

BAB III

PERENCANAAN

3.1 Perencanaan Konstruksi

3.1.1 Dasar-dasar perencanaan

Dasar-dasar perencanaan gedung Administrasi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta ini adalah :

1. Tata cara perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan gedung (SK-SNI-T-15-1991-03).
2. Peraturan Pembebanan untuk Gedung 1987.
3. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI-1971).
4. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk Rumah dan Gedung, 1987.
5. Hasil penyelidikan tanah di lapangan.
6. Metode perencanaan baja AISC-ASD.
7. Peraturan lain yang berkaitan dengan perencanaan bangunan untuk gedung yang berlaku di Indonesia.

3.1.2 Perencanaan pembebanan

Agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekakuan dan layak pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari faktor beban. Menurut SK-SNI-T-15-1991-03 pasal 3.2 ayat 3.2.2 faktor beban ditentukan sebagai berikut :

$U = 1,2 D + 1,6 L$ dengan D = beban mati dan L = beban hidup dan bila terdapat perhitungan gempa maka faktor beban sebagai berikut :

$$U = 0,9 D \pm E$$

$U = 1,05(D + L_R \pm E)$ dengan E = beban gempa dan L_R = beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan ketentuan SNI 1726-1989-F tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung.

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

Kepastian kekuatan bahan terhadap pembebanan dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan (ϕ). Menurut SK-SNI-T-15-1991-03 ayat 3.2.3 faktor reduksi kekuatan ditentukan sebagai berikut :

- | | |
|---------------------------------------------------|---------------|
| 1. Lentur, tanpa beban aksial | $\phi = 0,80$ |
| 2. Aksial tarik, dan aksial tarik dengan lentur | $\phi = 0,80$ |
| 3. Aksial tekan, dan aksial tekan dengan lentur : | |
| - dengan tulangan sengkang spiral | $\phi = 0,70$ |
| - dengan tulangan sengkang ikat | $\phi = 0,65$ |
| 4. Geser dan torsi | $\phi = 0,60$ |
| 5. Tumpuan pada beton | $\phi = 0,70$ |

Faktor reduksi kekuatan di atas juga dipakai untuk mereduksi kekuatan beton dan baja berikut ini :

1. Untuk beton : f_c' (kuat tekan beton yang disyaratkan),
2. Untuk baja : f_y (tegangan leleh baja).

3.1.3 Data hitungan secara garis besar

Data keperluan perencanaan dan perhitungan gedung antara lain sebagai berikut:

1. Mutu beton $f_c' = 25$ Mpa
2. Mutu baja tulangan polos $f_y = 240$ Mpa dengan diameter tulangan 8-12 sedangkan tulangan ulir $f_y = 400$ Mpa dengan diameter lebih besar dari 12
3. Gaya gempa termasuk wilayah 3
4. Perhitungan mekanika dalam perencanaan gedung ini menggunakan program komputer SAP 2000
5. Kedalaman tanah

3.2 Kriteria Perencanaan

3.2.1 Perencanaan gedung tahan gempa

Perencanaan dan pelaksanaan penulangan struktur bangunan gedung bertingkat harus tahan terhadap gempa. Perencanaan beban gempa menurut Pedoman Ketahanan Gempa untuk Rumah Tinggal Gedung adalah :

1. Gaya geser horisontal total akibat gempa.

$$V_x = V_y = C \cdot I \cdot K \cdot W_t$$
2. Distribusi gaya geser horisontal total akibat gempa ke sepanjang tinggi gedung :

- a. arah x

$$H/A < 3$$

$$F_{ix} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} V_x$$

b. arah y

$$H/B < 3$$

$$F_{iy} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V_y$$

Bila $H/A > 3$, maka makin langsing bangunannya sehingga makin besar tegangan yang terjadi akibat beban guling gempa terutama pada kolom-kolom luar yang tertekan.

dimana :

$V_x = V_y =$ gaya geser dasar horisontal total akibat gempa untuk arah x dan y

$C =$ koefisien gempa dasar berdasar letak wilayah gempa (untuk Yogyakarta adalah wilayah gempa 3)

$I =$ faktor keutamaan

$K =$ faktor jenis struktur ($K = 1$, untuk gedung dengan daktilitas penuh)

$W_i =$ berat total bangunan

$F_i =$ gaya geser horizontal akibat gempa pada lantai ke-i

$H, h_i =$ tinggi lantai ke-i terhadap lantai dasar

$A, B =$ panjang sisi bangunan dalam arah x dan y

Langkah-langkah perencanaan struktur rangka beton bertulang dengan daktilitas penuh sebagai berikut :

1. Perencanaan balok portal terhadap beban lentur adalah sebagai berikut :

$$M_{U,b} = 1,2 M_{D,b} + 1,6 M_{L,b}$$

$$M_{U,b} = 1,05(M_{D,b} + M_{L,bR} + M_{L,b})$$

$$M_{U,b} = 0,9 M_{D,b} + M_{E,b}$$

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

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

dengan syarat apabila tulangan lentur balok portal telah direncanakan sehingga $(\rho - \rho')$ tidak melebihi $0,50 \rho b$.

$$M_{kap,b} = \phi_o \cdot M_{nak,b}$$

dimana :

