

BAB VI
APLIKASI DISAIN DAN
HASIL RENCANA ANGGARAN BIAYA

Contoh perhitungan disain diambil struktur memakai balok anak arah x dan memakai mutu beton (f'_c) 30 MPa.

6.1 Perencanaan Pelat

Pada contoh perhitungan perencanaan pelat diambil pelat lantai struktur memakai balok anak arah x, perencanaannya menggunakan perencanaan pelat dua arah.

6.1.1 Pembebanan Pelat

▪ **Beban Mati**

a. Berat pelat	= $0,12 \times 2400$	= 288 kg/m ²
b. Berat pasir	= $0,05 \times 1800$	= 90 kg/m ²
c. Berat spesi	= $0,02 \times 2400$	= 48 kg/m ²
d. Berat tegel	= $0,01 \times 2400$	= 24 kg/m ²
e. Berat plafond	= 1×18	= 18 kg/m ²
f. Ducting AC	= 1×15	= 15 kg/m ² +
		<hr/>
	q_D	= 483 kg/m ²

- **Beban Hidup**

$$q_L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$q_U = 1,2 q_D + 1,6 q_L$$

$$= (1,2 \times 483 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 250 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 579,6 \text{ kg/m}^2 + 400 \text{ kg/m}^2$$

$$= 979,6 \text{ kg/m}^2 = 9,796 \text{ KN/m}^2$$

- **Perhitungan Pelat Lantai**

- $q_u = 9,796 \text{ KN/m}^2$

- $\frac{l_y}{l_x} = \frac{7}{4,5} = 1,556 < 2 \rightarrow \text{pelat dua arah}$

- $C_{lx} = 36,55; C_{ly} = 16,45$

$$C_{tx} = 77,65; C_{ty} = 57$$

- $M_{lx} = 0,001 \times q_u \times C_{lx} \times l_x^2$
 $= 0,001 \times 9,796 \text{ KN/m}^2 \times 36,55 \times 4,5^2$
 $= 7,2504 \text{ KNm} = 7,2504 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

$$M_{tx} = 0,001 \times q_u \times C_{tx} \times l_x^2$$

$$= 0,001 \times 9,796 \text{ KN/m}^2 \times 77,65 \times 4,5^2$$

$$= 15,4034 \text{ KNm} = 15,4034 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times q_u \times C_{ly} \times l_x^2$$

$$= 0,001 \times 9,796 \text{ KN/m}^2 \times 16,45 \times 4,5^2$$

$$= 3,2632 \text{ KNm} = 3,2632 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{ty} = 0,001 \times q_u \times C_{ty} \times l_x^2$$

$$= 0,001 \times 9,796 \text{ KN/m}^2 \times 57 \times 4,5^2$$

$$= 11,3070 \text{ KNm} = 11,3070 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

6.1.2 Disain Pelat

1. Penulangan tx

$$\theta \text{ diambil} = 10 \text{ mm}$$

$$d = h - pb - \frac{1}{2} \theta$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} 10$$

$$= 95 \text{ mm}$$

Dalam perhitungan disain pelat untuk memperjelas perhatikan gambar distribusi tegangan regangan beton bertulang pelat pada gambar 3.7. Alur perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.8.

$$M_u = M_{tx}$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.14)}$$

$$\frac{M_u}{\phi} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\frac{15,4034 \times 10^6}{0,8} = 0,85 \times 30 \times a \times 1000 \times \left(95 - \frac{a}{2} \right)$$

$$19254191,1 = 2422500 a - 12750 a^2$$

$$12750 a^2 - 2422500 a + 19254191,1 = 0$$

$$a = 8,3117 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{T}{f_y}$$

Tulangan < 12mm, BJTP 30 → 300 MPa

$$= \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y}$$

pers.(3.15)

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 8,3117 \times 1000}{300} = 706,4916 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{300} \times 1000 \times 95 = 443,333 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.16)}$$

$$A_s > A_{s,\min}$$

$$\text{Dipakai } A_s = 706,4916 \text{ mm}^2$$

▪ Jarak Antar Tulangan

$$\text{Dipakai Tulangan } P = 10 \text{ mm} \rightarrow A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_p \times 1000}{A_s} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.17)}$$

$$= \frac{78,5 \times 1000}{706,4916}$$

$$= 111,1124 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } = P_{10} - 110 \text{ mm}$$

▪ Tulangan Susut

$$\text{Dipakai Tulangan } P = 8 \text{ mm} \rightarrow A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{susut}} = 0,002 \times b \times h \quad \text{pers.(3.19)}$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$s_{\text{susut}} = \frac{A_p \times 1000}{A_{s,\text{susut}}} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.18)}$$

$$= \frac{50,24 \times 1000}{240}$$

$$= 209,333 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } = P_8 - 200 \text{ mm}$$

Kontrol momen tersedia pelat, alur perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.9.

$$A_{s,ada} = \frac{A_s \times 1000}{S_{pakai}} = \frac{78,5 \times 1000}{110} = 713,636 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.20)}$$

$$a = \frac{A_{s,ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \text{pers.(3.21)}$$

$$= \frac{713,636 \times 300}{0,85 \times 30 \times 1000}$$

$$= 8,3957 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{s,ada} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.22)}$$

$$= 713,636 \cdot 300 \cdot \left(95 - \frac{8,3957}{2} \right)$$

$$= 19439912,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n \geq \frac{M_u}{\phi} \rightarrow 19439912,5 \text{ Nmm} \geq 19254191,1 \text{ Nmm} \quad \text{pers.(3.23)}$$

