalaman penampang tiang atau sumuran, dimana momen dan gaya geser dihitung, yang diukur dari permukaan tanah

4. Tiang panjang

- **Sifat-sifat tanah**

Untuk keperluan perencanaan tiang atau sumuran, sifat-sifat tanah berikut harus ditentukan:

- a. Tanah kohesif

Untuk tanah kohesif harus ditentukan kekuatan kohesi (c_u), yang dapat ditentukan dari percobaan triaksial dengan kadar air tetap, percobaan geser langsung atau percobaan vane.

- b. Tanah butiran

Untuk tanah butiran harus ditentukan berat volume tanah (γ) (kg/m^3), sudut gesekan dalam (ϕ) dan koefisien tekanan pasif (K_p).

$$K_p = \text{tg}^2 (45^\circ + 0,5\phi) \dots \dots \dots (3.175)$$

- **Gaya-gaya dalam di dalam tiang atau sumuran pada tanah kohesif**

- a. Pastikan bahwa panjang tiang atau sumuran sesungguhnya melampaui panjang penunjang yang diperlukan. Apabila panjang penunjang lebih kecil dari panjang tiang

sesungguhnya, maka tiang atau sumuran harus direncanakan sebagai tiang atau sumuran pendek.

- b. Hitung besarnya kohesi rencana (c_r) yang diperlukan dengan mengalikan c_u dengan 0,5 (kg/m^2)

- c. Hitung besaran H_o , dimana:

H_o beban horizontal akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang (kg/m diameter tiang atau sumuran)

D adalah diameter tiang atau sumuran (m).

- d. Tentukan nilai $M_o/CR.D^2$, dimana

M_o momen luar akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang atau sumuran (kgm/m diameter tiang atau sumuran)

- e. Rencanakan penulangan tiang atau sumuran terhadap M_o dan P dengan cara perencanaan kekuatan batas.

- f. Hitung kedalaman dimana momen lentur adalah maksimum (L_1) dan kedalaman dimana momen lentur adalah nol (L_2)

menurut rumus berikut:

$$L_1 = f + 1,5D \dots \dots \dots (3.176)$$

$$L_2 = 2,2.L_1 \dots \dots \dots (3.177)$$

$$f = \frac{H_o}{9.c_r.D} \dots \dots \dots (3.178)$$

- g. Pada tiang-tiang beton bertulang harus diadakan tulangan melintang berupa tulangan spiral, atau sengkang-sengkang rapat.
- **Gaya-gaya dalam di dalam tiang atau sumuran pada tanah butiran**
 - a. Pastikan dahulu bahwa panjang tiang atau sumuran yang sesungguhnya melampaui panjang penunjang yang diperlukan. Apabila panjang penunjang tersebut lebih kecil dari pada panjang tiang atau sumuran yang sesungguhnya, maka tiang atau sumuran tersebut harus direncanakan sebagai tiang pendek.
 - b. Hitung besaran $H_o/K_p \cdot D^2 \cdot \gamma$, dimana
 H_o beban horizontal akibat beban kerja yang menangkap diatas tiang atau sumuran (kg/m diameter tiang atau sumuran),
 D diameter tiang atau sumuran (m), dan
 γ adalah berat volume tanah (kg/m^3).
 - c. Tentukan $M_o/K_p \cdot D^3 \cdot \gamma$, dimana:
 M_o momen luar akibat beban kerja yang menangkap di ujung atas tiang atau sumuran (kgm/m diameter tiang atau sumuran).
 - d. Rencanakan penulangan tiang atau sumuran terhadap M_o dan P dengan metode kekuatan batas.

- e. Hitung kedalaman dimana momen lentur adalah maksimum (L_1) dan kedalaman dimana momen lentur adalah nol (L_2) menurut rumus berikut:

Untuk ujung atas ditahan terhadap perputaran sudut

$$L_1 = 0,82 \cdot \sqrt{\frac{H_0}{\gamma \cdot D \cdot K_p}} \dots \dots \dots (3.179)$$

$$L_2 = 2,2 \cdot L_1 \dots \dots \dots (3.180)$$

Untuk ujung atas tidak ditahan terhadap perputaran sudut

$$L_1 = 0,22 \cdot \sqrt{\frac{H_0}{\gamma \cdot D \cdot K_p}} \dots \dots \dots (3.181)$$

$$L_2 = 2,2 \cdot L_1 \dots \dots \dots (3.182)$$

- f. Pada tiang-tiang beton bertulang harus diadakan tulangan melintang berupa tulangan spiral, atau sengkang-sengkang rapat.