$M_{U,b}$ = kuat lentur balok portal

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

$M_{L,b}$ = momen lentur balok akibat beban hidup

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

$M_{kap,b}$ = kapasitas lentur balok pada pusat pertemuan balok kolom

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

ϕ_o = faktor penambahan kekuatan sebesar 1,25 untuk $f_y < 400$

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

2. Perencanaan balok portal terhadap beban geser

$$V_{U,b} = 0,7 \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{l_n} + 1,05 V_g \text{ tetapi tidak perlu lebih besar dari}$$

$$V_{U,b} = 1,05 [V_{D,b} + V_{L,b} + 4V_{E,b}/K]$$

dimana :

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

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

n = bentang bersih balok

$V_{U,b}$ = kuat geser balok portal

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

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

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

3. Perencanaan kolom portal terhadap beban lentur dan aksial

$$\sum M_{U,k} = 0,7 \phi_d \sum M_{kap,b}$$

atau

$$\sum M_{U,k} = 0,7 \phi_d \alpha_k (M_{kap,ki} + M_{kap,ka})$$

Tetapi dalam segala hal tak perlu lebih besar dari

$$M_{U,k} = 1,05 [M_{D,k} + M_{L,k} + 4M_{E,k} / K]$$

Beban aksial rencana, $N_{U,k}$ yang bekerja pada kolom portal adalah sebagai

berikut :

$$N_{U,k} = \frac{0,7 R_v \sum M_{kap,b}}{l_b} + 1,05 N_{g,k}$$

Tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari

$$N_{U,k} = 1,05 [N_{g,k} + 4N_{E,k} / K]$$

dengan :

R_v = faktor reduksi yang ditentukan sebesar :

-1,0 untuk $1 < n \leq 4$

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

- 0,6 untuk $n > 20$

ω_d = faktor pembesar dinamis yang ditentukan sebesar :

- $\omega_d = 1,3$, kecuali pada lantai 1 dan lantai paling atas

- $\omega_d = 1$, karena pada lantai tersebut diperbolehkan terjadinya sendi plastis pada kolom

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

n = jumlah lantai di atas kolom yang ditinjau

l_b = bentang balok dari pusat ke pusat kolom

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

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

4. Perencanaan kolom portal terhadap beban geser

Untuk kolom lantai atas : $V_{U,k} = [M_{U,k \text{ atas}} + M_{U,k \text{ bawah}}]/h'_k$

Untuk kolom lantai dasar : $V_{U,k} = [M_{U,k \text{ atas}} + M_{U,k \text{ bawah}}]/h'_k$

Dan dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{U,k} = 1,05(M_{D,k} + M_{L,k} + 4V_{E,k}/K)$$

dengan :

h'_k = tinggi bersih kolom

5. Perencanaan panel pertemuan balok kolom

Panel pertemuan balok kolom portal harus diproporsikan untuk memenuhi persyaratan kuat geser horisontal perlu $V_{u,h}$ dan kuat geser vertikal perlu $V_{u,v}$.

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol}$$

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,70 \frac{M_{kap,ki}}{Z_{ka}}$$

$$C_{ka} = T_{ka} = 0,70 \frac{M_{kap,ka}}{Z_{ka}}$$

$$V_{kol} = \frac{0,70 \left(\frac{I_{ki}}{I_{ki'}} M_{kap,ki} + \frac{I_{ka}}{I_{ka'}} M_{kap,ka} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})}$$

Tegangan geser horisontal nominal dalam joint adalah

$$V_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} < 1,5 \sqrt{f_c'}$$

dengan :

b_j = lebar efektif joint (mm)

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

Tegangan geser horisontal ditahan oleh dua mekanisme kuat geser inti joint, yaitu V_{ch} dan V_{sh} . Besarnya V_{ch} harus diambil sama dengan nol kecuali bila:

- tegangan tekan rata-rata minimal pada penampang bruto kolom beton di atas joint, termasuk tegangan prategang, apabila ada, melebihi nilai $0,1 f_c'$, maka :

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

b. balok diberi gaya prategang yang melewati joint, maka :

$$V_{ch} = 0,7 P_{cr}$$

c. seluruh balok pada joint dirancang sehingga penampang kritis dari sendi plastis terletak pada jarak yang lebih kecil dari tinggi penampang balok diukur dari muka kolom maka :

$$V_{ch} = 0,5 \frac{A_s'}{A_s} V_{jh} \left(1 + \frac{N_{u,k}}{0,4 A_g \cdot f_c'}\right) \text{ dimana } \frac{A_s'}{A_s} < 1$$

Besarnya V_{sh} bila $\rho_c < 0,1 f_c'$ adalah :

$$V_{sh} = V_{jh} - \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g}\right)} - 0,1 f_c' \cdot b_{jh}$$

Pada joint rangka dengan melakukan relokasi sendi plastis

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

Luas total efektif dari tulangan geser horisontal yang melewati bidang kritis diagonal dengan yang diletakan di daerah tekan joint efektif b_j tidak boleh lebih dari :

$$A_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j}$$

Geser joint vertical V_{jv} dapat dihitung dari :

$$V_{jv} = V_{jh} \frac{h_c}{b_j}$$

Sedang tulangan joint geser vertikal didapat dari :

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv}$$

menjadi :

$$V_{cv} = A_{sc} \cdot \frac{V_{sh}}{V_{sc}} \left(0,6 + \frac{N_{u.k}}{Ag \cdot f_c'} \right)$$

dengan :

A_{sc} = luas tulangan longitudinal tekan

A_{sc} = luas tulangan longitudinal tarik luas tulangan joint vertikal

$$A_{jv} = \frac{V_{sv}}{f_y}$$

3.2.2 Perencanaan konstruksi

3.2.2.1 Perencanaan atap

Perencanaan atap pada gedung ini memakai konstruksi kuda-kuda baja. Ketentuan umum perencanaan kuda-kuda baja ini adalah menggunakan rumus-rumus AISC dengan metode ASD.

