

## BAB IV

### METODA ANALISIS DAN PROSES PEMROGRAMAN

#### 4.1. Umum

Program komputer merupakan suatu sarana untuk membantu menyelesaikan perhitungan agar lebih cepat dan teliti. Di dalam program tersebut berisi langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan, baik perhitungan matematika maupun pengolahan data.

Untuk mempermudah dalam penyusunan program, maka terlebih dahulu dibuat langkah-langkah penyelesaian secara urut, sistematis dan efisien. Langkah-langkah penyelesaian tersebut kemudian disusun dalam bentuk *flow chart* sehingga lebih memudahkan dalam penerjemahan ke dalam bahasa program. Bahasa program yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah bahasa Quick Basic, dan *flow chart* program menu dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.2. Perhitungan Beban Gempa

##### 4.2.1. Langkah-langkah Perhitungan Beban Gempa

1. Data yang diperlukan untuk perhitungan beban gempa adalah wilayah gempa, jenis tanah (lunak atau keras), tinggi bangunan (meter), jumlah tingkat, jarak antar portal (meter), faktor keutamaan bangunan I, dan faktor jenis struktur K.
2. Hitungan beban yang bekerja pada tiap tingkat ( $W_i$ ) dengan kombinasi beban mati dan beban hidup terfaktor, kemudian beban tersebut dijumlahkan sebagai total beban seluruh struktur ( $W_{total}$ ).



$$W_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n W_i \quad \dots(4.1)$$

dengan :

$$W_i = W_D + 0,5 W_L \quad \dots(4.2)$$

dimana,  $W_D$  adalah beban mati yang bekerja,  $W_L$  adalah beban hidup yang bekerja, 0,5 adalah nilai faktor reduksi beban hidup, dan  $n$  adalah jumlah tingkat.

3. Estimasi waktu getar alami gedung ( $T_{\text{awal}}$ ), dengan faktor jenis struktur dari beton menurut PPKGURDG 1987, dimana sebagai pendekatan nilai  $T_{\text{awal}}$  adalah :

$$T_{\text{awal}} = 0,006 \cdot H^{3/4} \quad \dots(4.3)$$

dengan  $T$  dalam detik dan  $H$  adalah tinggi total bangunan dalam meter.

4. Dengan menggunakan data wilayah gempa dan  $T_{\text{awal}}$ , maka Menurut PPKGURDG 1987 gambar 2.3 nilai koefisien gempa dasar  $C$  dapat diperoleh dengan :

- a. Jika wilayah gempa 1 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,045$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,09$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = -0,03 \times T + 0,105$

- b. Jika wilayah gempa 1 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,065$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,13$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,065 \times T + 0,165$

c. Jika wilayah gempa 2 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,035$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,07$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 2,3E-2 \times T + 8,167E-2$

d. Jika wilayah gempa 2 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,045$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,09$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,045 \times T + 0,135$

e. Jika wilayah gempa 3 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,025$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,05$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 1,67E-2 \times T + 5,833E-2$

f. Jika wilayah gempa 3 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,035$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,07$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,035 \times T + 0,105$

g. Jika wilayah gempa 4 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,035$

2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,07$

3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,03 \times T + 0,105$

h. Jika wilayah gempa 4 dan jenis tanah lunak, maka :

- 1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,015$
- 2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,03$
- 3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,01 \times T + 0,035$

i. Jika wilayah gempa 5 dan jenis tanah keras, maka :

- 1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,01$
- 2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,04$
- 3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,01 \times T + 0,5$

j. Jika wilayah gempa 5 dan jenis tanah lunak, maka :

- 1). Jika  $T \geq 2$  maka  $C = 0,01$
- 2). Jika  $T < 0,5$  maka  $C = 0,03$
- 3). Jika  $0,5 \leq T < 2$  maka  $C = - 0,01 \times T + 0,04$

k. Jika wilayah gempa 6, maka  $C = 0$ .

5. Gaya geser horisontal akibat beban gempa  $V$  didapatkan dari :

$$V = C. I. K. W_{\text{total}} \quad \dots(4.4)$$

dimana,  $I$  adalah faktor keutamaan bangunan,  $K$  faktor jenis struktur dan  $W_{\text{total}}$  adalah beban total seluruh struktur.

6. Beban horisontal akibat gempa adalah :

a. Untuk  $H/B < 3$ , dengan  $H$  adalah tinggi total bangunan dan  $B$  adalah lebar total bangunan, maka :

$$F_i = \frac{W_i.H_i}{\sum W_i.H_i} \times V \quad \dots(4.5)$$

dimana,  $F_i$  adalah beban horisontal terpusat pada tingkat ke- $i$ ,  $W_i$  adalah berat bangunan pada tingkat ke- $i$ ,  $H_i$  adalah tinggi tingkat ke- $i$ , dan  $V$  adalah gaya geser horisontal akibat beban gempa.

- b. Untuk  $H/B \geq 3$ , maka  $0,1V$  harus dianggap sebagai beban tambahan terpusat di lantai puncak dan  $0,9V$  sisanya harus dibagikan menurut rumus di atas.
7. Waktu getar alami struktur  $T$  yang berpengaruh terhadap gaya horisontal akibat gempa perlu dikontrol dengan rumus  $T_{\text{Rayleigh}}$ . Urut-urutan kontrol tersebut adalah sebagai berikut :
- a. Untuk menentukan waktu getar alami gedung yang terjadi, terlebih dahulu menghitung kekakuan seluruh kolom pada tiap-tiap tingkat ( $K$ ).

$$K_{ki} = \sum k_i \quad \dots(4.6)$$

dimana,  $k_i$  adalah kekakuan tiap kolom pada tingkat ke- $i$ .

$$k_i = \frac{12 \cdot E_c \cdot I}{L^3} \quad \dots(4.7)$$

dengan :

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

$$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3$$

- b. Akibat beban geser, defleksi per tingkat dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta = \frac{V \text{ (gaya geser per tingkat)}}{K_{ki} \text{ (kekakuan tingkat)}} \quad \dots(4.8)$$

- c. Menentukan defleksi horisontal total ujung tingkat berdasarkan :

$$\delta_i = \Sigma \Delta \quad \dots(4.9)$$

d. Menentukan waktu getar alami yang terjadi pada gedung dengan rumus

$T_{\text{Rayleigh}}$  :

$$T_{\text{Rayleigh}} = 2.\pi. \sqrt{\frac{\Sigma(W_i.\delta_i^2)}{g.\Sigma(F_i.\delta_i)}} \quad \dots(4.10)$$

dimana,  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/det}^2$ )

8. Jika  $T_{\text{Rayleigh}} \neq T_{\text{awal}}$ , maka ulangi perhitungan dari langkah ke-4 dengan  $T_{\text{Rayleigh}}$  sebagai  $T_{\text{awal}}$ .
9. Jika  $T_{\text{Rayleigh}} = T_{\text{awal}}$  atau  $T_{\text{awal}} \geq 80\% T_{\text{Rayleigh}}$ , maka  $F_i$  yang didapat dipakai dalam perhitungan analisis struktur (Takabeya).

#### 4.2.2. Flow Chart Perhitungan Gempa

*Flow chart* perhitungan gempa terdiri dari dua bagian. Bagian pertama merupakan *flow chart* perhitungan beban gempa, dan *flow chart* bagian kedua merupakan perhitungan wilayah gempa. *Flow chart* perhitungan gempa dapat dilihat pada halaman yang berikutnya.

### 4.3. Perhitungan Analisis Struktur (Metoda Takabeya)

#### 4.3.1. Langkah-langkah Perhitungan Analisis Struktur

2. Data yang diperlukan untuk perhitungan analisis struktur adalah dimensi seluruh elemen portal dan beban-beban yang bekerja.
3. Menentukan angka kekakuan relatif masing-masing batang dengan rumus :

$$k(i,j) = \frac{I}{L} = \frac{1/12.b.h^3}{L} \quad \dots(4.11)$$

3. Menentukan faktor distribusi masing-masing join terhadap join yang lainnya :

$$\alpha_{(i,j)} = \frac{k_i}{\rho_i} \quad \dots\dots(4.12)$$

dengan :

$$\rho_i = 2. (\sum k_i)$$

$k_i$  adalah kekakuan dari titik  $i$  terhadap titik yang lain.

4. Menghitung momen-momen primer yang terjadi akibat beban terbagi rata pada balok.

$$M_i = 1/12. Q. L^2 \quad (+/kiri, -/kanan) \quad \dots\dots(4.13)$$

sehingga momen residu join  $i$  adalah :

$$\tau_i = \sum M_i \quad \dots\dots(4.14)$$

5. Menghitung momen distribusi pertama :

$$m_i^o = \frac{\tau_i}{\rho_i} \quad \dots\dots(4.15)$$

6. Sesuai dengan batasan, portal yang digunakan merupakan portal simetris dan portal terbuka sehingga portal akan mengalami penggoyangan jika dibebani.

Nilai faktor penggoyangan ditentukan sebagai berikut :

$$t_{\text{kolom}} = \frac{3.K_k}{T_i} \quad \dots\dots(4.16)$$

dengan :

$$T_i = 2. (\sum K_k)$$

dimana,  $K_k$  adalah kekakuan kolom pada tingkat yang ditinjau.