2. Penulangan lx

$$\theta \text{ diambil} = 10 \text{ mm}$$

$$d = h - p_b - \frac{1}{2} \theta$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} 10$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$M_u = Mlx$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.14)}$$

$$\frac{M_u}{\phi} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\frac{7,2504 \times 10^6}{0,8} = 0,85 \times 30 \times a \times 1000 \times \left(95 - \frac{a}{2}\right)$$

$$9062984 = 2422500 a - 12750 a^2$$

$$12750 a^2 - 2422500 a + 9062984 = 0$$

$$a = 3,8179 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{T}{f_y}$$

Tulangan < 12mm, BJTP 30 → 300 MPa

$$= \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y}$$

pers.(3.15)

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 3,8179 \times 1000}{300}$$

$$= 324,5204 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{300} \times 1000 \times 95 = 443,333 \text{ mm}^2$$

pers.(3.16)

$$A_s < A_{s,\min} \rightarrow 1,33 A_s < A_{s,\min}$$

$$\text{Dipakai } A_{s,\min} = 443,333 \text{ mm}^2$$

▪ **Jarak Antar Tulangan**

$$\text{Dipakai Tulangan } P = 10 \text{ mm} \rightarrow A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_p \times 1000}{A_s} \leq 200 \text{ mm}$$

pers.(3.17)

$$= \frac{78,5 \times 1000}{443,333}$$

$$= 177,0677 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } = P_{10} - 175 \text{ mm}$$

- Tulangan Susut

Dipakai Tulangan $P = 8 \text{ mm} \rightarrow A_{\phi} = \frac{1}{4} \pi D^2 = 50,24 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{s.\text{susut}} &= 0,002 \times b \times h && \text{pers.(3.19)} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{susut}} &= \frac{A_{\phi} \times 1000}{A_{s.\text{susut}}} \leq 200 \text{ mm} && \text{pers.(3.18)} \\ &= \frac{50,24 \times 1000}{240} \\ &= 209,333 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai = $P_8 - 200 \text{ mm}$

Kontrol momen tersedia pelat

$$A_{s.\text{ada}} = \frac{A_{\phi} \times 1000}{S_{\text{pakai}}} = \frac{78,5 \times 1000}{175} = 448,571 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.20)}$$

$$a = \frac{A_{s.\text{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \text{pers.(3.21)}$$

$$= \frac{448,571 \times 300}{0,85 \times 30 \times 1000}$$

$$= 5,277 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{s.\text{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.22)}$$

$$= 448,571 \cdot 300 \cdot \left(95 - \frac{5,277}{2} \right)$$

$$= 12429198 \text{ Nmm}$$

$$M_n \geq \frac{M_u}{\phi} \rightarrow 12429198 \text{ Nmm} \geq 9062984 \text{ Nmm} \quad \text{pers.(3.23)}$$

3. Penulangan ty

θ diambil = 10 mm

$$\begin{aligned} d &= h - pb - \frac{1}{2} \theta \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2} 10 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = M_{ty}$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.14)}$$

$$\frac{M_u}{\phi} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\frac{15,4034 \times 10^6}{0,8} = 0,85 \times 30 \times a \times 1000 \times \left(95 - \frac{a}{2} \right)$$

$$14133791,3 = 2422500 a - 12750 a^2$$

$$12750 a^2 - 2422500 a + 14133791,3 = 0$$

$$a = 6,0255 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{T}{f_y} \quad \text{Tulangan} < 12\text{mm, BJTP } 30 \rightarrow 300 \text{ MPa}$$

$$= \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y} \quad \text{pers.(3.15)}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 6,0255 \times 1000}{300}$$

$$= 512,1648 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{300} \times 1000 \times 95 = 443,333 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.16)}$$

$$A_s > A_{s,\min}$$

$$\text{Dipakai } A_s = 512,1648 \text{ mm}^2$$

▪ Jarak Antar Tulangan

$$\text{Dipakai Tulangan } P = 10 \text{ mm} \rightarrow A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_p \times 1000}{A_s} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.17)}$$

$$= \frac{78,5 \times 1000}{512,1648}$$

$$= 153,271 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } = P_{10} - 150 \text{ mm}$$

▪ Tulangan Susut

$$\text{Dipakai Tulangan } P = 8 \text{ mm} \rightarrow A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{susut}} = 0,002 \times b \times h \quad \text{pers.(3.19)}$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$s_{\text{susut}} = \frac{A_p \times 1000}{A_{s,\text{susut}}} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.18)}$$

$$= \frac{50,24 \times 1000}{240}$$

$$= 209,333 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } = P_8 - 200 \text{ mm}$$

Kontrol momen tersedia pelat.

$$A_{s,ada} = \frac{A_{\phi} \times 1000}{S_{pakai}} = \frac{78,5 \times 1000}{150} = 523,333 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.20)}$$

$$a = \frac{A_{s,ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \text{pers.(3.21)}$$

$$= \frac{523,333 \times 300}{0,85 \times 30 \times 1000}$$

$$= 6,157 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{s,ada} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.22)}$$

$$= 523,333 \cdot 300 \cdot \left(95 - \frac{6,157}{2} \right)$$

$$= 14431686,3 \text{ Nmm}$$

$$M_n \geq \frac{M_u}{\phi} \rightarrow 14431686,3 \text{ Nmm} \geq 14133791,3 \text{ Nmm} \quad \text{pers.(3.23)}$$