Langkah-langkah perencanaan konstruksi kuda-kuda baja sebagai berikut :

1. Perencanaan Gording

a. Pembebanan tetap (q)

$$q_{\perp} = q \cos \alpha$$

$$q_{//} = q \sin \alpha$$

b. Pembebanan angin

$$\text{angin tekan (wt)} = c_1 \cdot w \cdot d$$

$$\text{angin hisap (wh)} = c_2 \cdot w \cdot d$$

dengan :

$$c_1 = \text{koefisien angin tekan} = 0,02 \cdot \alpha \cdot -0,4$$

$$c_2 = \text{koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$w = \text{beban angin} = 25 \text{ kg/m}^2$$

d = jarak gording

c. Perhitungan momen

Akibat beban tetap :

$$M_{\text{maks}\perp} = 1/8 \cdot q_{\perp} \cdot L^2, \quad M_{\text{maks}\parallel} = 1/32 \cdot q_{\parallel} \cdot L^2$$

Akibat beban angin :

$$M_{\text{maks}} = 1/8 \cdot w \cdot h \cdot L^2$$

Momen terpakai :

$$M_{\text{maks}} = (M_{\text{maks}\perp} + M_{\text{maks angina}}) \cdot 0,8$$

d. Pemilihan dimensi gording

e. Kontrol tegangan

$$\frac{f_{bx}}{0,6 \cdot F_y} + \frac{f_{by}}{0,75 \cdot F_y} \leq 1, \text{ dengan :}$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\perp}}{S_x}, \quad f_{by} = \frac{M_{\parallel}}{S_y}$$

f. Kontrol lendutan

$$\delta_{\perp} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\perp} \cdot L^4}{E \cdot I_x} \leq \frac{L}{360}$$

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

a = jumlah sagrod dalam satu bentang

2. Perencanaan sagrod

Pembebanan sagrod (ρ) :

$\rho// = \rho \cdot \sin \alpha \cdot S_s$, dengan S_s = jarak sagrod

$$A_{\text{sagrod}} = \frac{\rho//}{0,33 \cdot Fu} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{sagrod}}^2 \quad , D = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho//}{0,33 \cdot Fu \cdot \pi}}$$

3. Perencanaan tierod

Pembebanan tierod (T) :

$T = \rho// \cdot \cos \alpha$

$$A_{\text{sagrod}} = \frac{T}{0,33 \cdot Fu} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{tierod}}^2 \quad , D = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{0,33 \cdot Fu \cdot \pi}}$$

4. Perencanaan batang tarik

$$\text{a. } A_{g\text{perlu}} = \frac{T}{0,60 \cdot F_y}$$

$$\text{b. } A_{e\text{perlu}} = \frac{T}{0,50 \cdot Fu}$$

c. $A_{n\text{perlu}} \rightarrow$ lihat Tabel 3.5.1 Salmon-Johnson, Luas Netto Efektif A_e
(diambil dari tabel AISC – 1.14.2.2 dan 1.14.2.3).

A_g = luas brutto penampang

A_e = luas efektif

A_n = luas netto = $A_g - A_{\text{perlemahan baut}}$

$A_{\text{perlemahan baut}}$ (diameter baut dalam in)

Nilai dari a, b, dan c, diambil yang terbesar

$R_{\text{min}} = L/240$ untuk batang primer, $R_{\text{min}} = L/300$ untuk batang sekunder.

Dipakai profil yang luasannya (A) lebih besar dari nilai A_{perlu} terpakai

Kontrol :

$$T_u = 0,60.F_y.A_g > T$$

$$T_u = 0,50.F_u.A_e > T$$

$$L/r \leq 240$$

5. Perencanaan batang desak

$$Kl/r \leq C_c \rightarrow F_a = \frac{F_y}{F_s} \left(1 - 0,5 \left(\frac{Kl/r}{C_c} \right)^2 \right)$$

$$C_c = \sqrt{2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{F_y}} = \frac{755}{\sqrt{F_y}} ; (F_y \text{ dalam ksi})$$

$$C_c = \frac{6400}{\sqrt{F_y}} ; (F_y \text{ dalam kg/cm}^2)$$

$$C_c = \frac{1987}{\sqrt{F_y}} ; (F_y \text{ dalam Mpa})$$

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3 \cdot \frac{kl}{r}}{8 \cdot C_c} - \frac{\left(\frac{kl}{r} \right)^3}{8 \cdot C_c^3}$$

$$Kl/r > C_c$$

$$F_a = \frac{12}{23} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{kl}{r} \right)^2}$$

$$T = F_a \cdot A$$

F_a = tegangan ijin pada luas brutto dalam kondisi beban kerja

Kl/r = angka kelangsingan kolom berujung sendi ekuivalen

F_s = faktor keamanan

6. Perencanaan Sambungan

$$P_{\text{tumpuan}} = t_p \cdot D_{\text{baut}} \cdot 1,2 \cdot F_u \cdot n$$

$$P_{\text{geser}} = A_{\text{baut}} \cdot F_v \cdot 2n = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{baut}}^2 \cdot F_v \cdot 2n$$

$$F_v = 0,22 \cdot F_{u_{\text{baut}}}, \text{ untuk baut non Full Draat}$$

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

P_{tumpuan} dan P_{geser} untuk perhitungan 1 buah baut, dipilih nilai dari keduanya yang terkecil, sehingga :

$$N = \frac{P}{P_{\text{pakai}}}$$

3.2.2.2 Perencanaan pelat lantai

Perencanaan pelat lantai sebagai berikut :