7. Momen distribusi penggoyangan awal adalah :

$$m_i^o = \frac{h_i \cdot \{F_i\}}{T_i} \quad \dots(4.17)$$

8. Perhitungan momen distribusi putaran ke-n adalah :

$$m_i^n = m_i^o + \frac{\{-\tau\} \cdot \{m_i + m_i\}}{\{-\tau\} \cdot \{m_i\}} + \frac{\{-\tau\} \cdot \{m_i\}}{\{-\tau\} \cdot \{m_i + m_i\}} \quad \dots(4.18)$$

9. Perhitungan momen desainnya adalah :

$$M_{(i,j)} = k_{(i,j)} \cdot \{2 \cdot m_i + m_j + m_i\} + M_i \quad \dots(4.19)$$

10. Periksa momen akhir pada join i, dimana jumlah momen akhir suatu join harus sama dengan nol, jika tidak harus dikoreksi.

$$M_i = \Sigma M_{(i,j)} \quad \dots(4.20)$$

11. Perhitungan momen akhir setelah dikoreksi adalah sebagai berikut :

$$M_{(i,j)} = M_{(i,j)} - \frac{M_{(i,j)} \cdot k_{(i,j)}}{\Sigma k_i} \quad \dots(4.21)$$

12. Karena gaya-gaya yang dihasilkan akan digunakan untuk perhitungan struktur beton dengan menggunakan kombinasi pembebanan, maka perhitungan dengan metoda Takabeya ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing beban, yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa.

#### 4.4. Redistribusi Momen

Hasil dari perhitungan Takabeya untuk masing-masing beban yang kemudian dikombinasikan, seringkali memberikan hasil superposisi momen yang relatif jauh berbeda antara momen tumpuan negatif dan positif. Redistribusi momen dimaksudkan untuk menyeimbangkan antara momen tumpuan negatif dan

posistif tersebut, sehingga di dalam perencanaan beton bertulang dari portal yang dimaksudkan menjadi lebih efisien.

#### 4.4.1. Langkah-Langkah Redistribusi Momen dan Desain Kapasitas

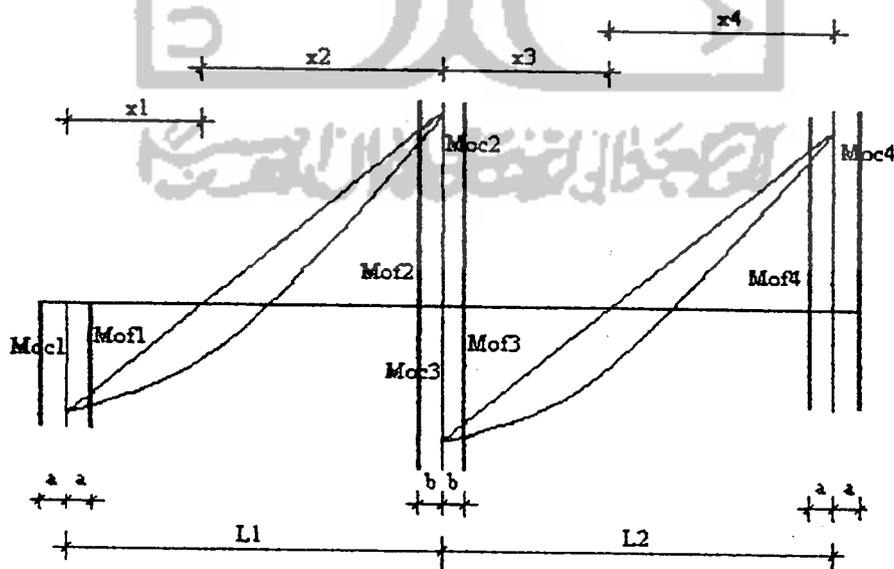
##### a. Capacity Design Method

1. Data yang diperlukan untuk meredistribusi momen adalah dimensi seluruh batang portal, momen-momen yang bekerja pada struktur portal, tinggi kolom dan panjang bentang balok. Redistribusi momen dilakukan terhadap momen maksimum dari analisis struktur akibat beban berfaktor, dealam Tugas Akhir ini dipakai nilai  $\mu$  berdasarkan NZS 4203 : 1984 (New Zealand), yaitu :

$$M_u = 1,0 M_D + 1,3 M_L + 1,0 M_E \quad \dots(4.22)$$

dimana,  $M_D$  adalah momen akibat beban mati,  $M_L$  adalah momen akibat beban hidup, dan  $M_E$  adalah momen akibat beban gempa.

2. Redistribusi momen balok pada pada garis pusat kolom ( $M_{oc}$ ), dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.1. Redistribusi momen balok pada bidang muka kolom

2.(a). Pada kolom interior

$$M_i = 0,70. Mex._i \quad \dots\dots(4.23)$$

dengan nilai 0,70 diambil karena besarnya redistribusi maksimum yang diijinkan adalah 30 % dari Mex.<sub>i</sub>.

maka,

$$M_i \text{ maks} = M_i + Z \% . Mex._i \quad \dots(4.24)$$

dengan nilai  $z \leq 30$ .

Sehingga didapatkan nilai redistribusi momen balok pada kolom interiornya adalah :

$$q_i = \frac{Mex._i - M_i \text{ maks}}{Mex._i} \quad \dots\dots(4.25)$$

maka, akan diperoleh besarnya momen setelah redistribusi sebagai berikut :

$$Moc_2 = M_{i, ki} = Mex._i - q_i. Mex._i \quad \dots\dots(4.26)$$

$$Moc_3 = M_{i, ka} = Mex._i + q_i. Mex._i \quad \dots\dots(4.27)$$

2.(b). Pada kolom eksterior

$$M_e = 0,70. Mex._e \quad \dots\dots(4.28)$$

dengan nilai 0,70 diambil karena besarnya redistribusi maksimum yang diijinkan adalah 30 % dari Mex.<sub>i</sub>.

maka,

$$M_e \text{ maks} = M_e + Z \% . Mex._e \quad \dots\dots(4.29)$$

dengan nilai  $z \leq 30$ .

Sehingga didapatkan nilai redistribusi momen balok

pada kolom eksteriornya adalah :

$$q_e = \frac{M_{e,i} - M_{e,max}}{M_{e,i}} \quad \dots(4.30)$$

maka, akan diperoleh besarnya momen balok setelah redistribusi sebagai berikut :

$$M_{e,ki} = M_{e,ki} = M_{e,i} + q_e \cdot M_{e,i} \quad \dots(4.31)$$

$$M_{e,ka} = M_{e,ka} = M_{e,i} - q_e \cdot M_{e,i} \quad \dots(4.32)$$

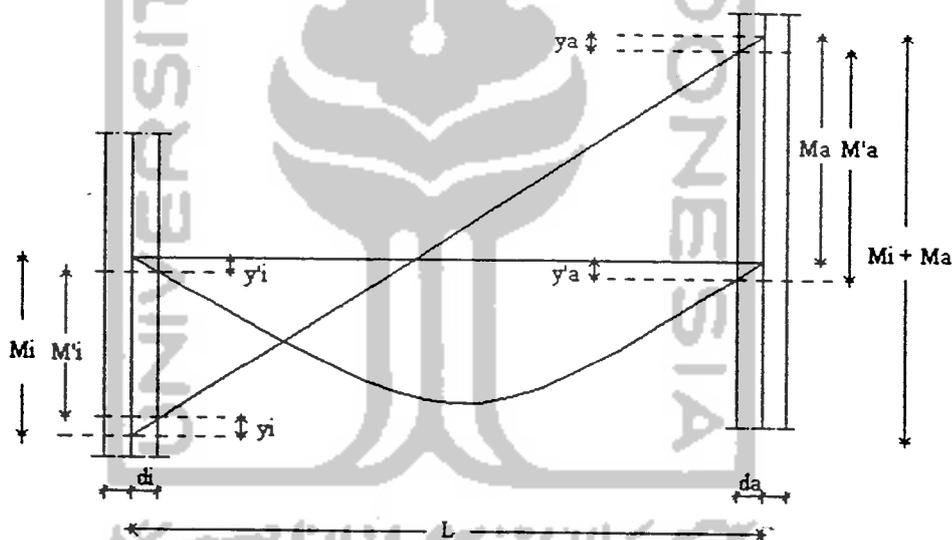
dimana,  $M_i$  dan  $M_e$  masing-masing adalah momen balok pada kolom interior dan eksterior,  $M_{e,i}$  dan  $M_{e,e}$  masing-masing adalah momen balok extreme (momen terbesar) pada kolom interior dan eksterior,  $q_i$  dan  $q_e$  masing-masing adalah besarnya momen redistribusi balok pada kolom interior dan eksterior,  $M_{i,ki}$  dan  $M_{i,ka}$  adalah momen balok pada kolom interior sebelah kiri dan sebelah kanan setelah redistribusi, serta  $M_{e,ki}$  dan  $M_{e,ka}$  adalah momen balok pada kolom eksterior setelah redistribusi sebelah kiri dan sebelah kanan setelah redistribusi.

