

## BAB II

### PERENCANAAN

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Yuan-Yu Hsieh, 1985 perencanaan yang lengkap dari suatu struktur dijabarkan dalam tahap-tahap sebagai berikut:

1. *Mengembangkan tata-susun umum.* Tata susun umum melibatkan pemilihan tipe struktur, pemilihan material, perkiraan sementara biaya, pemilihan lokasi yang terbaik atau penerapan struktur pada suatu tempat yang belum ditentukan sebelumnya, estetika serta pertimbangan lainnya, termasuk aspek hukum, finansial, dan sebagainya.
2. *Penyelidikan beban.* Sebelum analisa struktural yang disempurnakan dapat dilaksanakan, adalah perlu untuk menentukan beban-beban apa saja yang akan dipakai untuk perencanaan sebuah struktur. Beban-beban tersebut antara lain beban mati (*dead load*) yaitu berat sendiri dari struktur bersama-sama dengan material yang dipasang secara permanen pada struktur. Beban hidup (*live load*) yang pada umumnya diklasifikasikan sebagai beban yang dapat dipindahkan dan beban bergerak atau beban dinamis.

3. *Analisa tegangan.* Apabila bentuk dasar dari struktur dan beban-beban eksternal telah ditetapkan, dapat dibuat suatu analisa struktural untuk menentukan gaya-gaya internal pada batang-batang struktur serta perubahan kedudukan pada beberapa titik kontrol. Jika terdapat beban-beban hidup maka adalah penting untuk mempertimbangan penentuan tegangan-tegangan maksimum yang kemungkinan timbul pada setiap batang.
4. *Pemilihan unsur-unsur.* Pemilihan terhadap ukuran-ukuran dan bentuk-bentuk yang sesuai dengan batang dan sambungan-sambungannya tergantung pada hasil-hasil analisa tegangan bersama-sama dengan ketentuan-ketentuan untuk perencanaan dari spesifikasi-spesifikasi dan peraturan-peraturan.
5. *Penggambaran dan pemerincian.* Apabila penyusunan dari setiap bagian dari struktur telah ditetapkan, maka tahap terakhir dari perencanaan dapat dimulai yaitu meliputi persiapan gambar kontrak, pemerincian, spesifikasi pekerjaan dan anggaran biaya akhir yang diperlukan untuk melangsungkan bangunan.

Perencanaan gedung ini terdiri dari susunan beberapa portal baik memanjang maupun melintang. Sistem portal adalah suatu bentuk kesatuan sistem kolom dan balok induk yang merupakan sistem bangunan yang dapat menahan beban vertikal gravitasi dan lateral akibat gempa. Sistem ini memanfaatkan kekakuan balok-balok utama dan kolom. Dengan demikian, integritas antar balok utama dan kolom harus mendapat perhatian dan pendetailan tersendiri, karena disekitar daerah ini timbul gaya geser dan momen yang besar yang dapat menyebabkan retak dan patahnya penampang (L. Wahyudi, Syahril A. Rahim, 1997, Struktur Beton Bertulang).

Struktur gedung ini terdiri dari bagian-bagian atap, pelat lantai, balok, kolom, dan bagian substruktur yaitu pondasi.

Atap merupakan penutup bagian atas suatu bangunan yang berfungsi melindungi dari hujan dan terik matahari, pada gedung ini rangka atapnya digunakan dari profil baja I. dengan mutu baja  $f_y=240$  Mpa dan atapnya memakai genteng.

Pelat lantai dibuat dari konstruksi beton bertulang yang berfungsi sebagai pendukung beban akibat berat sendiri dan beban berguna yang ada di atasnya.

Balok adalah elemen horisontal dari sebuah portal yang menyalurkan beban dari lantai ke kolom. Balok diperhitungkan agar mampu menahan beban lantai dan berat dinding di atasnya.

Kolom merupakan elemen vertikal yang meneruskan beban dari balok ke pondasi. Dimensi kolom pada bangunan ini berbentuk segi empat dengan konstruksi beton bertulang dengan mutu beton  $f'_c=20$  Mpa dan mutu baja tulangan polos  $f_y=240$  Mpa, dan tulangan ulir  $f_y=390$  Mpa.

Pondasi merupakan bagian dari struktur yang biasanya diletakan di bawah permukaan tanah dan menyalurkan beban ke lapisan tanah atau batuan yang ada di bawahnya.