1. Mencari momen

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{tx}$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{lx}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{ty}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X_{ly}$$

Untuk perencanaan diambil momen terbesar dari M_{tx} , M_{lx} , M_{ty} , M_{ly} , dengan :

q_u = pembebanan pelat

X = koefisien penulangan momen dari tabel Gideon seri 4

L_x = lebar bentang pelat

2. Penentuan luasan tulangan lapangan dan tulangan tumpuan

$$\text{Tulangan lapangan : } A_s = \frac{(Mu / \phi)_{\text{lapangan}}}{\gamma_d \cdot f_y}$$

$$\text{Tulangan tumpuan : } A_s = \frac{(Mu / \phi)_{\text{tumpuan}}}{(Mu / \phi)_{\text{lapangan}}}$$

$$A_{s \text{ min}} = (1,4/f_y) \cdot b \cdot d$$

Cek harga A_s :

a. Bila $A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ min}}$

Hitung harga $1,33A_{s \text{ perlu}}$ bila $1,33A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ min}}$, maka $A_s = 1,33A_{s \text{ perlu}}$

Bila $1,33A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$, maka $A_s = A_{s \text{ min}}$

b. Bila $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$, maka dipakai $A_s = A_{s \text{ perlu}}$

3. Penentuan jarak tulangan

$$X = \frac{A \phi \cdot 1000}{A_{s \text{ pakai}}}$$

4. Kontrol kapasitas

Kontrol harga M_n :

$$A = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2) \geq Mu / \phi$$

3.2.2.3 Perencanaan balok

Perencanaan balok gedung Administrasi USD sebagai berikut :

1. Perencanaan balok lentur

a. Perencanaan balok

Diketahui : $M_n = M_u/\phi$; b ; h ; f_c' ; f_y ; d'

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

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

Dalam perencanaan dipakai nilai ρ ; $\rho_{\text{pakai}} = 0,5 \rho_{\max}$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - 0,5 \cdot \rho \cdot m)$$

b. Perencanaan dimensi

Tentukan b , hitung :

$$b \cdot d_{\text{perlu}}^2 = \frac{M_u / \phi}{R_n}, \text{ didapat } d_{\text{perlu}}$$

Dicoba ukuran b/h hitung :

$$d = h - p_b - \phi_{\text{sengkang}} - 0,5 \cdot \phi_{\text{tulangan pokok}}$$

Chek $d > d_{\text{perlu}}$ maka dipakai perhitungan tulangan sebelah dan jika

$d < d_{\text{perlu}}$ dipakai perhitungan tulangan rangkap.

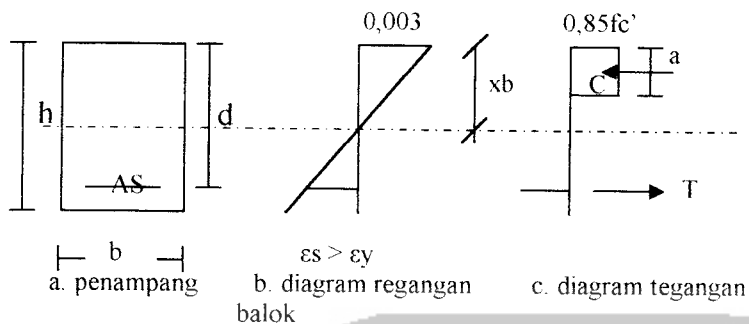
c. Penulangan sebelah

$$R_{n_{\text{baru}}} = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{lama}} \cdot \frac{R_{n_{\text{baru}}}}{R_{n_{\text{lama}}}}$$

$$A_{S_{\text{ada}}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

Kontrol kapasitas :



Gambar 3.1 Penampang balok dan diagram tegangan regangan

$$a = \frac{A s_{ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

Kontrol kapasitas lentur :

$$M_n = A s_{ada} \cdot f_y \cdot (d - a/2) > M_u / \phi$$

..... aman.

d. Penulangan rangkap

Menentukan M_{n1} :

$$(\rho - \rho') = \rho_1 = \rho_{awal} = 0,5 \rho_{maks}$$

$$A s_1 = \rho_1 \cdot b \cdot d$$

$$a = \frac{A s_1 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$M_{n1} = A s_1 \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

Merencanakan tulangan desak :

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

$$f_s' = 600 \cdot \left(1 - \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d} \right)$$

Jika : $f_s' > f_y$,maka dipakai $f_s' = f_y$

$f_s' < f_y$,maka dipakai $f_s' = f_s'$

$$As' = As_2 = \frac{Mn_2}{fs' \cdot (d - d')}$$

Menentukan tulangan tarik :

$$As = As_1 + As'$$

Kontrol harga Mn :

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \cdot d}$$

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

Jika : $fs' > fy$,maka dipakai $fs' = fy$

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

$$a = \frac{As \cdot fy - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot fc' \cdot b}$$

$$Mn_1 = (As \cdot fy - As' \cdot fs') \cdot (d - a/2)$$

$$Mn_2 = As' \cdot fs' \cdot (d - d')$$

$$Mn_1 + Mn_2 > Mn$$

3.2.2.4 Penulangan geser dan torsi

Prosedur perencanaan untuk kombinasi geser dan torsi adalah sebagai berikut :

1. Diketahui gaya geser (Vu), momen torsi (Tu), momen lentur (Mn), gaya aksial (Nu).

2. Diketahui penampang material : lebar badan (b_w), tinggi (h), tinggi efektif (d), penutup beton (p_b), luas sengkang s kaki (A_{sk}), luas tulangan lentur (A_s), kuat desak beton (f'_c), tegangan leleh baja (f_y).