3. Redistribusi momen pada muka kolom ( $M'_{of}$ ), dengan cara sebagai berikut :
  - a. Mencari besarnya momen balok pada muka kolom awal ( $M_{of}$ ), yaitu dengan cara sebagai berikut :
    - 1). Menentukan jarak momen bernilai nol ke garis pusat kolom ( $x$ ), yaitu :



dimana,  $a$  dan  $b$  adalah setengah lebar kolom eksterior dan interior,  $M_1$  tot dan  $M_2$  tot adalah momen total balok pada bentang 1 dan bentang 2,  $M_{of_1}$  dan  $M_{of_2}$  adalah momen balok pada muka kolom eksterior bentang 1 dan bentang 2,  $M_{of_3}$  dan  $M_{of_4}$  adalah momen balok pada muka kolom interior bentang 1 dan bentang 2,  $x_1$  dan  $x_4$  adalah jarak momen nol ke garsi pusat kolom eksterior bentang 1 dan bentang 2, serta  $x_2$  dan  $x_3$  adalah jarak momen nol ke garis pusat kolom interior bentang 1 dan bentang 2.

- b. Mencari besarnya momen balok pada muka kolom akhir ( $M'_{of}$ ), dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.3. Momen balok pada muka kolom yang sebenarnya

- 1). Menentukan momen balok karena kombinasi beban terbagi rata, yaitu :

$$Q = Q_D + 1,3 Q_L \quad \dots\dots(4.41)$$

dengan asumsi perletakan sebagai sendi-sendi, sehingga didapatkan :

$$M = 1/8. Q.L^2 \quad \dots\dots(4.42)$$

- 2). Menentukan besarnya pengurangan dan penambahan momen balok pada muka kolom yang sebenarnya, yaitu :

$$y_1 = \frac{a. (Moc_1 + Moc_2)}{L_1} \quad \dots\dots(4.43)$$

$$y_2 = \frac{b. (Moc_1 + Moc_2)}{L_1} \quad \dots\dots(4.44)$$

$$y'_1 = \frac{4.M.a.(L_1 - a)}{L_1^2} \quad \dots\dots(4.45)$$

$$y'_2 = \frac{4.M.b.(L_1 - b)}{L_1^2} \quad \dots\dots(4.46)$$

$$y_3 = \frac{b. (Moc_3 + Moc_4)}{L_2} \quad \dots\dots(4.47)$$

$$y_4 = \frac{a. (Moc_3 + Moc_4)}{L_2} \quad \dots\dots(4.48)$$

$$y'_3 = \frac{4.M.b.(L_2 - b)}{L_2^2} \quad \dots\dots(4.49)$$

$$y'_4 = \frac{4.M.a.(L_2 - a)}{L_2^2} \quad \dots\dots(4.50)$$

- 3). Menentukan momen balok pada muka kolom akhir (M'of), yaitu :

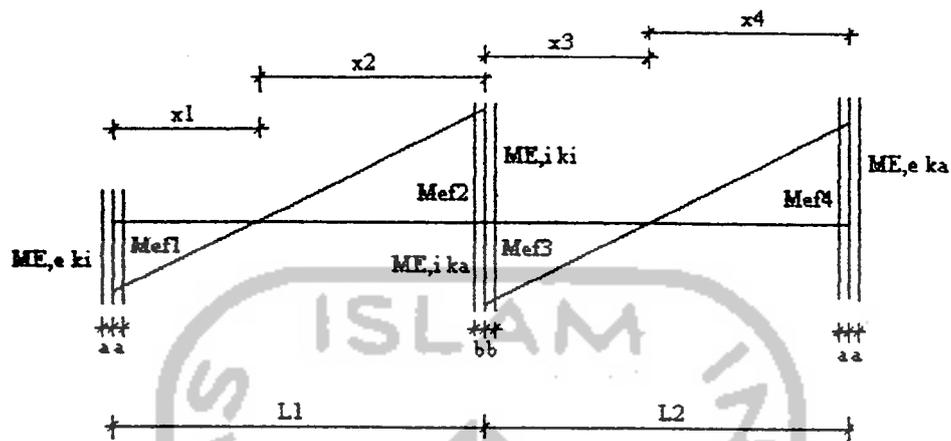
$$M'fo_1 = Moc_1 - y_1 - y'_1 \quad \dots\dots(4.51)$$

$$M'fo_2 = Moc_2 - y_2 + y'_2 \quad \dots\dots(4.52)$$

$$M'fo_3 = Moc_3 - y_3 - y'_3 \quad \dots\dots(4.53)$$

$$M'fo_4 = Moc_4 - y_4 + y'_4 \quad \dots\dots(4.54)$$

4. Mencari besarnya momen gempal balok pada muka kolom dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.4. Momen gempal balok pada muka kolom

- a. Menentukan jarak momen gempal balok bernilai nol dari garis pusat kolom (x), yaitu :

$$M_1 \text{ tot} = Mec_1 + Mec_2 \quad \dots(4.55)$$

$$M_2 \text{ tot} = Mec_3 + Mec_4 \quad \dots(4.56)$$

maka, didapatkan jarak momen gempal bernilai nol (x) :

$$x_1 = \frac{Mec_1 \cdot L_1}{M_1 \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_2 = L_1 - x_1 \quad \dots(4.57)$$

$$x_3 = \frac{Mec_3 \cdot L_2}{M_2 \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_4 = L_2 - x_3 \quad \dots(4.58)$$

- b. Menentukan momen gempal balok pada muka kolom, yaitu :

$$Mef_1 = \frac{Mec_1 \cdot (x_1 - a)}{x_1} \quad \dots(4.59)$$

$$Mef_2 = \frac{Mec_2 \cdot (x_2 - b)}{x_2} \quad \dots(4.60)$$

$$Mef_3 = \frac{Mec_3.(x_3 - b)}{x_3} \quad \dots(4.61)$$

$$Mef_4 = \frac{Mec_4.(x_4 - a)}{x_4} \quad \dots(4.62)$$

5. Mencari besarnya *flexural overstrength factor* (faktor kuat lebih lentur  $\phi_o$ ), dengan cara sebagai berikut :

E. Menentukan momen kapasitas balok tumpuan (penulangan lentur balok) :

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan ( $\varnothing_p$  dan  $\varnothing_s$ ), kuat desak beton ( $f'_c$ ), kuat tarik baja ( $f_y$ ), momen rencana ( $M'fo$ ), lebar balok ( $b$ ), tinggi balok ( $h$ ), dan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ), serta tebal selimut beton ( $s$ ).

- 2). Menentukan harga  $\beta_1$  berdasarkan kuat desak beton ( $f'_c$ ) yang dipakai, yaitu :

Jika  $f'_c \leq 30$  MPa, maka  $\beta_1 = 0,85$ .

Jika  $30 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$ .

Jika  $f'_c \geq 55$  MPa, maka  $\beta_1 = 0,65$ .

- 3). Menentukan harga  $R_n$ , yaitu :

$$R_n = M'fo / \phi(b.d^2) \quad \dots(4.63)$$

dengan :  $d = h - d'$

dimana,  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sebesar 0,9.

- 4). Menentukan rasio penulangan ( $\rho$ ), yaitu :

$$\rho = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right\} \quad \dots(4.64)$$

dengan :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad \dots(4.65)$$

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* ( $\rho_b$ ) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan berdasarkan nilai rasio penulangannya, yaitu :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots(4.66)$$

7). Menentukan panjang blok desak beton (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.67)$$

8). Menentukan momen kapasitas awal balok ( $M_n$ ), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad \dots(4.68)$$

Jika  $M_n > M'fo / \phi$ , maka balok bertulangan sebelah.

Jika  $M_n \leq M'fo / \phi$ , maka balok bertulangan rangkap.

B. Balok bertulangan sebelah.

1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan ( $\emptyset_p$  dan  $\emptyset_s$ ), kuat desak beton ( $f'_c$ ), kuat tarik baja ( $f_y$ ), momen rencana ( $M'fo$ ), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ), serta tebal selimut beton (s).

2). Menentukan harga  $\beta_1$  berdasarkan kuat desak beton ( $f'_c$ ) yang dipakai, yaitu :

Jika  $f'c \leq 30$  MPa, maka  $\beta_1 = 0,85$ .

Jika  $30 \text{ MPa} < f'c < 55 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$ .

Jika  $f'c \geq 55$  MPa, maka  $\beta_1 = 0,65$ .

3). Menentukan harga  $R_n$  sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan  $\rho$  dan  $m$  sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* ( $\rho_b$ ) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66).

7). Menghitung luas satu tulangan berdasarkan diameter tulangan pokok dipakai.

$$A_{sD} = \pi \cdot (\phi_{pTr} / 2)^2 \dots \dots \dots (4.69)$$

8). Menentukan jumlah tulangan dipakai dan luas tulangan total.

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\phi_{pTr} / 2)^2} \dots \dots \dots (4.70)$$

$$\text{maka : } A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi_{pTr} / 2)^2$$

7). Menentukan panjang blok desak beton ( $a$ ) sesuai Persamaan (4.67), maka :

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

$$c = a / \beta_1 \dots \dots \dots (4.71)$$

8). Check regangan baja berdasarkan nilai  $c$ , yaitu :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \dots \dots \dots (4.72)$$

- a. 1. Jika  $\epsilon_s > \epsilon_y = f_y / E_s$ , maka anggapan awal  $f_s = f_y$  benar ( baja telah luluh).