4. Penulangan ly

θ diambil = 10 mm

$$d = h - pb - 1\frac{1}{2} \theta$$

$$= 120 - 20 - 1\frac{1}{2} 10$$

$$= 85 \text{ mm}$$

$$M_u = Mly$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.14)}$$

$$\frac{M_u}{\phi} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\frac{15,4034 \times 10^6}{0,8} = 0,85 \times 30 \times a \times 1000 \times \left(85 - \frac{a}{2}\right)$$

$$4078963 = 2167500 a - 12750 a^2$$

$$12750 a^2 - 2167500 a + 4078963 = 0$$

$$a = 1,9032 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{T}{f_y} \quad \text{Tulangan} < 12\text{mm, BJTP 30} \rightarrow 300 \text{ MPa}$$

$$= \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y} \quad \text{pers.(3.15)}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 1,9032 \times 1000}{300}$$

$$= 161,7704 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{300} \times 1000 \times 85 = 396,667 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.16)}$$

$$A_s < A_{s,\min} \rightarrow 1,33 A_s < A_{s,\min}$$

$$\text{Dipakai } A_{s,\min} = 396,667 \text{ mm}^2$$

▪ **Jarak Antar Tulangan**

$$\text{Dipakai Tulangan } P = 10 \text{ mm} \rightarrow A_\phi = \frac{1}{4} \pi D^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_\phi \times 1000}{A_s} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.17)}$$

$$= \frac{78,5 \times 1000}{396,667}$$

$$= 197,8992 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } = P_{10} - 195 \text{ mm}$$

- Tulangan Susut

Dipakai Tulangan $P = 8 \text{ mm} \rightarrow A_{\phi} = \frac{1}{4} \pi D^2 = 50,24 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{susut}} &= 0,002 \times b \times h && \text{pers.(3.19)} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{susut}} &= \frac{A_{\phi} \times 1000}{A_{s,\text{susut}}} \leq 200 \text{ mm} && \text{pers.(3.18)} \\ &= \frac{50,24 \times 1000}{240} \\ &= 209,333 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai = $P_8 - 200 \text{ mm}$

Kontrol momen tersedia pelat.

$$A_{s,\text{ada}} = \frac{A_{\phi} \times 1000}{S_{\text{pakai}}} = \frac{78,5 \times 1000}{195} = 402,564 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.20)}$$

$$a = \frac{A_{s,\text{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \text{pers.(3.21)}$$

$$= \frac{402,564 \times 300}{0,85 \times 30 \times 1000}$$

$$= 4,736 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{s,\text{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{pers.(3.22)}$$

$$= 402,564 \cdot 300 \cdot \left(85 - \frac{4,736}{2} \right)$$

$$= 9979400 \text{ Nmm}$$

$$M_n \geq \frac{M_u}{\phi} \rightarrow 9979400 \text{ Nmm} \geq 4078963 \text{ Nmm} \quad \text{pers.(3.23)}$$

Untuk disain pelat selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B-1.

6.2 Perencanaan Balok Portal

Sebagai contoh perhitungan diambil pada balok portal G lantai 2 struktur yang menggunakan balok anak arah x dengan mutu beton (f'_c) 30 Mpa.

6.2.1 Momen Rencana Balok, M_u

Perhitungan momen rencana balok (M_u) dihitung berdasarkan kombinasi pembebanan dari : (lampiran A-3 dan lampiran A-4)

$$M_{u,b} = 1,2 M_D + 1,6 M_L \quad \text{pers.(3.1)}$$

$$M_{u,b} = 1,05 M_D + 0,315 M_L + 1,05 M_E \quad \text{pers.(3.2)}$$

$$M_{u,b} = 0,9 M_D + 0,9 M_E \quad \text{pers.(3.3)}$$

Perhitungan momen lentur rencana pada tumpuan balok menggunakan kombinasi $M_{u,b} = 1,05 M_D + 0,315 M_L + 1,05 M_E$ kemudian didistribusi dan

didapatkan momen balok pada tumpuan untuk disain. Untuk momen lentur rencana pada lapangan balok menggunakan kombinasi $M_{u,b} = 1,2 M_D + 1,6 M_L$.

Untuk hasil redistribusi momen selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-7.

6.2.2 Disain Balok Tumpuan

Momen rencana yang diambil adalah pada lokasi sendi plastis terjadi, dan selanjutnya dikontrol kapasitasnya dari hasil analisis struktur yang sudah didistribusi. Dalam contoh perhitungan ini momen tumpuan negatif dapat dilihat

pada lampiran A-7 struktur balok anak arah x hasil redistribusi momen tumpuan negatif (-) portal G lantai 1-4. Alur perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.14.

$$M_u^- = 703,3572 \text{ kNm (lampiran A-7)}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{703,3572}{0,8} = 879,1965 \text{ kNm}$$

$$\epsilon_c = 0,003 ; E_s = 200000$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa} \leq 30 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{\epsilon_c \cdot E_s}{\epsilon_c \cdot E_s + f_y} \right) \quad \text{pers.(3.24)}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \quad \text{pers.(3.26)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \quad \text{pers.(3.27)}$$

$$\rho = 0,5 \times \rho_b = 0,5 \times 0,0325 = 0,0162$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,6863 \quad \text{pers.(3.25)}$$

$$R_n = \rho \times f_y \times (1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m) \quad \text{pers.(3.28)}$$

$$= 0,0162 \times 400 \times (1 - \frac{1}{2} 0,0162 \times 15,686) = 5,6734 \text{ MPa}$$

$$d = \sqrt{\frac{M_n}{b \times R_n}} = \sqrt{\frac{879,1965 \times 10^6}{350 \times 5,6734}} = 665,405 \text{ mm}$$