3. Kontrol

- Struktur statis tertentu : torsi keseimbangan

$$T_u > \phi \left(\frac{1}{20} \sqrt{f'_c} \cdot \sum x^2 \cdot y^2 \right)$$

- Struktur statis tak tentu : torsi kompatibilitas

$$T_u \geq \phi \left\{ \frac{1}{9} \sqrt{f'_c} \cdot \sum x^2 \cdot y \right\}$$

4. Menghitung kekakuan momen torsi nominal $T_n = T_u / \phi$

5. Menghitung kuat momen torsi nominal (T_c) yang disumbangkan oleh beton

$$T_c = \frac{(1/15 \sqrt{f'_c}) \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 V_u}{C_t T_u} \right)^2}}, \text{ dimana } C_t = \frac{b_w d}{\sum x^2 y}$$

Elemen struktur yang mengalami gaya aksial tarik yang cukup besar harus direncanakan terhadap harga T_c yang dikalikan dengan $(1 + 0,3 N_u / A_g)$ dimana N_u bernilai negatif untuk tarik.

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

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

Jika $T_n > T_u / \phi ; T_s > 4 T_c \longrightarrow$ Tampang diperbesar

Menghitung kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi (T_s), $T_s = \frac{4}{3} \sqrt{f_c'} \sum x^2 y - T_c$ atau $T_s = T_n - T_c$ diambil nilai yang terkecil, dengan harga T_n tidak boleh lebih kecil dari T_u/ϕ .

6. Pilih sengkang tertutup sebagai tulangan melintang, dengan spasi dari sengkang tidak melebihi nilai antara $(x_1+y_1)/4$ atau 300 mm. Ukuran tulangan minimum No.3 (diameter 9,5mm). Apabila s = jarak konstan sengkang, hitunglah luas sengkang untuk torsi persatu lengan persatuan

$$\text{jarak : } \frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha_1 x_1 y_1 f_y}$$

7. Hitung penulangan geser yang diperlukan oleh A_v per satuan jarak dalam penampang melintang.

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

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \text{ dan } V_c = \frac{(1/6 \sqrt{f_c'}) \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left(2,5 \cdot C_t \cdot \frac{T_u}{V_u}\right)^2}}$$

8. Dapatkan luas total sengkang tertutup yang diperlukan untuk torsi dan geser A_{vt} dan desainlah luasan sengkang dengan memenuhi:

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

9. Hitung luas tulangan memanjang A_l yang diperlukan untuk torsi di mana :

$$A_l = 2 \cdot A_t \cdot \frac{x_1 + y_1}{s} \text{ atau}$$

$$A1 = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left[\frac{Tu}{Tu + \frac{Vu}{3 \cdot Ct}} \right] - 2 \cdot A1 \right] \frac{x_1 + y_1}{s}, \text{ dipilih yang terbesar dengan } A1$$

pada persamaan yang kedua tidak boleh lebih dari

$$A1 = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \cdot \frac{Tu}{Tu + \frac{Vu}{3 \cdot Ct}} - \frac{b_w \cdot s}{f_y} \right] \frac{x_1 + y_1}{s}$$

10. Rencanakan tulangan dengan menggunakan petunjuk di bawah ini :
- Jarak s dari sengkang tertutup tidak boleh melebihi $(x_1 + y_1)/4$ atau 300 mm.
 - Tulangan memanjang harus berjarak sama di sekeliling sengkang tertutup. Jarak tulangan ini harus kurang dari 300 mm dan paling sedikit satu tulangan memanjang harus diletakan pada masing-masing ujung sengkang tertutup.
 - Kekuatan leleh untuk desain tulangan torsi tidak boleh melebihi 400 Mpa.
 - Sengkang-sengkang yang digunakan untuk tulangan torsi harus cukup dijangkarkan ke jarak d dari tepi serat yang tertekan.
 - Tulangan torsi harus ada juga pada jarak paling sedikit $(d+b)$ di luar titik yang secara teoritis memerlukannya dengan maksud mengatasi tegangan geser yang secara potensial dapat berlebihan.

3.2.2.5 Perencanaan kolom

Perhitungan untuk menentukan tulangan pada kolom dimana ukuran penampang serta beban aksial dan momen yang bekerja telah diketahui, dan menggunakan grafik-grafik dari buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang Gideon Kusuma.

Berikut ini diberikan langkah-langkah perencanaan kolom terhadap lentur :

1. Penentuan luas tulangan total yang diperlukan dengan bantuan tabel yang

diperoleh dari :

$$A_g = b \cdot h$$

$$A_{st} = n\% \cdot A_g$$

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

- Untuk sengkang biasa :

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

- Untuk sengkang Spiral :

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

2. Penentuan kelangsingan kolom

Tentukan inersia :

$$I_g = (b_b \cdot h_b^3) / 12$$

$$I_c = (b_k \cdot h_k^3) / 12$$

Tentukan kekuatan relatif

$$\psi = \frac{\sum (E_c \cdot I_c)_{kolom}}{\sum (E_g \cdot I_g)_{balok}}$$

Kemudian nilai ψ diplotkan kedalam grafik nomogram sehingga didapat nilai k .