Tangga merupakan bangunan non-struktur yang berfungsi sebagai sarana penghubung antar lantai. Pada gedung ini tidak terdapat perhitungan tangga, karena alat penghubung antar lantai pada gedung tersebut menggunakan tangga pada gedung disebelahnya.

## 2.2 Perencanaan Konstruksi

### 2.2.1 Dasar-dasar perencanaan

Dasar-dasar perencanaan gedung Audiovisual UK-Duta Wacana 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

### 2.2.2 Perencanaan pembebanan

Agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan 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:

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

$U = 1,05(D + \phi L \pm E)$  dengan  $E$  = beban gempa dan  $\phi$  = faktor reduksi kekuatan dimana:

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.

Kepartian kekuatan beban terhadap pembebanan dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ). 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 | $\phi = 0,65$ |
| 4. Geser dan torsi                              | $\phi = 0,60$ |

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)

### 2.2.3 Data Hitungan Secara Garis Besar

Data keperluan perencanaan dan perhitungan gedung antara lain sebagai berikut:

1. mutu beton  $f'_c = 20$  Mpa
2. mutu baja tulangan polos  $f_y = 240$  Mpa dan tulangan ulir  $f_y = 390$  Mpa
3. gaya gempa termasuk wilayah III
4. perhitungan mekanika dalam perencanaan gedung ini menggunakan program komputer SAP 90
5. keadaan tanah

Hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa pada lokasi proyek pembangunan gedung Audiovisual, struktur dan propertis tanahnya baik.

Hasil penyelidikan tanah tersebut adalah sebagai berikut :

- a. dari permukaan tanah sampai kedalaman -1,25 m terdapat lapisan tanah pasir berkerikil kelanauan, coklat.
- b. dari -1,25 m sampai -2,25 m terdapat lapisan tanah pasir berkerikil, coklat kelabu.
- c. dari -2,25 m sampai -3,25 m terdapat lapisan tanah pasir sedang warna coklat kelabu.
- d. dari -3,25 m sampai -4,25 m terdapat lapisan tanah pasir kerikil berbatu, warna kelabu.
- e. muka air tanah setempat pada saat penyelidikan ada pada kedalaman -7,4 m dari elevasi + 0,00.  $\sigma_{\text{maksimum}} = 200 \text{ kn/m}^2$

### 2.3 Kriteria Perencanaan

#### 2.3.1 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 [3] 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

$$H/A < 3$$

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

b. arah y

$$I/B < 3$$

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

dengan:

$V_x, V_y$  = 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 horisontal 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 antara lain adalah sebagai berikut:

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

$$M_{u,b} = 1,2 M_{D,b} + 1,6 M_{E,bk}$$

$$M_{u,b} = 1,05(M_{D,b} + M_{E,bk} + M_{E,bd})$$

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

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

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

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

$$M_{kap,b} = \phi_o M_{mek,b}$$

di mana:

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

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

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

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

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

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

$\phi_o$  = faktor penambahan kekuatan sebesar 1,25 untuk  $f_y < 400 \text{ Mpa}$ , dan 1,40 untuk  $f_y > 400 \text{ Mpa}$

## 2. Perencanaan balok portal terhadap beban geser

$$V_{U,b} = 0,7 \frac{M_{kap} + M^*_{kap}}{ln} + 1,05 f_v g \quad \text{tetapi tidak perlu lebih besar dari}$$

$$V_{L,b} = 1,07 [V_{D,b} + V_{L,b} + 4V_{EB} K]$$

dimana:

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

$M_{k,op}$  = 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 bebangempa

3. Perencanaan kolom portal terhadap beban lentur dan aksial

$$\sum M_{u,k} = 0,7 \alpha d \sum M_{kap,b}$$

atau

$$\sum M_{u,k} = 0,7 \alpha d k (M_{kap,ki} + M_{kap,ka})$$

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:

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

Tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari

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

dengan :

$R_n$  = faktor reduksi yang ditentukan sebesar

1,0 untuk  $1 < n < 4$

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

0,6 untuk  $n > 20$

$\alpha_d$  = faktor pembesar dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan, diambil = 1.3

$\alpha_k$  = 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:

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

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  $V_{u,v}$ .