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad \dots\dots(4.73)$$

2. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{Mfe} \quad \dots\dots(4.75)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot M_n}{Mfe} \quad \dots\dots(4.76)$$

- b. 1. Jika  $\epsilon_s \leq \epsilon_y = f_y / E_s$ , maka :

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \quad \dots\dots(4.77)$$

2. Menentukan panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots\dots(4.78)$$

3. Menentukan momen kapasitas balok ( $M_n$ ), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot (d - a/2) \quad \dots\dots(4.79)$$

6. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{Mfe} \quad \dots\dots(4.81)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot M_n}{Mfe} \quad \dots\dots(4.82)$$

### C. Balok bertulangan rangkap.

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan ( $\emptyset_p$  dan  $\emptyset_s$ ), kuat desak beton ( $f'_c$ ), kuat tarik baja ( $f_y$ ), momen

rencana ( $M'fo$ ), lebar balok ( $b$ ), tinggi balok ( $h$ ), dan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ), serta tebal selimut beton ( $s$ ).

2). Menentukan harga  $\beta_1$  berdasarkan kuat desak beton ( $f'c$ ) yang dipakai, yaitu :

Jika  $f'c \leq 30$  MPa, maka  $\beta_1 = 0,85$ .

Jika  $30 \text{ MPa} < f'c < 55 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$ .

Jika  $f'c \geq 55 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,65$ .

3). Menentukan harga  $R_n$  sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan  $\rho$  dan  $m$  sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* ( $\rho_b$ ) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66), yaitu :

$$A_s = \rho_b \cdot b \cdot d$$

7). Menentukan momen kapasitas balok tarik ( $M_{n1}$ ), yaitu :

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

$$M_{n1} = M_n \quad \dots\dots(4.83)$$

8). Momen kapasitas balok desak ( $M_{n2}$ ) adalah :

$$M_{n2} = M'fo/\phi - M_{n1} \quad \dots\dots(4.84)$$

9). Luas baja tulangan desak ( $A's$ ) adalah :

$$A's = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')} \quad \dots\dots(4.85)$$

10). Menentukan jumlah tulangan desak ( $n'$ ), yaitu :

$$n' = \frac{A'_s}{\pi \cdot (\varnothing pTk / 2)^2} \quad \dots(4.86)$$

$$\text{maka : } A'_s = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing pTk / 2)^2$$

11). Menentukan luas tulangan tarik ( $As1$ ), yaitu :

$$As = As1 + As2 \quad \dots(4.87)$$

$$\text{dengan : } As2 = A'_s$$

$$As2 = \rho_b \cdot b \cdot d \quad \dots(4.88)$$

$$As1 = As - As2$$

$$= As - A'_s$$

sehingga :

$$n = \frac{As1}{\pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2} \quad \dots(4.89)$$

$$As1 = n \cdot \pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2$$

12). Menghitung panjang blok beton desak ( $a$ ), yaitu :

$$a = \frac{As1 \cdot fs}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad \dots(4.90)$$

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.91)$$

13). Menentukan nilai regangan tulangan desak ( $\epsilon'_s$ ), yaitu :

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.92)$$

a. Jika  $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$ , maka :

$$1. C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \quad \dots(4.93)$$

$$2. C_s = A_s \cdot f_y \quad \dots(4.94)$$

3. Momen kapasitas balok ( $M_n$ ) adalah :

$$M_n = C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d') \quad \dots(4.95)$$

8. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{M_{Kap}}{M_{fe}} \quad \dots(4.99)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot M_n}{M_{fe}} \quad \dots(4.100)$$

b. Jika  $\epsilon'_s < \epsilon_y$ , maka :

1. Regangan tulangan desaknya adalah :

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.101)$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga : } f'_s &= \epsilon'_s \cdot E_s \\ &= \frac{c - d'}{c} \cdot 600 \quad \dots(4.102) \end{aligned}$$

2. Menghitung kuat desak beton ( $C_c$ ) :

$$C_c = 0,85 \cdot b \cdot f'_c \cdot a \quad \dots(4.103)$$

3. Menghitung kuat desak baja tulangan ( $C_s$ ) :

$$C_s = A_s \cdot f'_s \quad \dots(4.104)$$

4. Menghitung kuat tarik baja tulangan ( $T_s$ ) :

$$T_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$\begin{aligned}
 &= A s_1 \cdot f_y + A s_2 \cdot f_y \\
 &= A s \cdot f_y \qquad \dots\dots(4.105)
 \end{aligned}$$

5. Menghitung harga c dengan keseimbangan gaya horisontal :

a. Keseimbangan C = T atau C - T = 0,

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + A's \cdot \left\{ \frac{(c - d')}{c} \cdot 600 \right\} - A s \cdot f_y = 0$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c + A's \cdot \left\{ \frac{(c - d')}{c} \cdot 600 \right\} - A s \cdot f_y = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1) \cdot c^2 + (600 \cdot A's - A s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot d' \cdot A's = 0 \qquad \dots\dots(4.106)$$

$$\text{maka : } A = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 ; B = (600 \cdot A's - A s \cdot f_y) ; C = - 600 \cdot d' \cdot A's$$

b. Menghitung nilai c berdasarkan dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2A} \qquad \dots\dots(4.107)$$

6. Menghitung nilai berdasarkan nilai a :

$$a = c \cdot \beta_1$$

7. Menentukan tegangan tulangan desak ( $f's$ ), yaitu :

$$\epsilon's = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003$$

$$\text{sehingga : } f's = \epsilon's \cdot E_s$$

8. Menentukan momen kapasitas balok ( $M_n$ ) adalah :

$$M_n = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A's \cdot f's \cdot (d - d') \qquad \dots\dots(4.108)$$

9. Faktor kuat lebih balok adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{Mfe} \quad \dots(4.100)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot Mn}{Mfe} \quad \dots(4.100)$$

6. Menentukan besarnya gaya geser balok karena beban gempa ( $V_{Eo}$ ), dengan cara sebagai berikut :

$$V_{Eo1} = \frac{(Mef_1 \cdot \phi_{o1}) + (Mef_2 \cdot \phi_{o2})}{L_{n1}} \quad \dots(4.111)$$

$$V_{Eo2} = \frac{(Mef_3 \cdot \phi_{o3}) + (Mef_4 \cdot \phi_{o4})}{L_{n2}} \quad \dots(4.112)$$

dimana,  $Mef$  adalah momen gempa balok pada muka kolom, dan  $L_n$  adalah bentang bersih balok (muka kolom ke muka kolom).

7. Menentukan besarnya gaya aksial kolom karena beban gempa ( $P_{Eo}$ ) dengan cara sebagai berikut :

$$P_{Eo} = R_v \cdot \Sigma V_{Eo} \quad \dots(4.113)$$

$$= (1 - n/67) \cdot \Sigma V_{Eo} \quad \dots(4.114)$$

dimana,  $n$  adalah jumlah tingkat yang ditinjau dan  $R_v$  adalah faktor reduksi beban aksial, serta  $\Sigma V_{Eo}$  adalah gaya geser balok karena gempa dari seluruh tingkat di atas tingkat yang ditinjau.

8. Menentukan gaya aksial kolom ( $P_u$ ), dengan cara sebagai berikut :

- a. Gaya aksial kolom maksimum ( $P_u$  maks), yaitu :

$$P_u \text{ maks} = ( Q_D + Q_L + P_{Eo} ) \quad \dots(4.115)$$

b. Gaya aksial kolom minimum ( $P_u \text{ min}$  ), yaitu :

$$P_u \text{ min} = ( 0,90 Q_D - P_{Eo} ) \quad \dots (4.116)$$

dengan :

$$Q_D = M_D / L \quad ; \text{ dan } Q_L = M_L / L$$

dimana,  $M_D$  adalah momen balok karena beban mati, dan  $Q_L$  adalah momen balok karena beban hidup.

9. Menentukan besarnya gaya geser kolom ( $V_u$ ) dengan cara sebagai berikut :

a. Pada tingkat pertama (*column base*), yaitu :

$$V_u = \frac{\phi_o^* \cdot Me^* + 1,3 \cdot \phi_o \cdot Me_{top}}{h'k + 0,5 hb} \quad \dots(4.117)$$

dengan :

$\phi_o^* = \lambda_o / \phi_c$  , dimana  $\phi_c$  adalah faktor reduksi kekuatan kolom untuk geser yang nilainya 0,85.

b. Pada tingkat atas (selain tingkat pertama), yaitu :

$$V_u = 1,3 \cdot \phi_o \cdot V_{E \text{ code}} \quad \dots(4.118)$$

dengan :

$$V_{E \text{ code}} = \frac{Me_{bottom} + Me_{top}}{hk} \quad \dots(4.119)$$

dimana,  $V_{E \text{ code}}$  adalah gaya geser dari kolom tingkat yang ditinjau karena gempa,  $M_{e \text{ bottom}}$  dan  $M_{e \text{ top}}$  adalah momen gempa kolom pada bagian bawah dan atas, serta  $h_k$  adalah tinggi kolom.

10. Menentukan besarnya momen kolom ( $M_{u, k}$ ), yaitu :

$$M_{u, k} = R_m \cdot (\phi_o \cdot \omega \cdot M_e - 0,3 \cdot h_b \cdot V_u) \quad \dots (4.120)$$

dimana,  $R_m$  adalah faktor reduksi untuk kolom yang nilainya tergantung pada besarnya nilai  $P_u/f'_c \cdot A_g$ , dan  $\omega$  adalah faktor pembesaran dinamik dari momen kolom,  $P_u$  adalah gaya aksial maksimum kolom,  $A_g$  adalah luas tampang beton serta  $f'_c$  adalah kuat desak beton.