Tentukan kelangsingan kolom :

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

$$r = 0,25 D_k \text{ (untuk kolom tampang bulat)}$$

Jika $k \cdot L_k/r < 22$ (kolom tidak langsing atau kolom pendek)

Jika $22 < k \cdot L_k/r < 100$ (kolom langsing, maka ada faktor pembesar momen)

Jika $k \cdot l_k/r > 100$ (perbaiki dimensi betonnya).

Menentukan kekuatan kolom :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ Mpa}$$

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$$

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

$$EI = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{(1 + \beta d)}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot l)^2}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi \cdot P_c}} \geq 1 \text{ dengan } C_m = 1 \text{ untuk kolom tanpa pengekang}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \cdot \sum P_c}}$$

$$M_c = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

3. Kapasitas penampang

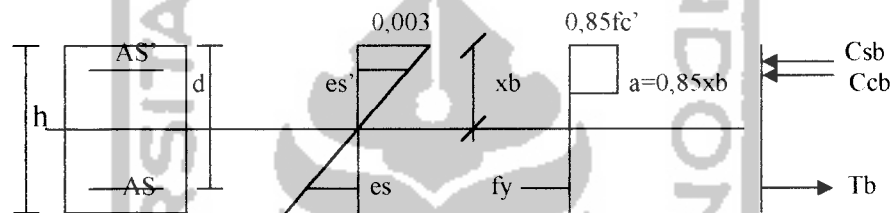
Keadaan regangan seimbang :

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

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

Dimana jika $f_s' > f_y$ maka dipakai $f_s' = f_y$ jika tidak maka dipakai f_s' .

Kapasitas penampang.



Gambar 3.2 Penampang kolom dan diagram tegangan regangan

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

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

$$T_b = A_s \cdot f_y$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_b$$

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

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

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

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

c. runtuh tarik

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

Kemudian dihitung :

$$a = \beta_1 \cdot x$$

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

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

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

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

$$T_b = A_s \cdot f_y$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} + T_b$$

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

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

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 ke titik ditinjau keadaan seimbang (mm)

x = jarak serat terluar beton ke titik ditinjau (mm)

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

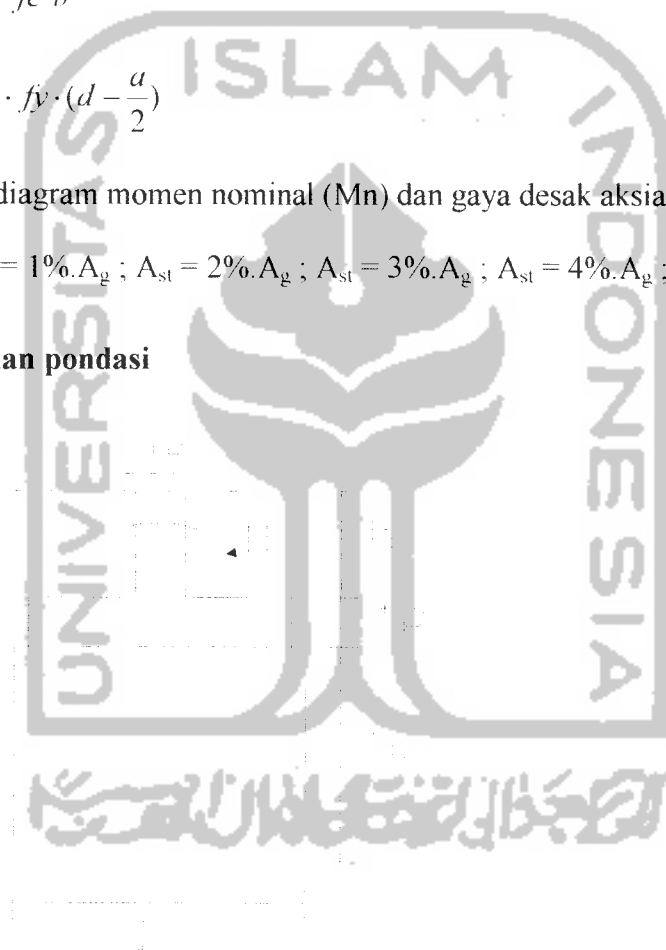
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

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

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

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

3.2.2.6 Perencanaan pondasi



Gambar 3.3 Perencanaan pondasi

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

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

1. Pondasi sumuran

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

- a. Daya dukung tanah (q_c)
- b. Kedalaman tanah keras

Setelah diketahui data diatas maka dapat ditentukan pondasi yang akan digunakan pada bangunan tersebut

Langkah-langkah perhitungan pondasi sumuran :

- a. Menentukan beban pondasi sumuran

$$P_{\text{pondasi sumuran}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \gamma$$

$$P_{\text{total}} = P + P_{\text{pondasi sumuran}}$$

- b. Menentukan daya dukung tanah netto :

$$q = h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2$$

$$\sigma_{\text{netto}} = \sigma_{\text{ijin dibawah sumuran}} - q$$

- c. Menentukan dimensi pondasi sumuran

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P_{\text{total}}}{\sigma_{\text{netto}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{A_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \cdot \pi}}$$