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

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

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

$$V_{kol} = \frac{0.70 \left( \frac{k_i}{k_i} M_{kap, ki} + \frac{k_a}{k_a} M_{kap, ka} \right)}{\frac{1}{2} (h_{k, a} + h_{k, b})}$$

Tegangan geser horisontal nominal dalam joint adalah

$$V_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_c} \leq 1.5 \sqrt{f_c'}$$

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:

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\left( \frac{N_u \cdot k}{A_g} \right) - 0.1 f_c' \cdot b_j \cdot h_c}$$

- balok diberi gaya prategang yang melewati joint, maka:

$$V_{ch} = 0.7 P_{cr}$$

- 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:

$$V_{ch} = 0.5 \frac{A_s'}{A_s} V_{jh} \left( 1 + \frac{N_u \cdot k}{0.4 \cdot A_g \cdot f_c'} \right) \text{ dim } \text{ana} \frac{A_s'}{A_s} < 1$$

Besarnya  $V_{sh}$  bila  $\rho_c < 0.1 f_c'$  adalah:

## 2.3.2 Perencanaan Konstruksi

### 2.3.2.1 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)

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

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

##### b. Pembebanan angin

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

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

dengan:

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

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

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

$$d = \text{jarak gording}$$

##### c. Perhitungan Momen

akibat beban tetap:

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

akibat beban angin:

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

Momen terpakai:

$M_{maks} = M_{maks.L} + M_{maks. angin}$

$M_{maks} = M_{maks.L} \cdot 1,25$

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 ( $\rho$ )

$\rho_{\parallel} = \rho \cdot \sin \alpha \cdot S_s$  dengan  $S_s$  = jarak sagrod

$$A_{\text{sagrod}} = \frac{\rho_{\parallel}}{0,33 \cdot f_u} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{\text{sagrod}}, \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{\parallel}}{0,33 \cdot f_u \cdot \pi}}$$

## 3. Perencanaan Tierod

Pembebanan tierod (T)

$$T = \rho_{\parallel} \cdot \cos \alpha$$

$$A_{\text{diperad}} = \frac{T}{0,33.F_u} = \frac{1}{4} \pi D^2_{\text{teori}}, D = \sqrt{\frac{4T}{0,33.F_u \pi}}$$

#### 4. Perencanaan Batang Tarik

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

b.  $A_e \text{ perlu} = \frac{T}{0,50.F_u}$

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 =  $A_g - A_{\text{perlemahan baut}}$

$A_{\text{perlemahan baut}} = (\text{diameter baut} \times \frac{1}{8})$ , dalam in

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

$$r_{\text{min}} = L / 300$$

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

Kontrol :

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

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

$$L / r \leq 300$$

#### 3. Perencanaan Batang Desak

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

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

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

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

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3 \cdot kl}{8 \cdot C_c} = \frac{(kl/r)^2}{8 \cdot C_c^3}$$

$$kl/r > C_c$$

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

$$T = F_a \cdot A$$

$F_a$  = tegangan ijin pada luas brutto dalam kondisi beban kerja

$kl/r$  = angka kelangsingan kolom berujung sendi ekuivalen

$F_s$  = faktor keamanan

#### 4. Perencanaan Sambungan

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

$$P_{geser} = A_{baut} \cdot 0,33 \cdot F_u \cdot 2n = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{baut}^2 \cdot 0,33 \cdot F_u \cdot 2n$$

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

$$n = \frac{P}{P_{geser} \cdot P_{tumpuan}}$$

### 2.3.2.2 Perencanaan Pelat Lantai

Perencanaan pelat lantai sebagai berikut :

1. Mencari momen :

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

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

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

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

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 plat

2. penentuan luasan tulangan lapangan dan tulangan tumpuan

$$\text{tulangan lapangan: } A_s = \frac{(M_u / \phi)_{\text{lapangan}}}{\gamma \cdot f_y}$$

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

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

Cek harga  $A_s$ :

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

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

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

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

3. penentuan jarak tulangan

$$x = \frac{A_s \cdot \phi \cdot 1000}{A_s \text{ perlu}}$$

## 4. kontrol kapasitas

Kontrol harga Mn :

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

$$Mn = As \cdot fy (d-a/2) \geq Mu/\phi$$

**2.3.2.3 Perencanaan balok**

Perencanaan balok gedung audiovisual sebagai berikut:

## 1. Perencanaan Balok Lentur

## a. Perencanaan Balok

Diketahui : Mn = Mu /  $\phi$  ; b,h, f'c,fy ,d'

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

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

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

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} \quad Rn = \rho \cdot fy \cdot (1 - 0,5 \cdot \rho \cdot m)$$