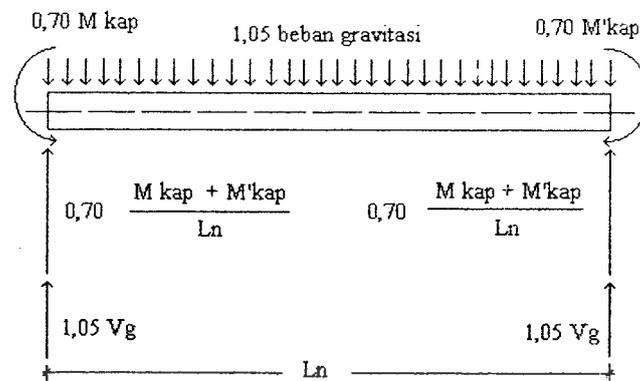
#### **b. SK SNI T-15-1991-03**

1. Menentukan besarnya kuat momen lentur maksimum perlu berdasarkan kombinasi beban terfaktor, yaitu :

$$\begin{aligned} M_u &= 1,05 ( M_D + M_{Lr} + M_E ) \\ &= 1,05 ( M_D + 0,6 \cdot M_L + M_E ) \quad \dots (4.121) \end{aligned}$$

2. Menentukan momen kapasitas balok pada tumpuan ( $M_{kap}$ ) yaitu momen momen lentur balok berdasarkan luas baja tulangan terpasang, analaog dengan langkah-langkah menghitung momen kapasitas pada cara Capacity Design Persamaan (4.63) sampai dengan (4.100)).

3. Menghitung kuat geser balok ( $V_{u, b}$ ) dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.5. kuat geser balok

- Menentukan momen kapasitas balok pada tumpuan, sesuai dengan Persamaan (3.68).
- Menentukan besarnya gaya geser balok karena beban gravitasi ( $V_g$ ), yaitu :

$$V_g = 1,2 V_D + 1,6 V_L \quad \dots(4.122)$$

dimana,  $V_D$  adalah gaya geser balok karena beban mati, dan  $V_L$  adalah gaya geser balok karena beban hidup.

- Menentukan Kuat geser balok ( $V_{u,b}$ ), yaitu :

$$V_{u,b} = 0,07 \cdot \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{L_n} + 1,05 \cdot V_g \quad \dots(4.123)$$

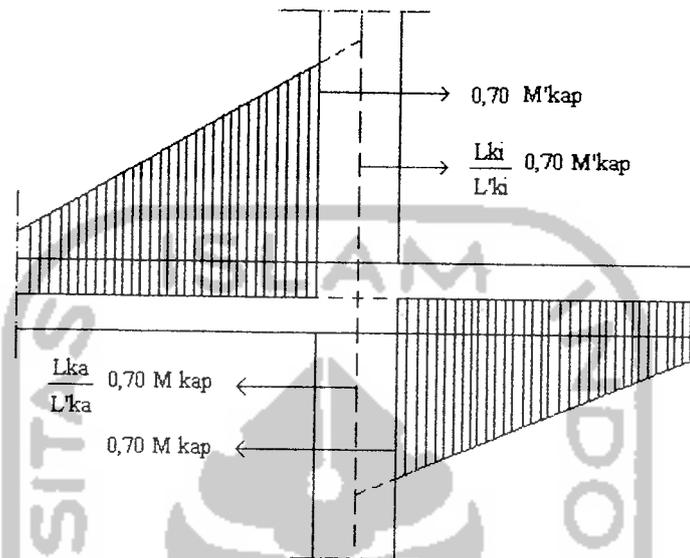
dimana,  $M_{kap}$  adalah momen kapasitas balok pada muka kolom,  $M'_{kap}$  adalah momen kapasitas balok pada muka kolom sebelahny, dan  $L_n$  adalah bentang bersih balok.

- Tetapi dalam segala hal,  $V_{u,b}$  tidak perlu lebih dari :

$$V_{u,b \text{ maks}} = 1,05 ( V_D + V_L + (4 / K). V_E ) \quad \dots(4.124)$$

dimana, K adalah faktor jenis struktur bangunan.

4. Menghitung kuat lentur kolom portal ( $M_{u,k}$ ) dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.6. Kuat lentur kolom

- Menentukan momen kapasitas lentur balok, sesuai dengan Persamaan di atas.
- Menentukan faktor distribusi momen ( $\alpha_k$ ) yang nilainya sebanding dengan kekakuan relatif elemen struktur pada join yang ditinjau, yaitu :

$$\alpha_{ka} = \frac{ka}{(ka + kb)} ; \text{ atau } \alpha_{kb} = \frac{kb}{(ka + kb)}$$

dimana, ka adalah kekakuan relatif kolom atas join, dan kb adalah kekakuan relatif kolom bawah join.

- Menentukan faktor pembesaran dinamik kolom ( $\omega_d$ ), yaitu :

1). untuk tingkat pertama dan tingkat puncak  $\omega_d = 1,0$

2). untuk tingkat kedua  $\omega_d = 1,15$

3). untuk tingkat lainnya diambil  $\omega_d = 1,15$

d. Menentukan kuat lentur kolom ( $M_{u,k}$ ), yaitu :

$$M_{u,k} = \frac{h^3 k}{hk} \omega_d \cdot \alpha_k \cdot 0,70 \left( \frac{L_{ki}}{L'_{ki}} M'_{kap} + \frac{L_{ka}}{L'_{ka}} M_{kap} \right) \quad \dots (4.125)$$

e. Dalam segala hal,  $M_{u,k}$  tidak perlu lebih besar dari :

$$M_{u,k} \text{ maks} = 1,05 ( M_{D,k} + M_{L,k} + ( 4 / K ). M_{E,k} ) \quad \dots (4.126)$$

dimana,  $M_{D,k}$ ,  $M_{L,k}$ , dan  $M_{E,k}$  adalah momen kolom pada muka balok.

5. Mencari gaya aksial kolom ( $P_{u,k}$ ) dengan cara sebagai berikut :

- a. Menentukan momen kapasitas balok sesuai dengan Persamaan di atas.
- b. Menentukan gaya aksial kolom pada joint akibat berat sendiri kolom dan beban gravitasi tak berfaktor, yaitu :

$$N_g = \sum_i^n (N_D + N_L + BS_{kolom}) \quad \dots (4.127)$$

dengan :

$$N_D = \frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot L, \quad N_L = \frac{1}{2} \cdot Q_L \cdot L, \quad BS_{kolom} = b \cdot h \cdot hk \cdot \gamma_{beton}$$

dimana,  $N_D$  adalah gaya aksial kolom karena beban mati balok,  $N_L$  adalah gaya aksial kolom karena beban hidup balok, dan  $BS_{kolom}$  adalah berat sendiri kolom, serta  $\sum$  adalah jumlah total gaya aksial ditinjau dari joint yang dimaksud dan seluruh gaya aksial dari tingkat di atasnya.

d. Menentukan faktor reduksi gaya aksial kolom ( $R_v$ ) yaitu :

$$R_v = 1,0 \quad \text{untuk } 1 < n \leq 4$$

$$R_v = 1,10 - 0,025 \cdot n \quad \text{untuk } 4 < n \leq 20$$

$$R_v = 0,6 \quad \text{untuk } n > 20.$$

e. Menentukan gaya aksial kolom ( $P_{u,k}$ ), yaitu :

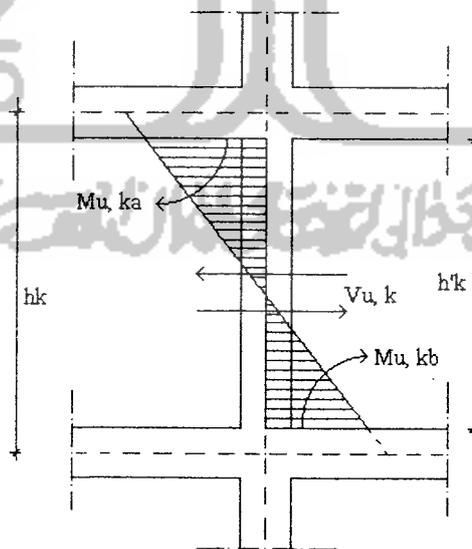
$$P_{u,k} = R_v \cdot 0,70 \cdot \left( \frac{M_{kap,i} + M'_{kap,i}}{L'_{ki}} + \frac{M_{kap,a} + M'_{kap,a}}{L'_{ka}} \right) + 1,05 \cdot N_g \quad \dots(4.128)$$

f. Dalam segala hal,  $P_{u,k}$  tidak boleh lebih dari :

$$P_{u,k \text{ maks}} = 1,05 ( N_{D,k} + N_{L,k} + (4 / K) \cdot N_{E,k} ) \quad \dots(4.129)$$

dimana,  $N_{D,k}$ ,  $N_{L,k}$ , dan  $N_{E,k}$  adalah gaya aksial kolom akibat beban gravitasi takberfaktor dan akibat beban gempa.