2. Pondasi telapak

- a. Diketahui beban kerja, f_c , f_y , σ_{tanah}

Tebal pelat kaki diasumsikan

b. Menentukan dimensi pondasi telapak

Dimensi pondasi bujur sangkar (terdapat momen yang bekerja pada arah x dan y :

$$A_{perlu} = \frac{p}{\sigma_{sumuran} \left[\frac{M_x}{6 \cdot B_x \cdot B_y^2} + \frac{M_y}{6 \cdot B_y \cdot B_x^2} \right]}$$

$$B_p = \sqrt{A_{perlu}}$$

c. Pemeriksaan terhadap kuat geser

1) Perhitungan gaya geser beton untuk dua arah

$$d = h - p_b - 0,5 \cdot \emptyset_{tul.pokok}$$

$$q_u = \frac{P_u}{A_{ada}} \pm \frac{M_{ux}}{6 \cdot B_x \cdot B_y^2} \pm \frac{M_{uy}}{6 \cdot B_y \cdot B_x^2}$$

$$V_u = q_{u_{terjadi}} \cdot (A^2 - B^2)$$

A = luas telapak pondasi empat persegi

B = lebar kolom + tinggi efektif

Kuat beton menahan geser :

$$V_c = (1 + (2/\beta_c)) \cdot (2\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d)$$

β_c = rasio panjang/lebar kolom

$$b_o = 2(B_1 + B_2)$$

Sehingga kuat geser maksimum adalah :

$$V_c = 4\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$\phi V_n = \phi V_c \rightarrow V_u < \phi V_n$$



Gambar 3.4 Penampang kritis dan permukaan geser beton 2 arah

2) Perhitungan geser beton untuk satu arah

$$G = (B_p - 2 \cdot d - b_{kolom})/2$$

❖ **Arah X**

$$q_u = \frac{P_u \pm \frac{M_{ux}}{6}}{A_{ada} \cdot \frac{1}{6} \cdot B_x \cdot B_y^2}$$

$$V_u = q_{u_{terjadi}} \cdot L_p \cdot G$$

Kuat beton menahan geser :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot L_p \cdot d$$

Kontrol gaya geser ;

$$V_c \geq V_u/\phi$$

❖ **Arah Y**

$$q_u = \frac{P_u}{A_{ada}} \pm \frac{M_{uy}}{6 \cdot B_y \cdot B_x^2}$$

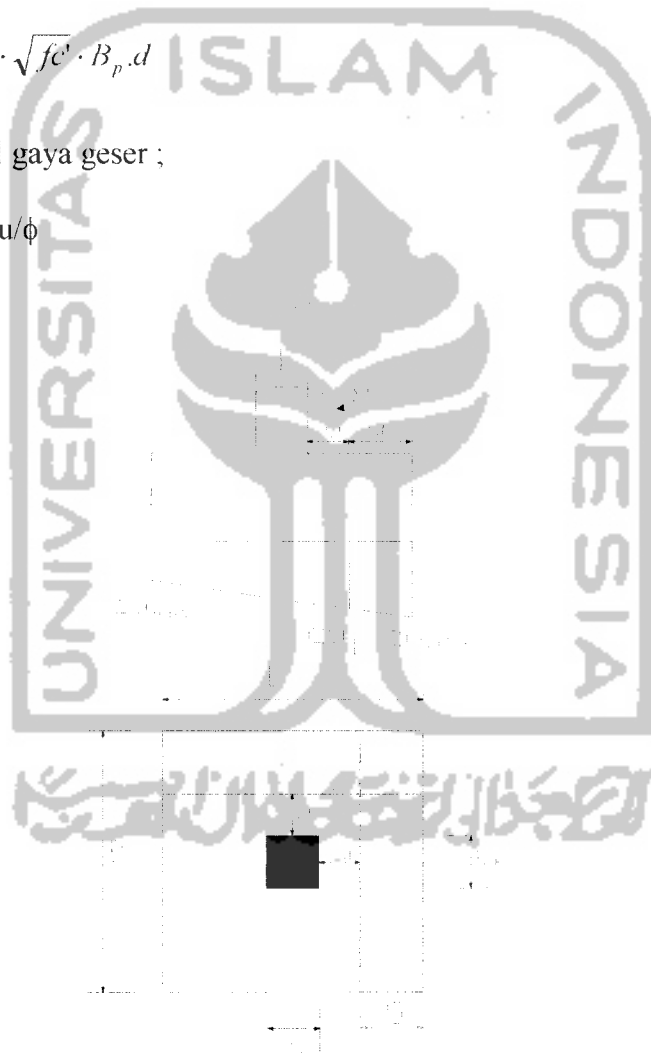
$$V_u = q_{u_{terjadi}} \cdot B_p \cdot G$$

Kuat beton menahan geser :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot B_p \cdot d$$

Kontrol gaya geser ;

$$V_c \geq V_u / \phi$$



Gambar 3.5 Penampang kritis dan permukaan geser beton 1 arah

d. Perencanaan tulangan lentur telapak pondasi

Diambil lebar $b = 1$ meter

$$M = (1/2) \cdot q_{\text{maks.}} \cdot ((L_p - h_k)/2)^2$$

$$jd = 0,9 \cdot d$$

$$A_s_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{jd \cdot f_y}$$

$$A_{s_{\text{min}}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d$$

Untuk langkah selanjutnya dapat dilihat pada perhitungan pelat.