## b. perencanaan dimensi

tentukan b, hitung:

$$b \cdot d^2_{perlu} = \frac{Mu / \phi}{Rn}, \text{ didapat } d_{perlu}$$

dicoba ukuran b/h hitung:

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

chek  $d > d_{perlu}$  maka dipakai perhitungan tulangan sebelah dan jika  $d < d_{perlu}$ 

dipakai perhitungan tulangan rangkap

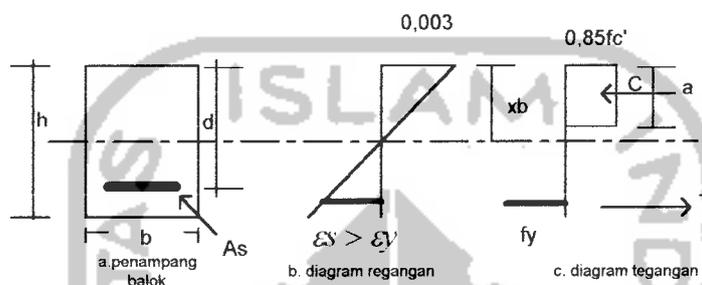
c. penulangan sebelah

$$Rn_{baru} = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$\rho_{perlu} = \rho_{lama} \cdot \frac{Rn_{baru}}{Rn_{lama}}$$

$$As = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

Kontrol kapasitas:



Gambar 2.1 Penampang balok dan diagram tegangan regangan

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

$$Mn = As \cdot fy \cdot (d - a/2)$$

Kontrol Mn:

Bila  $Mn > Mu/\phi$  ..... aman

d. penulangan rangkap

Menentukan  $Mn_1$

$$(\rho - \rho') = \rho_1$$

$$As_1 = \rho_1 \cdot B \cdot d$$

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

$$Mn_1 = As_1 \cdot fy \cdot (d - a/2)$$

Merencanakan tulangan desak

$$Mn_2 = Mn - Mn_1$$

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

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

$fs' \leq fy$ , maka dipakai  $fs'$

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

Menentukan tulangan tarik

$$As = As_1 + As'$$

Kontrol harga  $Mn$ :

$$\rho_1 = \frac{As - As'}{b \cdot d}$$

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

$$a = \frac{As \cdot fy - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot f'c \cdot d}$$

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

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

$$Mn_1 + Mn_2 > Mn$$

#### 2.3.2.4 Penulangan Geser dan Torsi

Prosedur perencanaan untuk kombinasi geser dan torsi adalah sebagai berikut :

1. klasifikasikan apakah torsi yang bekerja berupa torsi keseimbangan atau torsi keserasian. Tentukan penampang kritis yang diambil pada jarak  $d$  dari

muka tumpuan dan hitung momen torsi rencana  $T_u$ . Apabila  $T_u$  lebih kecil dari  $\phi \left[ \left( \sqrt{f'c/20} \right) \sum x^2 y \right]$ , maka pengaruh torsi diabaikan.

2. Hitung tahanan torsional nominal  $T_c$  badan beton sederhana dengan

persamaan  $T_c = \frac{(1/15 \sqrt{f'c}) \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,41u}{C_r T_u} \right)^2}}$ , dimana  $C_r = \frac{bw.d}{\sum x^2 y}$ . Elemen struktur

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

Periksa apakah  $T_u$  melebihi  $\phi T_c$ . Jika  $T_u$  tidak melebihi  $\phi T_c$ , efek torsi dapat diabaikan dan jika  $T_u$  melebihi  $\phi T_c$  maka torsi keseimbangan:

$T_s = T_u - T_c$ , dengan  $T_s$  adalah momen torsi yang harus ditahan oleh tulangan.

Torsi keserasian :

$$T_s = \frac{4}{3} \sqrt{f'c} \sum x^2 y - T_c \text{ atau}$$

$T_s - T_u - T_c$  diambil nilai yang terkecil, dengan harga  $T_u$  tidak boleh lebih kecil dari  $T_u / \phi$ .

Jika  $T_s > 4T_c$  maka penampang diperbesar.

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

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

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

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} \quad \text{dimana } V_s = V_u - V_c \quad \text{dan} \quad V_c = \frac{(1/6 \sqrt{f'c}) b w d}{\sqrt{1 + \left( 2.5 C_{tr} \frac{T_u}{V_u} \right)^2}} \quad \text{dengan}$$

besarnya  $V_n$  tidak boleh lebih kecil dari  $V_u/\phi$ .