6. Mencari kuat geser kolom ( $V_{u,k}$ ) dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.7. Kuat geser kolom

- a. Menentukan kuat lentur kolom sesuai dengan Persamaan di atas.
- b. Menentukan kuat geser kolom ( $V_{u,k}$ ), yaitu :

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,ka} + M_{u,kb}}{h'k} \quad \dots (4.130)$$

dimana,  $h'k$  adalah tinggi bersih kolom yang ditinjau.

- c. Dalam segala hal,  $V_{u,k}$  tidak lebih dari :

$$V_{u,k} \text{ maks} = 1,05 ( V_{D,k} + V_{L,k} + (4/K) \cdot V_{E,k} ) \quad \dots (4.131)$$

dimana,  $V_{D,k}$ ,  $V_{L,k}$  dan  $V_{E,k}$  adalah gaya geser kolom karena beban gravitasi tak berfaktor dan gaya geser kolom akibat beban gempa, serta  $K$  adalah faktor jenis struktur bangunan.

#### 4.4.2. Flow Chart Redistribusi Momen dan Momen Kapasitas

Flow chart redistribusi momen dan momen kapasitas, serta momen dan gaya-gaya yang bekerja pada balok dan kolom disajikan pada lampiran.

### 4.5. Perencanaan Balok

#### 4.5.1. Langkah-langkah Perencanaan Balok

1. Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan, kuat desak beton ( $f'_c$ ), kuat tarik baja ( $f_y$ ), momen rencana ( $M_r$ ), dan perbandingan  $d/b$ ,
2. Sebagai asumsi awal bahwa seluruh bagian balok, baik desak maupun tarik telah luluh, sehingga  $f'_s = f'_c$  dan  $f_s = f_y$ ,

3. Menentukan rasio penulangan *balanced* dan minimum,
  - a. rasio penulangan *balanced* ( $\rho_b$ ) sesuai dengan Persamaan (3.29),
  - b. rasio penulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) sesuai dengan Persamaan (3.30),
1. Rasio penulangan yang digunakan untuk tarik 1 ( $\rho_1$ ) sebesar 0,6 dari rasio penulangan *balanced* ( $\rho_b$ ), maka :

$$\rho_1 = 0,6 \cdot \rho_b \quad \dots\dots(4.132)$$

5. Tentukan  $b.d^2$  yang perlu disesuaikan dengan Persamaan (3.32) sampai dengan Persamaan (3.33),
6. Dengan harga perbandingan  $d/b$  yang telah ditentukan, maka harga  $d$  dan  $b$  dapat diperoleh. Pembulatan nilai  $b$  adalah ke atas, sedangkan pembulatan nilai  $d$  adalah ke bawah dengan pengurangan 8 cm agar balok bertulangan rangkap,
7. Tentukan letak garis netral ( $c$ ), yaitu :

$$c = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad \dots\dots(4.133)$$

8. Menentukan luas tulangan 1 ( $A_{s1}$ ), yaitu :

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.134)$$

9. Menentukan momen tampang 1 ( $M_{n1}$ ) sesuai dengan Persamaan (3.34),
10. Apabila  $M_{n1} < M_n$ , maka direncanakan sebagai balok bertulangan rangkap, dan apabila  $M_{n1} \geq M_n$ , serta dianggap sebagai balok bertulangan sebelah.

#### 4.5.1.1. Desain Balok Bertulangan Sebelah

1. Tentukan terlebih dahulu harga yang baru dengan menghitung  $R_n$  baru untuk penampang yang dipilih dengan memakai :

$$\rho_{baru} = \rho_{lama} = \frac{R_n \text{ baru}}{R_n \text{ lama}} \quad \dots(4.135)$$

dengan :

$$R_n \text{ baru} = M_n / (b \cdot d^2) \quad \dots(4.136)$$

Hitung luas tulangan ( $A_s$ ) yang dipakai

$$A_s = \rho_{baru} \cdot (b \cdot d) \quad \dots(4.137)$$

3. Jumlah tulangan ( $n$ ) ditentukan dengan :

$$n = \frac{A_s}{\pi \left( \frac{1}{2} \cdot \phi_{Tr} \right)^2} \quad \dots(4.138)$$

4. Sehingga harga  $h$  didapat dari :

$$h = d + d' + \phi_{Tr} + Q \quad \dots(4.139)$$

dengan :

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \{ (\text{Jumlah Lapis} - 1) + (\text{Jumlah Lapis} \times \phi_{Tr}) \} \quad \dots(4.140)$$

#### 4.5.1.2. Desain Balok Tulangan Rangkap

1. Menentukan momen nominal keadan 2 dengan cara sebagai berikut :

$$M_{n2} = M_r / \phi - M_{n1} \quad \dots(4.141)$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} \quad \dots(4.142)$$

dimana,  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan,

2. Dari momen nominal keadaan 2 diperkirakan luas tulangan yang terjadi,

$$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')} \quad \dots(4.143)$$

3. Luas tulangan tariknya ( $A_s$ ) menjadi :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad \dots(4.144)$$

4. Untuk menjamin jenis keruntuhan, ditinjau regangan yang terjadi dibandingkan dengan regangan luluh baja,

- d. regangan luluh baja,

$$\epsilon_y = f_y / 200000 \quad \dots(4.145)$$

- b. regangan desak yang terjadi,

$$\epsilon' = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.146)$$

- c. regangan tarik yang terjadi,

$$\epsilon = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.147)$$

5. Jika  $\epsilon < \epsilon_y$ , maka  $f_s = \epsilon \cdot 200000$

6. Jika  $\epsilon' < \epsilon_y$ , maka terjadi tulangan desak belum luluh (kondisi 1), dan jika sebaliknya berarti tulangan desak telah luluh (kondisi 2).

### Kondisi 2 : Tulangan Desak Belum Luluh

1. Jika tulangan desak belum luluh, maka harus ditentukan  $f'_s$  dengan cara *trial and error*, yaitu dengan cara sebagai berikut :

- a. tentukan  $f'_s$ ,
- b. menentukan gaya desak baja tulangan ( $C_s$ ),

$$C_s = A_{s2} \cdot f'_s \quad \dots(4.148)$$

c. dari keseimbangan gaya ditentukan tinggi blok desak, yaitu :

$$a = \frac{T - C_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.149)$$

d. tinggi garis netral dapat diperoleh dengan :

$$c = \beta_1 \cdot a \quad \dots(4.150)$$

e. regangan desak yang terjadi adalah :

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.151)$$

f. maka, tegangan yang terjadi harus mendekati  $f'_s$  asumsi awal, jika tidak sama, maka proses diulangi kembali dari bagian a, dengan memakai  $f'_s = \epsilon'_s \cdot 200000$ .

6. Tentukan jumlah tulangan untuk bagian tarik (  $n$  ) dan bagian desak (  $n'$  ) dengan :

$$n' = \frac{A'_s}{\pi \cdot (\phi_p T_k / 2)^2} \quad \dots(4.151)$$

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\varnothing_{pTr} / 2)^2} \quad \dots(4.152)$$

3. Dari jumlah tulangan di atas, maka luas masing-masing tulangan yang digunakan adalah :

$$A'_s \text{ dipakai} = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing_{pTk} / 2)^2 \quad \dots(4.153)$$

$$A_s \text{ dipakai} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing_{pTr} / 2)^2 \quad \dots(4.154)$$

4. Menentukan tinggi balok (  $h_{\text{dipakai}}$  ) dari :

$$h_{\text{dipakai}} = d + d' + \varnothing_{Ts} + Q \quad \dots(4.155)$$

5. Kontrol momen nominal tampang ( $M_n$ ) terhadap momen rencana, yaitu :

$$M_n = \phi \cdot \{C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')\} \quad \dots(4.156)$$

dengan :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \quad \dots(4.157)$$

$$C_s = A'_s \text{ dipakai} \cdot f_s \quad \dots(4.158)$$

### **Kondisi 1 : Tulangan Desak Telah Luluh**

1. Jika tulangan desak telah luluh, maka asumsi awal telah benar, yaitu  $f'_s = f_y$ ,
2. Tentukan jumlah tulangan untuk bagian tarik (  $n$  ) dan bagian desak (  $n'$  ) dengan :

$$n' = \frac{A_{s2}}{\pi \cdot (\varnothing_{pTk} / 2)^2} \quad \dots(4.159)$$

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2} \quad \dots(4.134)$$

3. Dari jumlah tulangan di atas, maka luas masing-masing tulangan yang digunakan adalah :

$$A'_s \text{ dipakai} = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing pTk / 2)^2 \quad \dots(4.160)$$

$$A_s \text{ dipakai} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2 \quad \dots(4.161)$$

4. Menentukan tinggi balok ( $h$  pakai) dari :

$$h \text{ dipakai} = d + d' + \varnothing Ts + Q \quad \dots(4.162)$$

5. Kontrol momen nominal tampang ( $M_n$ ) terhadap momen rencana, yaitu :

$$M_n = \phi \cdot \{ C_s \cdot (d - a/2) + T1 \cdot (d - d') \} \quad \dots(4.163)$$

dengan :

$$C_s = A'_s \cdot f'_s \quad \dots(4.164)$$

$$T1 = A_{s1} \cdot f_y \quad \dots(4.165)$$

#### 4.5.2. Langkah-Langkah Analisis Balok

1. Untuk analisis balok bertulangan sebelah, data yang diperlukan adalah dimensi tampang, diameter tulangan tarik, diameter tulangan desak, diameter tulangan sengkang, jumlah tulangan tarik, jumlah tulangan desak, kuat desak beton ( $f'_c$ ), dan kuat tarik baja ( $f_y$ ),
2. Sebagai asumsi awal, blok seluruh bagian, baik desak maupun tarik telah luluh, sehingga  $f'_s = f'_y$  dan  $f_s = f_y$ ,