e. Kontrol kapasitas lentur pelat pondasi :

$$A_{s_{\text{ada}}} = \frac{A\phi \cdot 1000}{\text{jarak tulangan}}$$

$$\alpha = \frac{A_{s_{\text{ada}}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = A_{s_{\text{ada}}} \cdot f_y \cdot (d - a/2) \geq M_n$$

3.2.2.7 Perencanaan tangga

Langkah-langkah perencanaan tangga adalah sebagai berikut :

1. Menentukan lebar dan jumlah optrede dan antrede
 - a. Tinggi bersih antar lantai (h) dalam meter dapat diketahui.
 - b. Lebar bordes (L_b) dalam meter dapat ditentukan, diambil $\geq 1,2$ meter.
 - c. Sandaran tangga dapat ditentukan bahannya, tebal, dan tinggi jadinya.
 - d. Tinggi optrede ideal ≤ 20 cm (15 – 18 cm), missal diambil nilai perkiraan awal

tinggi optrede (h_o) = 18 cm, maka jumlah optrede (buah) :

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

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

- e. Lebar antrede ideal ≥ 30 cm, diambil nilai lebar antrede (L_a) – 30 cm

Jumlah antrede = jumlah optrede – 2

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

$$P_t = \left(\frac{L_a \cdot \text{jumlah tangga}}{2} \right) + L_b \leq 4,50 \text{ meter}$$

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

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

- a. Diambil nilai tebal pelat (h) = 15 cm
 b. Sudut kemiringan ideal tangga antara $30^\circ - 35^\circ$, missal diambil sudut perkiraan awal (α) = 30° , maka tebal pelat sisi miring (h') :

$$h' = \frac{h}{\cos \alpha}$$

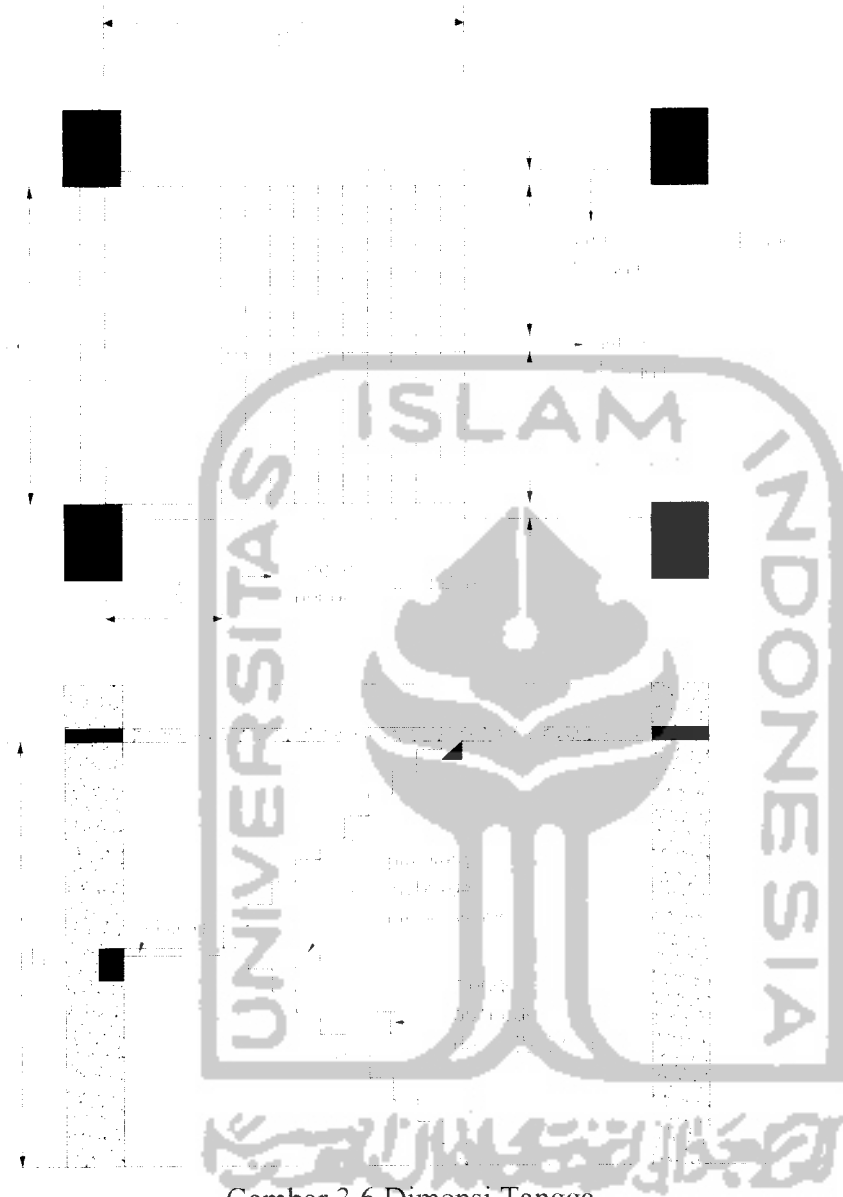
Sehingga sudut tangga sebenarnya (α') : $\alpha' = \frac{h'}{L_a}$

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

$$d' = d - 2 \cdot (1/2 \cdot \text{lebar balok induk})$$

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

$$L_t = 1/2 \cdot (d' - (3 \cdot 0,1)) \geq 1,20 \text{ meter}$$



Gambar 3.6 Dimensi Tangga

3. Perencanaan tulangan tangga

Perencanaan tulangan pada tangga sama dengan perhitungan pada pelat lantai.