Dengan cara dicoba-coba nilai b, sehingga didapat d, $h = d + d'$, apabila $h \geq 2b$

$$\text{Ok! } d' = 60 \text{ mm}$$

$$h = d + d' = 665,405 + 60 = 725,4050 \text{ mm}$$

$$b_{\text{pakai}} = 350 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pakai}} = 750 \text{ mm}$$

$$d_{\text{pakai}} = h_{\text{pakai}} - d' = 750 - 60 = 690 \text{ mm}$$

$$R_{n1} = \gamma \times R_n = 0,45 \times 5,673 = 2,5530 \text{ MPa} \quad \text{pers.(3.34)}$$

$$M_{n1} = R_{n1} \times b \times d_{\text{pakai}}^2 = 2,553 \times 350 \times 690^2 = 425426497,4 \text{ Nmm} \quad \text{pers.(3.35)}$$

$$M_{n1} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - \frac{1}{2} a) \quad \text{pers.(3.33)}$$

$$425426497,4 = 0,85 \times 30 \times a \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} a)$$

$$425426497,4 = 6158250 \cdot a - 4462,5 \cdot a^2$$

Dari persamaan kuadrat di atas didapatkan nilai $a = 72,9373 \text{ mm}$

$$T_s = C_c$$

$$A_{s1} \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$A_{s1} = \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 72,9373 \times 350}{400} = 1627,4143 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pakai tulangan } D = 25 \text{ mm} \rightarrow A_\phi = 1/4 \pi D^2 = 1/4 \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$n_1 = \frac{A_{s1}}{A_\phi} = \frac{1627,4143}{490,625} = 3,3153$$

$$n_{1\text{pakai}} = 4 \text{ buah}$$

$$A_{s1\text{ada}} = n_{1\text{pakai}} \times A_\phi = 4 \times 490,625 = 1963,4954 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1\text{ada}} \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a' \times b \quad \text{pers.(3.32)}$$

$$1963,4954 \times 400 = 0,85 \times 30 \times a' \times 350$$

$$a' = 87,9997 \text{ mm}$$

$$M_{n1}' = 0,85 \times f'_c \times a' \times b \times (d - \frac{1}{2} a') \quad \text{pers.(3.33)}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 87,9997 \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} 87,9997)$$

$$= 507367294,4 \text{ Nmm}$$

▪ Perencanaan tulangan rangkap

$$M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1}, \quad \text{pers.(3.36)}$$

$$= 879196500 - 507367294,4$$

$$= 371829236,9 \text{ Nmm}$$

$$M_{n2} = T_s \times (d - d')$$

$$= A_{s2} \times f_y \times (d - d')$$

$$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y \times (d - d')} = \frac{371829236,9}{400 \times (690 - 60)} = 1475,5128 \text{ mm}^2$$

$$n_2 = \frac{A_{s2}}{A_{\phi}} = \frac{1475,5128}{490,625} = 3,00589$$

$$n_{2\text{pakai}} = 4 \text{ buah}$$

- Tulangan Tarik = $n_{1\text{pakai}} + n_{2\text{pakai}} = 4 + 4 = 8 \text{ buah}$
- Tulangan Desak = $n_{2\text{pakai}} = 4 \text{ buah}$

$$A_{s,\text{ada}} = n \times A_{1\phi} = 8 \times 490,625 = 3926,9908 \text{ mm}^2$$

$$A'_{s,\text{ada}} = n \times A_{1\phi} = 4 \times 490,625 = 1963,4954 \text{ mm}^2$$

▪ Momen tersedia pada balok

$$T_s = C_s + C_c$$

$$A_{s,\text{ada}} \times f_y = A'_{s,\text{ada}} \times f_y + 0,85 \times f'_c \times a_k \times b$$

$$a_k = \frac{(A_{s,\text{ada}} \times f_y) - (A'_{s,\text{ada}} \times f_y)}{0,85 \times f'_c \times b} \quad \text{pers.(3.38)}$$

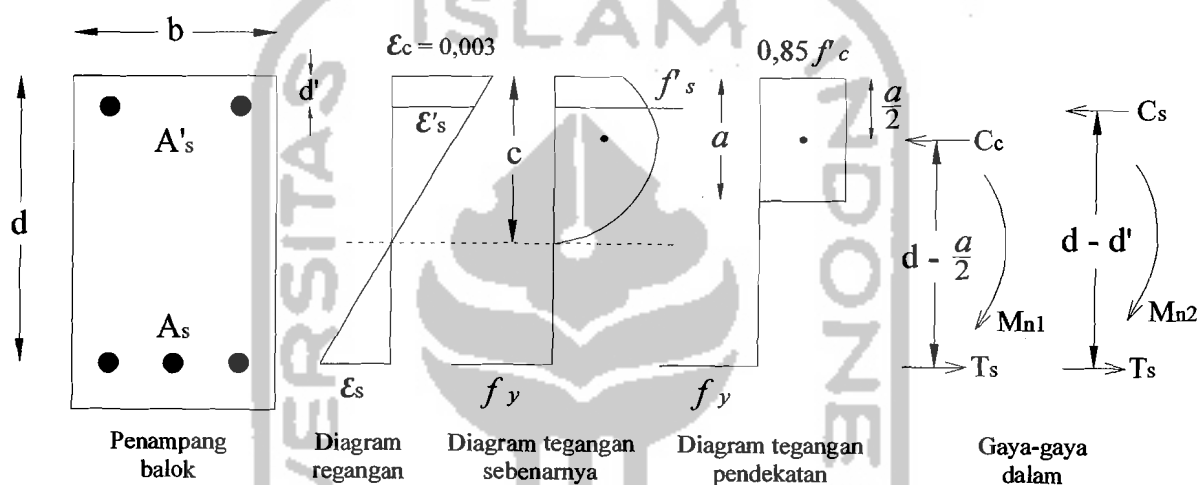
$$= \frac{(3926,9908 \times 400) - (1963,4954 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} = 87,9998 \text{ mm}$$

$$a_{leleh} = \frac{\epsilon_c \cdot E_s \cdot d' \cdot \beta_1}{\epsilon_c \cdot E_s - f_y} \quad \text{pers.(3.40)}$$

$$= \frac{(0,003 \times 200000 \times 60 \times 0,85)}{(0,003 \times 200000) - 400}$$

$$= 153 \text{ mm}$$

$a_{leleh} > a_k$, Tulangan baja desak belum leleh.