3. Dari jumlah tulangan yang diketahui, maka luas masing-masing tulangan yang dipakai adalah :

$$A'_{s \text{ dipakai}} = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing p_{Tk} / 2)^2 \quad \dots(4.166)$$

$$A_{s \text{ dipakai}} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing p_{Tr} / 2)^2 \quad \dots(4.167)$$

4. Gaya-gaya dalam yang terjadi adalah :

$$C_s = A'_{s \text{ dipakai}} \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots(4.168)$$

dan,

$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots(4.169)$$

5. Menentukan tinggi blok desak balok dengan :

$$a = \frac{T - C_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.170)$$

6. Sehingga tinggi garis netral dapat diketahui dari :

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.171)$$

7. Menentukan tinggi balok ( h dipakai ) dari :

$$h \text{ dipakai} = d + d' + \varnothing T_s + Q \quad \dots(4.172)$$

dengan :

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \{ (\text{Jumlah Lapis} - 1) + (\text{Jumlah Lapis} \times \varnothing Tr) \}$$

8. Ditinjau dari regangan rang terjadi dibandingkan dengan regangan luluh baja,

- a. regangan luluh baja,

$$\varepsilon = f_y / 200000 \quad \dots(4.173)$$

- b. regangan desak yang terjadi,

$$\varepsilon = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.174)$$

c. regangan tarik yang terjadi,

$$\varepsilon = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.175)$$

9. Jika  $\varepsilon < \varepsilon_y$ , maka  $f_s = \varepsilon \cdot 200000$  dan  $T = A_s \cdot f_s$ ,

10. Jika  $\varepsilon' < \varepsilon_y$ , maka terjadi tulangan desak belum luluh, maka harus ditentukan

$f'_s$  yang bekerja dengan cara *trial and error*, dengan cara sebagai berikut :

a. tentukan  $f'_s$ ,

b. menentukan gaya desak baja tulangan ( $C_s$ ),

$$C_s = A_{s2} \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots(4.176)$$

c. dari keseimbangan gaya, tentukan tinggi blok desak, yaitu :

$$a = \frac{T - C_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.177)$$

d. tinggi garis netral dapat diperoleh dengan :

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.178)$$

e. regangan desak yang terjadi adalah :

$$\varepsilon = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.179)$$

f. maka, tegangan yang terjadi harus mendekati  $f'_s$  asumsi awal, jika tidak sama, maka proses diulangi kembali dari bagian a,

$$f'_s = \epsilon' \cdot 200000 \quad \dots (4.180)$$

11. Tentukan momen ominal tampang ( $M_n$ ), yaitu :

$$M_n = \phi \cdot \{C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')\} \quad \dots (4.181)$$

dengan :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad \dots (4.182)$$

$$C_s = A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots (4.183)$$

dimana,  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan.

#### 4.5.3. Flow Chart Perencanaan Balok

Flow chart perencanaan balok dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.6. Perencanaan Kolom

##### 4.6.1. Langkah-Langkah Analisis Kolom

1. Data yang diperlukan adalah dimensi penampang, diameter tulangan, kuat desak beton ( $f'_c$ ), kuat tarik baja ( $f_y$ ), rasio penulangan kolom ( $\rho$ ), momen rencana ( $M_r$ ), dan gaya desak aksial ( $P_r$ ),
2. Untuk momen rencana ( $M_r$ ) yang dipakai adalah momen dari hasil analisis struktur, terredistribusi ataupun tidak, dan dipilih yang terbesar,
3. Gaya aksial ( $P_r$ ) yang bekerja merupakan jumlah dari gaya aksial hasil perhitungan analisis struktur, berat sendiri kolom, dan berat balok yang menumpu pada kolom,
4. Mencari eksentrisitas ( $e$ ) yang terjadi, yaitu :

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad \dots(4.184)$$

5. Menentukan jumlah tulangan yang dipakai, yaitu :

a. karena penulangan berdasarkan 2 sisi simetris, maka  $\rho$  sama dengan  $\rho'$ ,

$$\rho = \rho' = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{kolom}} \quad \dots(4.185)$$

b. luas tulangan perlu kolom adalah :

$$A_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot (h - d') \quad \dots(4.186)$$

c. jumlah tulangan yang dipakai adalah :

$$n = n' = \frac{A_{\text{perlu}}}{\pi \cdot (\varnothing p / 2)^2} \quad \dots(4.187)$$

6. Karena pembulatan, maka luas tulangan yang dipakai adalah :

$$A_{\text{dipakai}} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing p / 2)^2 \quad \dots(4.188)$$

7. Menentukan jenis kolom, kolom pendek, atau kolom panjang dengan menghitung kelangsingan yang terjadi,

$$\text{Kelangsingan} = \frac{k \cdot L}{r} \quad \dots(4.189)$$

dimana,  $k = 0,5$  ( untuk tumpuan jepit - jepit ),  $L$  adalah panjang / tinggi kolom, dan  $r = 0,3 h$  ( faktor kolom untuk bentuk segi empat ).

Jika kelangsingan  $< 22$ , maka dianggap sebagai kolom pendek dan jika sebaliknya dianggap sebagai kolom panjang / kolom langsing.

### Kolom Langsing ( Kolom Panjang )

1. Menentukan faktor pembesaran momen,

a. Jika  $\rho$  kolom  $\leq 3 \%$ , maka :

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{2,5 \cdot (1 + \beta d)} \quad \dots(4.190)$$

dan jika sebaliknya, maka :

$$EI = \frac{1/5 \cdot (E_c \cdot I_g) + (E_s \cdot I_{se})}{(1 + \beta d)} \quad \dots(4.191)$$

dengan :

$$I_{se} = 2 \cdot A_s \text{ dipakai} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot h - d'\right)^2 \quad \dots(4.192)$$

b. Beban tekuk ( $P_c$ ) adalah sebagai berikut :

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l)^2} \quad \dots(4.193)$$

c. Mencari faktor pembesaran momen ( $\delta_b$ ), yaitu :

$$\delta_b = \frac{C_m}{(1 - P_u / (\phi \cdot P_c))} \quad \dots(4.194)$$

dengan :

$$C_m = 1 \text{ (karena kolom tanpa pengaku)}$$

$$\delta_s = 1 / (1 - \Sigma P_u / (\phi \cdot \Sigma P_c)) \quad \dots(4.195)$$

2. Menentukan momen desain ( $M_c$ ), yaitu :

$$M_c = \delta_b \cdot 2M_b + \delta_s \cdot 2M_s \quad \dots(4.196)$$

3. Eksentrisitas desain yang terjadi adalah :

$$e = \frac{M_c}{P_u} \quad \dots(4.197)$$

### Kolom Pendek

1. Menentukan tinggi efektif yang terjadi

$$d = h - d' \quad \dots(4.198)$$

2. Menentukan letak garis netral balance ( $C_b$ ), yaitu :

$$C_b = \frac{600}{f_y + 600} \cdot (d) \quad \dots(4.199)$$

3. Tinggi blok tegangan ekivalennya adalah :

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (C_b - d')}{C_b} \quad \dots(4.200)$$

$$f'_s = f_y$$

jika  $f'_s > f_y$ , maka  $f'_s = f_y$ ,

5. Menentukan jenis keruntuhan yang terjadi pada kolom :

a. gaya *balance* yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.54)

b. momen *balance* yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.55)

c. eksentrisitas *balancenya* adalah :

$$e_b = M_{nb} / P_{nb}$$

jika  $e_b < e$ , maka keruntuhan kolom tarik, dan bila sebaliknya, maka terjadi keruntuhan desak.

### Keruntuhan Desak

1. Jika  $f'_s < f_y$ , maka memakai prosedur *trial and error*,
2. Gaya tahan nominal  $P_n$  yang sesungguhnya sesuai dengan Persamaan (3.53),

### Keruntuhan Tarik

1. Jika  $f'_s < f_y$ , maka penggunaan prosedur *trial and error*,
2. Gaya tahan nominal  $P_n$  nyata adalah sesuai dengan Persamaan (3.53)
3. Tegangan sesungguhnya yang terjadi adalah :

- a. tinggi blok tegangan ekivalennya, yaitu :

$$a = \frac{P_n}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.201)$$

- b. letak garis netral ( c ), yaitu :

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.202)$$

- c. tegangan desak yang terjadi adalah :

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} \quad \dots(4.203)$$

jika  $f'_s \leq f_y$ , maka penggunaan prosedur *trial and error*.