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

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

6. Hitung luas tulang memanjang  $A_l$  yang diperlukan untuk torsi di mana:

$$A_l = 2 A_t \frac{x_1 + y_1}{s} \quad \text{atau} \quad A_l = \left[ \frac{2.8 x_1 s}{f_y} \left[ \frac{T_u}{I_u + \frac{V_u}{3 C_t}} \right] - 2 A_t \right] \frac{x_1 + y_1}{s} \quad \text{dipilih}$$

yang terbesar dengan  $A_l$  pada persamaan yang kedua tidak boleh lebih dari

$$A_l = \left[ \frac{2.8 T_u}{f_y} \frac{b_w S}{I_u + \frac{V_u}{3 C_t}} \right] \frac{x_1 + y_1}{s}$$

7. Rencanakan tulangan dengan menggunakan petunjuk di bawah ini:

a. Jarak  $s$  dari sengkang tertutup tidak boleh melebihi  $(x_1 + y_1)/4$  atau 300mm.

b. Tulangan memanjang harus berjarak sama di sekeliling sengkang tertutup. Jarak tulangan ini harus kurang dari 300mm dan paling sedikit satu tulangan memanjang harus diletakan pada masing-masing ujung sengkang tertutup.

- c. Kekuatan leleh untuk desain tulangan torsi tidak boleh melebihi 400 Mpa.
- d. Sengkang-sengkang yang digunakan untuk tulangan torsi harus cukup dijangkarkan ke jarak  $d$  dari tepi serat yang tertekan.
- e. 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.

### 2.3.2.5 Perencanaan Kolom

Perhitungan untuk menentukan tulangan pada kolom di mana 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:

$$A_g = b \cdot h$$

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

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

$$P_{no} = 0,85 \cdot P_o$$

2. Penentuan kelangsingan kolom

Tentukan inersia:

$$I_b = (I_b \cdot h b^3) / 12$$

$$I_k = (I_k \cdot h k^3) / 12$$

menentukan kekuatan kolom:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)}$$

$$EI_b = (E_c I_b) / (5(1 + \beta d))$$

$$EI_k = (E_c I_k) / (25(1 + \beta d))$$

Tentukan kekuatan relatif

$$\mu_1 = \sum(EIk_1 / Ik_1) / \sum(EIb_1 / Ib_1) \text{ untuk kolom atas}$$

$$\mu_2 = \sum(EIk_2 / Ik_2) / \sum(EIb_2 / Ib_2) \text{ untuk kolom bawah}$$

$$\mu_m = (\mu_1 + \mu_2) / 2$$

$$\text{jika } \mu_m < 2 \text{ maka } k = (20 - \mu_m) / 20 \cdot \sqrt{(1 + \mu_m)}$$

$$\text{jika } \mu_m > 2 \text{ maka } k = 0.9 \cdot \sqrt{(1 + \mu_m)}$$

cara lain untuk menentukan nilai k dapat melalui nomogram berikut dengan cara memplotkan nilai  $\mu_1$  dan  $\mu_2$  kemudian tarik garis dari nilai keduanya didapat nilai k yang dicari.

Tentukan kelangsingan kolom:

$$r = 0.3 \cdot I_k$$

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 pembesaran momen) yaitu :

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

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

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

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

$$M_n = M_c / \phi$$

$$e = M_n / P_u > (15 + 0,03 \cdot h_k)$$

jika  $k \cdot L_k / r > 100$  (perbaiki dimensi betonnya)

### 3. kapasitas penampang

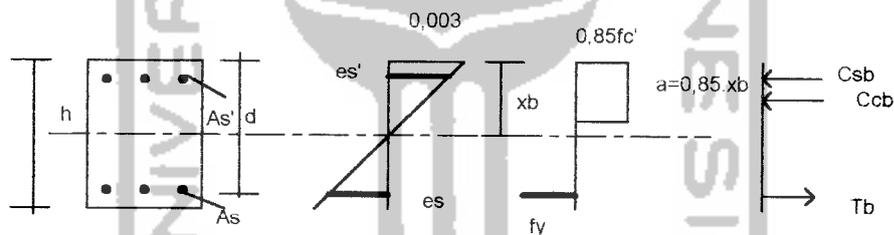
keadaan regangan seimbang:

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

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

dimana jika  $f_s' > f_y$  maka dipakai  $f_s' = f_y$  jika tidak maka dipakai  $f_s'$

kapasitas penampang:



Gambar 2.2 Penampang kolom dan diagram tegangan regangan

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

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

$$T_b = A_s \cdot f_y$$

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

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

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

pilih x

jika  $x > x_b$  perhitungan kapasitas penampang dengan analisa runtuh desak dengan syarat:

$$P_n > P_{nb}$$

$$e < e_b$$

$$M_n < M_{nb}$$

Jika  $x < x_b$  analisa runtuh tarik dengan syarat:

$$P_n < P_{nb}$$

$$e > e_b$$

$$M_n < M_{nb}$$

Jika  $x = x_b$  maka  $P_n = 0$ , tulangan desak diabaikan perhitungan kapasitas penampang seperti tulangan sebelah.