Gambar 6.1 Distribusi tegangan regangan balok bertulangan rangkap.

$$T_s = C_s + C_c$$

$$A_{s,ada} \cdot f_y = A'_{s,ada} \cdot \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \right) \epsilon_c \cdot E_s + 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \text{pers.(3.45)}$$

$$A_{s,ada} \times f_y \times a = A'_{s,ada} \times (a - 0,85 \cdot d') \epsilon_c \cdot E_s + 0,85 \times f'_c \times a^2 \times b$$

$$3926,9908 \times 400 \times a = 1963,4954 \times (a - 0,85 \times 60) \times 600 + 0,85 \times 30 \times a^2 \times 350$$

$$0 = -60082959,5 - 392699,0817 \cdot a + 8925 a^2$$

Dari persamaan kuadrat didapatkan nilai $a = 106,947 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{106,947}{0,85} = 125,8199 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.46)}$$

$$f'_s = \frac{c - d'}{c} E_s \cdot \epsilon_{cu} \quad \text{pers.(3.47)}$$

$$= \frac{125,8199 - 60}{125,8199} 200000 \times 0,003 = 313,8767 \leq f_y = 400 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pakai } f'_s.$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad \text{pers.(3.41)}$$

$$= 0,85 \times f'_c \times a' \times b \times (d - \frac{1}{2} a') + A'_{s,ada} \times f'_s \times (d - d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 106,947 \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} 106,947) + 1963,4954 \times 313,87 \times (690 - 60)$$

$$= 995,8313 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 995,8313 \text{ kNm}$$

$$= 796,6650 \text{ kNm}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1$$

$$\frac{796,6650}{703,3572} = 1,1327 \geq 1 \text{ Aman!}$$

Momen tumpuan positif dalam contoh perhitungan ini dapat dilihat pada lampiran A-7 struktur balok anak arah x hasil redistribusi momen tumpuan positif portal G

lantai 1-4. Alur perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.14.

$$M_u^+ = 351,6786 \text{ kNm (lampiran A-7)}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{351,6786}{0,8} = 439,5983 \text{ kNm}$$

Dari hasil perencanaan tulangan tumpuan jumlah tulangan terpakai :

Tulangan tarik = 4 tulangan, D25

Tulangan desak = 8 tulangan, D25

$$A_{s,ada} = 1963,4954 \text{ mm}^2$$

$$A'_{s,ada} = 3926,9908 \text{ mm}^2$$

▪ Momen tersedia pada balok

$$T_s = C_s + C_c$$

$$A_{s,ada} \times f_y = A'_{s,ada} \times f_y + 0,85 \times f'_c \times a_k \times b$$

$$a_k = \frac{(A_{s,ada} \times f_y) - (A'_{s,ada} \times f_y)}{0,85 \times f'_c \times b} \quad \text{pers.(3.38)}$$

$$= \frac{(3926,9908 \times 400) - (1963,4954 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$= -87,9998 \text{ mm}$$

$$a_{.leleh} = \frac{\epsilon_c \cdot E_s \cdot d' \cdot \beta_1}{\epsilon_c \cdot E_s - f_y} \quad \text{pers.(3.40)}$$

$$= \frac{(0,003 \times 200000 \times 60 \times 0,85)}{(0,003 \times 200000) - 400}$$

$$= 153 \text{ mm}$$

$a_{.leleh} > a_k$, Tulangan baja desak belum leleh

$$T_s = C_s + C_c$$

$$A_{s,ada} \cdot f_y = A'_{s,ada} \cdot \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \right) \cdot \epsilon_c \cdot E_s + 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \text{pers.(3.45)}$$

$$A_{s,ada} \times f_y \times a = A'_{s,ada} \times (a - 0,85 \cdot d') \cdot \epsilon_c \cdot E_s + 0,85 \times f'_c \times a^2 \times b$$

$$1963,4954 \times 400 \times a = 3926,9908 \times (a - 0,85 \times 60) \times 600 + 0,85 \times 30 \times a^2 \times 350$$

$$0 = -120165919 - 1570796,327 \cdot a + 8925 a^2$$

Dari persamaan kuadrat didapatkan nilai $a = 57,630 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{57,630}{0,85} = 67,7996 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.46)}$$

$$f'_s = \frac{c - d'}{c} E_s \cdot \epsilon_{cu} \quad \text{pers.(3.47)}$$

$$= \frac{67,7996 - 60}{67,7996} 200000 \times 0,003 = 69,0232 \leq f_y = 400 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pakai } f'_s$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad \text{pers.(3.41)}$$

$$= 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - \frac{1}{2} a) + A'_{s,ada} \times f'_s \times (d - d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 57,630 \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} 57,630) + 3926,9908 \times 69,0232 \times (690 - 60)$$

$$= 510,8408 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 510,8408 \text{ kNm}$$

$$= 408,6726 \text{ kNm}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1 \rightarrow \frac{408,6726}{351,6786} = 1,1587 \geq 1 \text{ Aman!}$$

6.2.3 Momen Kapasitas Balok

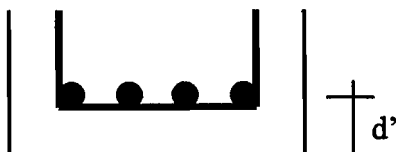
Dari hasil perhitungan disain balok tumpuan diperoleh Jumlah tulangan terpakai :

Tulangan tarik = 8 tulangan, D25

Tulangan desak = 4 tulangan, D25

1. Momen Kapasitas Negatif (-)

Perhatikan gambar distribusi tegangan regangan balok bertulangan rangkap pada gambar 6.1. Alur perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.16.