### Prosedur Trial and Error

1. Dalam prosedur ini mengasumsikan nilai c,
2. Dengan harga c tersebut, dapat dihitung tinggi blok tegangan ekivalen, yaitu :

$$a = \beta_1 \cdot c \quad \dots(4.204)$$

3. Hitung tegangan yang terjadi dengan rumus :

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon'_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} \quad \dots(4.205)$$

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} \quad \dots(4.206)$$

sehingga, jika  $f'_s > f_y$ , maka  $f'_s = f_y$

jika  $f_s > f_y$ , maka  $f_s = f_y$

4. Menentukan gaya dan momen yang terjadi, yaitu :

d. gaya nominal yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.54)

e. momen nominal yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.55)

1. Eksentrisitas nominalnya adalah :

$$e = M_n / P_n \quad \dots(4.207)$$

jika perbandingan  $e$  terhadap  $e_b$  lebih besar dari 0,5 %, maka kembali ke nomor 1 sampai akhirnya nilai  $e$  kurang dari nilai 0,5 %  $e_b$ .

6. Perhitungan selanjutnya adalah ke langkah perencanaan lanjutan.

### Perencanaan Lanjutan

1. Menentukan faktor reduksi,

jika  $P_n \geq 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$ , maka  $\phi = 0,65$  dan jika sebaliknya, maka :

$$\phi = 0,8 - \frac{0,2 \cdot \phi \cdot P_n}{0,1 \cdot A_g \cdot f'_c} \geq 0,65 \quad \dots(4.208)$$

2. Jika  $\phi \cdot P_n > P_u$ , maka perencanaan tampang aman.

#### 4.6.2. Flow Chart Analisis Kolom

*Flow chart* analisis kolom dapat dilihat pada lampiran.

### 4.7. Perencanaan Plat

#### 4.7.1. Langkah-Langkah Perencanaan Plat

1. Dalam perencanaan plat, data yang diperlukan adalah kuat desak beton ( $f'_c$ ), kuat tarik baja ( $f_y$ ), jenis plat (Plt), beban hidup ( $B_h$ ), letak plat (jumlah bentang ( $J_b$ ), dan posisi bentang plat ( $B_k$ )), tebal plat (dalam mm), dan diameter tulangan pokok ( $\phi_p$ ) serta tulangan susut ( $\phi_s$ ),
2. Menghitung beban-beban yang bekerja pada plat, yaitu :

- a. untuk plat atap,

B.S plat ( $B_m$ )

$$B_m = (h/100) \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

sehingga :

$$W_u = 1,2 B_m + 1,6 B_h \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

- b. untuk plat lantai,

- 1). Berat sendiri plat ( $B_s$ )

$$B_s = (h/100) \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

- 2). Berat lantai setebal 2 cm ( $B_l$ )

$$B_l = 0,02 \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

- 3). Berat spesi setebal 2 cm ( $B_c$ )

$$B_c = 0,02 \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

4). Berat plafond (Bf)

$$B_f = 18 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

maka, beban mati plat lantai (Bm) adalah :

$$B_m = B_s + B_c + B_l + B_f \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

sehingga :

$$W_u = 1,2 B_m + 1,6 B_h \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

3. Perhitungan tebal minimum plat adalah sebagai berikut :

c. untuk dua tumpuan :

$$h = 1/20 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.209)$$

b. untuk satu ujung menerus :

$$h = 1/24 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.210)$$

c. untuk kedua ujung menerus :

$$h = 1/28 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.211)$$

d. untuk kantilever :

$$h = 1/10 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.212)$$

4. Syarat penutup beton untuk plat (tebal selimut beton plat) adalah :

d. jika plat adalah atap, dan  $\phi_p \leq \phi 16$ , maka  $d' = 40$  mm

e. jika plat adalah atap, dan  $\phi_p \geq \phi 19$ , maka  $d' = 50$  mm

f. jika plat adalah atap, dan  $\phi_p \leq \phi 36$ , maka  $d' = 20$  mm,

5. Menentukan jenis perhitungan plat dari perbandingan panjang plat dengan lebar plat ( $l_y/l_x$ ). Jika  $l_y/l_x \leq 2$ , maka dipakai perhitungan plat dua arah, dan jika  $l_y/l_x > 2$ , maka dipakai perhitungan plat satu arah.

#### **Perhitungan Plat Satu Arah**

1. Untuk perhitungan plat satu arah, SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.3.3 dengan tumpuan luar adalah balok, perhitungan momen rencana seperti diuraikan pada Bab 3.5.3.
2. Dari perhitungan momen rencana tersebut untuk momen tumpuan ( $M_t$ ) dan momen lapangan ( $M_l$ ) dipilih yang terbesar, kemudian diteruskan dengan perhitungan penulangan plat,

#### **Perhitungan Plat Dua Arah**

1. Untuk perhitungan plat dua arah, momen rencana yang dipakai adalah sesuai dengan tebal plat pada buku “Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang” oleh Gideon W. Kusuma.
2. Kemudian masukan nilai koefisien sesuai Tabel 3.1 (dalam program ini masukan nilai koefisien sesuai dengan tabel tersebut),
3. Dari perhitungan momen rencana untuk tumpuan tersebut ( $M_t$ ) dan momen lapangan ( $M_l$ ) dipakai yang terbesar, kemudian diteruskan dengan perhitungan penulangan plat.

### Perhitungan Penulangan Plat

1. Untuk perhitungan penulangan, tentukan terlebih dahulu nilai  $\beta_1$  berdasarkan kuat desak beton, seperti halnya pada penulangan balok sesuai dengan Persamaan (3.33),

2. Tentukan tinggi efektif plat dengan :

$$d = h - d_s \quad \dots(4.213)$$

3. Tentukan syarat rasio penulangan sesuai dengan Persamaan (3.29) dan (3.30),

4. Tentukan rasio penulangan aktual untuk masing-masing bagian (tumpuan atau lapangan),

d. untuk tumpuan,

$$\rho_{\text{aktual1}} = \omega_1 \cdot f_c / f_y \quad \dots(4.215)$$

dengan :

$$k_1 = M_t / (b \cdot d^2)$$

$$\omega_1 = \frac{(1/0,59) \cdot \sqrt{\{(1/0,59)^2 - 4 \cdot (k_1 / (0,59 \cdot f_c))\}}}{2} \quad \dots(4.216)$$

b. untuk lapangan,

$$\rho_{\text{aktual2}} = \omega_2 \cdot f_c / f_y \quad \dots(4.217)$$

dengan :

$$k_2 = M_t / (b \cdot d^2)$$

$$\omega_2 = \frac{(1/0,59) \cdot \sqrt{\{(1/0,59)^2 - 4 \cdot (k_2 / (0,59 \cdot f_c))\}}}{2} \quad \dots(4.218)$$

5. Luas tulangan yang digunakan untuk tumpuan dan lapangan adalah :

$$A_{st} = \rho \text{ dipakai} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.219)$$

$$A_{sl} = \rho \text{ dipakai} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.220)$$

6. Jarak tulangan utama untuk masing-masing ditinjau per meter adalah :

$$s_t = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (\varnothing_p)^2 \cdot 1000}{A_{st}} \quad \dots\dots(4.221)$$

$$s_l = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (\varnothing_p)^2 \cdot 1000}{A_{sl}} \quad \dots\dots(4.222)$$

7. Menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12 rasio luas tulangan susut dan mutu terhadap luas brutto beton adalah sebagai berikut :

- a. tulangan deform dengan mutu baja  $\leq 300$  Mpa, maka :

$$\rho_s = 0,002 \cdot 300 / f_y \quad \dots\dots(4.223)$$

- b. tulangan polos atau deform dengan mutu baja  $\geq 400$  MPa, maka :

$$\rho_s = 0,0018 \cdot 400 / f_y \quad \dots\dots(4.224)$$

tetapi dalam segala hal, tidak boleh kurang dari 0,0014.

8. Luas tulangan susut yang digunakan adalah :

$$A_{ss} = \rho_s \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.225)$$

9. Jarak tulangan susut adalah :

$$s_s = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (\varnothing_s)^2 \cdot 1000}{A_{ss}} \quad \dots\dots(4.226)$$

10. Kontrol terhadap jarak tulangan,

- a. syarat jarak minimum tulangan utama adalah 40 mm,
- b. syarat jarak maksimum tulangan utama untuk :
  - 1). Momen maksimum :  $2,5h$  atau 250 mm,
  - 2). Momen minimum :  $3h$  atau 500 mm,
- c. jarak maksimum tulangan distribusi : 250 mm,
- d. jarak maksimum tulangan susut :  $5h$  atau 500 mm,
- e. jika  $h > 250$  mm diberikan tulangan atas bawah,

11. Kontrol terhadap retak, jika  $f'_c > 30$  Mpa, maka harus diperiksa lebar retak,

- f. jarak antara titik berat tulangan utama sampai serat tarik terluar :

$$d_c = d^2 + \frac{1}{2} \cdot \varnothing p \quad \dots(4.227)$$

- b. maka lebar retak adalah :

$$z = 0,6 \cdot f_y \cdot (d_c \cdot A)^{1/3} \quad \dots(4.228)$$

dengan :

$$A = 2 \cdot d_c \cdot s$$

12. Kontrol lebar retak terhadap syarat dalam SKSNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

- a. untuk plat atap,

jika,  $z \leq 30$  MN/m, maka plat aman terhadap retak,

- b. untuk plat lantai,

jika,  $z \leq 25 \text{ MN/m}$ , maka plat aman terhadap retak.

#### 4.7.2. *Flow Chart* Perencanaan Plat

Flow chart perencanaan plat dapat dilihat pada lampiran.