#### 2.3.2.6 Perencanaan Pondasi

Pondasi yang direncanakan dalam perhitungan gedung ini adalah pondasi telapak pada bangunan yang terdapat lantai basement, sedang untuk bangunan tanpa lantai basement digunakan pondasi sumuran.

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 telapak dan pondasi sumuran adalah sebagai berikut:

### 1. Pondasi Telapak

- a. Diketahui beban kerja,  $f_c, f_y, \sigma_{tanah}$

tebal pelat kaki diasumsikan

- b. Tekanan tanah

Tekanan tanah ijin efektif untuk mendukung beban total

$$\sigma_{netto\ tanah} = \sigma_{netto} + q$$

$q$  = beban tanah di atas pelat pondasi dan beban pelat sendiri

Dengan menggunakan nilai awal beban kerja

$$A_{perlu} = \Sigma P / \sigma_{netto\ tanah}$$

Dibitung tekanan tanah terfaktor yang diakibatkan beban yang bekerja

$$p_u = P_u / A = (1,2 q_D + 1,6 q_L) / A$$

- c. Pemeriksaan terhadap kuat geser

Gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis:

$$V_u = p_u (A^2 - B^2)$$

$A$  = luas telapak pondasi empat persegi

$B$  = lebar kolom + tinggi efektif

Kuat geser beton

$$V_c = (1 + (2/\beta_c)) (2\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d) \leq 4\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$\beta_c$  = rasio panjang/lebar kolom

$$b_o = 4B$$

sehingga kuat geser maksimum adalah :

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

$$\phi V_n + \phi V_c > V_u \leq \phi V_n$$

d. Penulangan Momen

Diambil lebar  $b = 1$  meter

$$M = (1/2).P_u.(A - a)/2)^2$$

$$Jd = 0,9 d$$

$$A_s = (M/0,8)/(f_y Jd)$$

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

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} . b . d$$

Untuk langkah selanjutnya dapat dilihat pada perhitungan pelat.

e. Periksa momen yang terjadi

$$A_s = \dots$$

$$A_s = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$M_n \text{ yang terjadi} = A_s \cdot f_y (d - a/2) \geq M_n \text{ rencana}$$

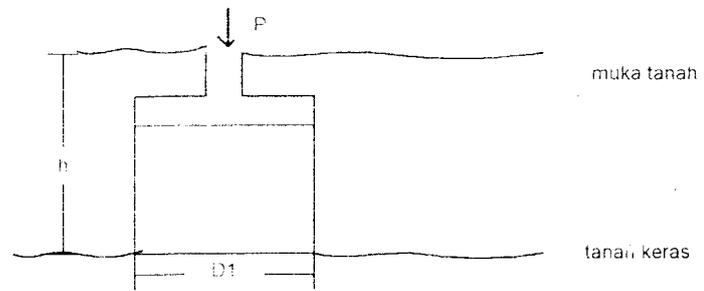
2. Pondasi Sumuran

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 di atas maka dapat ditentukan pondasi yang akan digunakan pada bangunan tersebut. Pondasi sumuran ini digunakan pada bangunan yang tidak mempunyai basement, untuk perbaikan tanah.

Langkah-langkah perhitungan pondasi sumuran:



Gambar 2.3 Pondasi sumuran dan pondasi telapak

$$\sigma = \frac{P}{A_1} \Rightarrow A_1 = \frac{P}{\sigma}$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \pi \cdot D_1^2 \Rightarrow D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_1}{\pi}}$$

Berat sendiri sumuran =  $\frac{1}{4} \pi \cdot D_1^2 \cdot \gamma$  dengan  $\gamma$  = bj beton

$P_{total}$  =  $P$  + berat sendiri sumuran

Selanjutnya  $P$  pondasi yang digunakan adalah  $P_{total}$