$$d' = pb + \text{Øsengkang} + \frac{1}{2} \text{Øtulangan}$$

$$= 30 + 10 + 12,5 = 52,5 \text{ mm}$$

Anggap tulangan baja desak leleh $\rightarrow f'_s = f_y$

$$f_y \geq 400 \text{ MPa}, \phi_o = 1,4$$

$$T_s = T_c + C_c$$

$$A_{s,ada} \times f_y \times \phi_o = A'_{s,ada} + 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$a' = \frac{(A_{s,ada} \times f_y \times \phi_o) - (A'_{s,ada} \times f_y)}{0,85 \times f'_c \times b} \quad \text{pers.(3.51)}$$

$$= \frac{(3926,9908 \times 400 \times 1,4) - (1963,4954 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} = 158,3996 \text{ mm}$$

$$a_{leleh} = \frac{\epsilon_c \cdot E_s \cdot d' \cdot \beta_1}{\epsilon_c \cdot E_s - f_y \cdot \phi_o} \quad \text{pers.(3.52)}$$

$$a_{leleh} = \frac{0,003 \times 200000 \times 0,85 \times 52,5}{0,003 \times 200000 - 400 \times 1,4}$$

$$= 669,375 \text{ mm}$$

$a_{leleh} > a'$, Tulangan baja desak belum leleh, memakai persamaan (3.54).

$$A_{s,ada} \times f_y \times \phi_o \times a = A'_{s,ada} \times (a - 0,85 \cdot d') \epsilon_c \cdot E_s + 0,85 \times f'_c \times a^2 \times b$$

$$3926,991 \times 400 \times 1,4 \times a = 1963,495 \times (a - 0,85 \times 52,5) \times 600 + 0,85 \times 30 \times a^2 \times 350$$

$$0 = -77607156,02 - 1021017,612 \cdot a + 8925 a^2$$

Dari persamaan kuadrat didapatkan nilai $a = 166,595 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{166,595}{0,85} = 195,994 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.46)}$$

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \epsilon_{cu} = \frac{195,994 - 52,5}{195,994} 0,003 = 0,002196$$

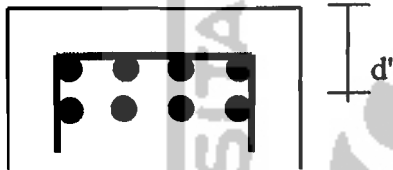
$$f'_s = \epsilon'_s \times E_s = 0,002196 \times 200000 = 362,7480 \leq f_y = 400 \text{ MPa} \quad \text{pers.(3.47)}$$

$$M_{kap}^- = M_{n1} + M_{n2}$$

pers.(3.55)

$$\begin{aligned} &= 0,85 \times f'_c \times a' \times b \times (d - \frac{1}{2} a) + A'_{s,ada} \times f'_s \times (d - d') \\ &= 0,85 \times 30 \times 166,595 \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} 166,595) + 1963,4954 \times 362,748 \times \\ &\quad (690 - 52,5) \\ &= 1338337700 \text{ Nmm} \\ &= 1338,3377 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Momen Kapasitas Positif (+)



$$\begin{aligned} d' &= pb + \emptyset \text{sengkang} + \emptyset \text{tulangan} + \frac{1}{2} S_{min} \\ &= 30 + 10 + 25 + 12,5 \\ &= 77,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Anggap tulangan desak tidak akan luluh

$A_{s,ada} = A'_{s,ada}$, menggunakan persamaan (3.56).

$$\begin{aligned} A_{s,ada} \times f_y \times \phi_0 \times a &= A'_{s,ada} \times (a - 0,85 \cdot d') \epsilon_c \cdot E_s + 0,85 \times f'_c \times a^2 \times b \\ 1963,495 \times 400 \times 1,4 \times a &= 1963,495 \times (a - 0,85 \times 77,5) \times 600 + 0,85 \times 30 \times a^2 \times 350 \\ 0 &= -77607156,02 + 78539,816 \cdot a + 8925 a^2 \end{aligned}$$

Dari persamaan kuadrat didapatkan nilai $a = 88,953 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{88,953}{0,85} = 104,6510 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.46)}$$

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \epsilon_{cu} = \frac{104,6510 - 77,5}{104,6510} 0,003 = 0,000778$$

$$f'_s = \epsilon'_s \times E_s = 0,000778 \times 200000 = 155,6659 \leq f_y = 400 \text{ MPa} \quad \text{pers.(3.47)}$$

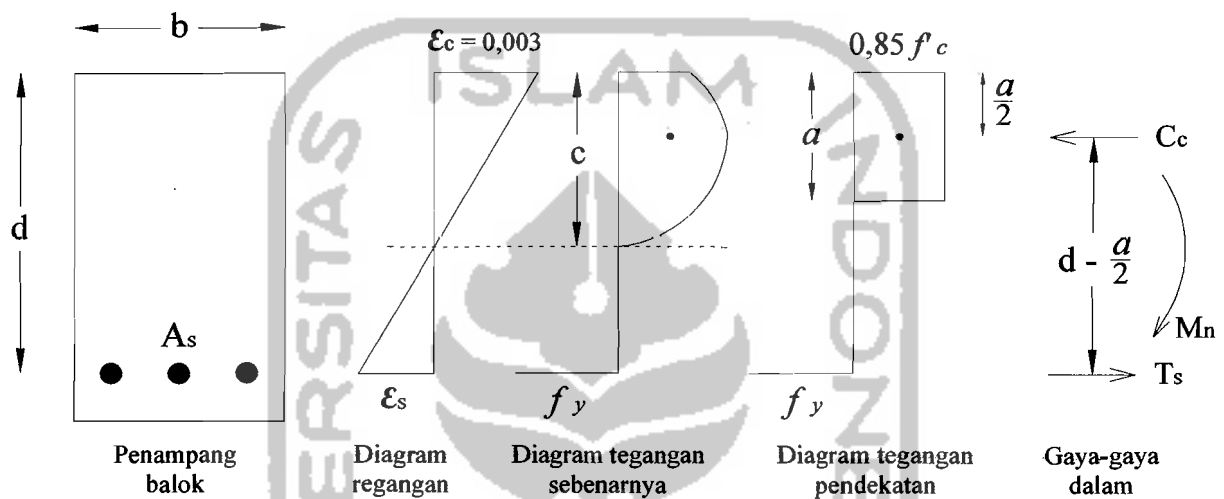
$$M_{n1} = R_{n1} \times b \times d^2 \quad \text{pers.(3.35)}$$

$$= 3,4041 \times 350 \times 690^2$$

$$= 567235329,8 \text{ Nmm} = 567,2353 \text{ kNm}$$

karena $M_{n1} = 567,2353 \text{ kNm} > M_n = 488,280 \text{ kNm}$, maka dapat disimpulkan

balok hanya bertulangan sebelah saja.



Gambar 6.2 Distribusi tegangan regangan balok bertulangan sebelah.

$$M_{n1} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - \frac{1}{2} a) \quad \text{pers.(3.33)}$$

$$567235329,8 = 0,85 \times 30 \times a \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} a)$$

$$567235329,8 = 6158250 \cdot a - 4462,5 \cdot a^2$$

Dari persamaan kuadrat didapatkan nilai $a = 99,2476 \text{ mm}$

$$T_s = C_c$$

$$A_{s1} \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$A_{s1} = \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 99,2476 \times 350}{400} = 2214,4613 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pakai tulangan } D = 25 \text{ mm} \rightarrow A_\phi = 1/4 \pi D^2 = 1/4 \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$n_1 = \frac{A_{s1}}{A_\phi} = \frac{2214,4613}{490,625} = 4,51126$$

$$n_{1\text{pakai}} = 5 \text{ buah}$$

$$A_{s1,\text{ada}} = n_{1\text{pakai}} \times A_\phi = 5 \times 490,625 = 2454,3693 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1,\text{ada}} \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a' \times b$$

$$2454,3693 \times 400 = 0,85 \times 30 \times a' \times 350$$

$$a' = 109,9997 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a' \times b \times (d - \frac{1}{2} a')$$

pers.(3.33)

$$= 0,85 \times 30 \times 109,9997 \times 350 \times (690 - \frac{1}{2} 109,9997)$$

$$= 623409918,5 \text{ Nmm}$$

$$= 623,4099 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 623,4099 \text{ kNm}$$

$$= 498,7279 \text{ kNm}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1 \rightarrow \frac{498,7279}{390,624} = 1,2767 \geq 1 \text{ Aman!}$$

6.2.5 Disain Geser Balok

1. Gaya Geser Balok

Dari hasil perhitungan disain balok didapat :

$$h = 750 \text{ mm}, b = 350 \text{ mm}, d = 690 \text{ mm}, l_n = 8,15 \text{ m}, K = 1$$

$$M_{\text{kap}}^- = 1338,377 \text{ kNm (lampiran B-2)}$$

$$M_{\text{kap}}^+ = 699,9694 \text{ kNm (lampiran B-3)}$$

$$\begin{aligned}
 -V_{u.b.sendiri} (\text{Kiri}) &= 1,05 (V_D + V_L) \\
 &= 1,05 (-174,73 + -53,39) \\
 &= -239,526 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -V_{u.b.sendiri} (\text{Tengah 1}) &= 1,05 (V_D + V_L) \\
 &= 1,05 (-70,19 + -29,01) \\
 &= -104,160 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -V_{u.b.sendiri} (\text{Tengah 2}) &= 1,05 (V_D + V_L) \\
 &= 1,05 (-70,19 + -29,01) \\
 &= 104,160 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -V_{u.b.sendiri} (\text{Kanan}) &= 1,05 (V_D + V_L) \\
 &= 1,05 (174,73 + 53,39) \\
 &= 239,526 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

▪ **Beban Gravitasi dan Gempa**

$$\begin{aligned}
 -V_{u.Gempa} &= \frac{0,7 \times (M_{kap^-} + M_{kap^+})}{L_n} + 1,05(V_D + V_L) && \text{pers.(3.58)} \\
 &= \frac{0,7 \times (1338,3377 + 699,6964)}{8,15} + 1,05(174,73 + 53,39) \\
 &= 414,5719 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

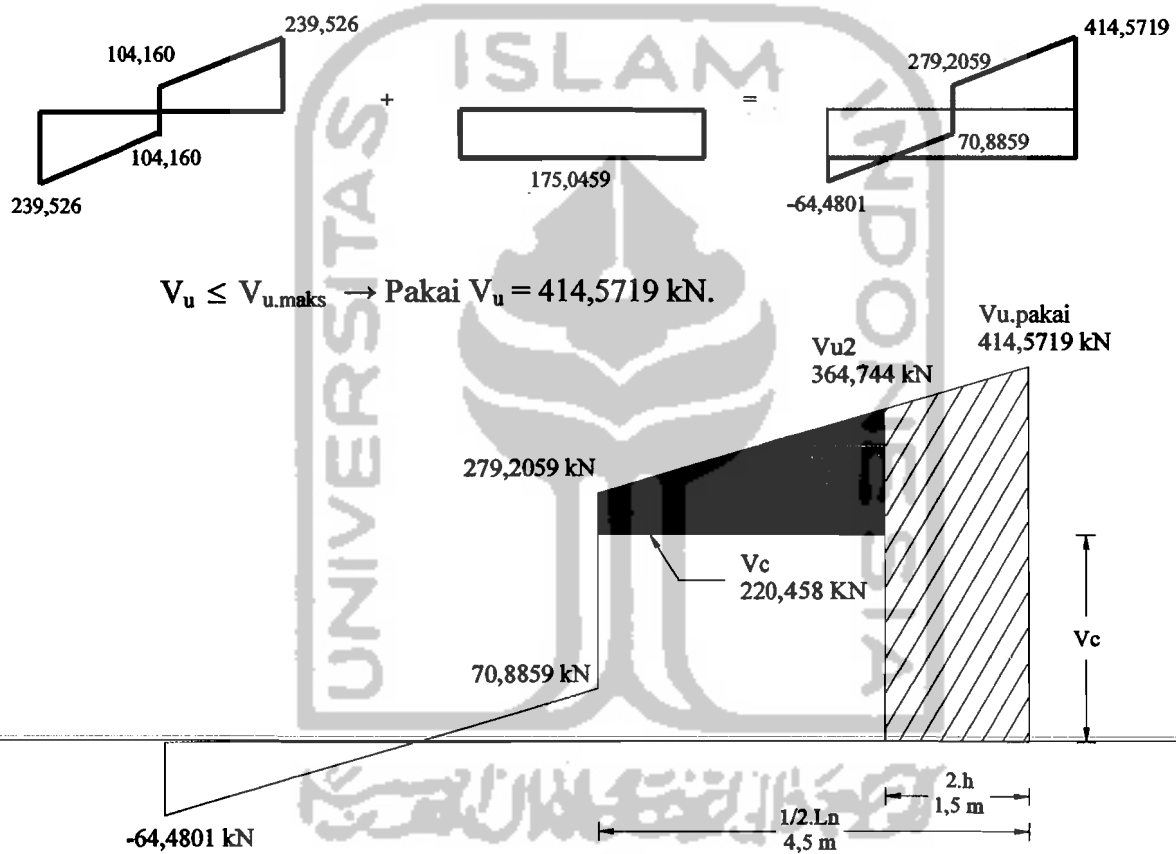
$$\begin{aligned}
 -V_{u.Gempa} &= \frac{0,7 \times (M_{kap^-} + M_{kap^+})}{L_n} + 1,05(V_D + V_L) && \text{pers.(3.58)} \\
 &= \frac{0,7 \times (1338,3377 + 699,6964)}{8,15} - 1,05(174,73 + 53,39) \\
 &= -64,4801 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hasil tersebut V_u diatas tidak perlu melebihi $V_{u.maks}$

$$-V_{u.maks} = 1,05 \times \left(V_D + V_L + \frac{4}{K} V_E \right) \quad \text{pers.(3.59)}$$

$$= 1,05 \times \left(174,73 + 53,39 + \frac{4}{1} 100,08 \right)$$

$$= 659,862 \text{ kN}$$



Gambar 6.4 Gaya geser balok pada daerah sendi plastis dan luar sendi plastis.

2. Disain Geser Pada Daerah Sendi Plastis (dalam 2 h)

Alur perhitungan geser balok dapat dilihat pada gambar 3.17.

$$V_{sl} = \frac{V_{u.pakai}}{\phi} \rightarrow \phi = 0,6 \quad \text{pers.(3.61)}$$

$$= \frac{414,5719}{0,6} = 690,9531 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ maks}} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot 350 \cdot 690$$

$$= 881833,3176 \text{ N} = 881,8333 \text{ kN} \rightarrow V_{s1} \leq V_{s \text{ maks}} \text{ ok!!!}$$

Pakai tulangan sengkang P 10 mm

$$A_{\phi} = 1/4 \pi D^2 = 1/4 \pi \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

Pakai jumlah kaki sengkang (n) = 4 \rightarrow (min 2)

$$s = \frac{n \times A_{\phi} \times f_y \times d}{V_{s1} \times 10^3}$$

pers.(3.63)

$$= \frac{4 \times 78,5 \times 300 \times 690}{690,9531 \times 10^3}$$

$$= 94,070 \text{ mm}$$

Dengan syarat jarak begel tidak perlu melebihi :

- $\frac{d}{4} = \frac{690}{4} = 172,5 \text{ mm}$

- $8 \cdot \emptyset = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$

- $24 \cdot \emptyset \text{ sengkang} = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$

- 200 mm

Sehingga jarak sengkang yang dipakai $s = 85 \text{ mm}$

Pakai **2P10 – 85**

3. Disain Geser Diluar Daerah Sendi Plastis (luar 2 h)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

pers.(3.60)

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 350 \times 690$$

$$= 220458,329 \text{ N} = 220,458 \text{ kN}$$

$$V_{u2} = \left\{ \left[\frac{(0,5ln) - (2h)}{(0,5ln)} \right] \times [V_{u.pakai} - V_{u3}] \right\} + V_{u3}$$

$$= \left\{ \left[\frac{(0,5 \times 8,15) - (2 \times 0,75)}{(0,5 \times 8,15)} \right] \times [414,5719 - 279,2059] \right\} + 279,2059$$

$$= 364,744 \text{ kN}$$

$$V_{s2} = \frac{V_{u2}}{\phi} - V_c$$

pers.(3.62)

$$= \frac{364,744}{0,6} - 220,458$$

$$= 387,458 \text{ kN}$$

$$s = \frac{n \times A_s \times f_y \times d}{V_{s2} \times 10^3}$$

pers.(3.63)

$$= \frac{3 \times 78,5 \times 400 \times 690}{387,458 \times 10^3}$$

$$= 125,819 \text{ mm}$$

Dengan syarat jarak begel tidak perlu melebihi :

- $\frac{d}{2} = \frac{690}{2} = 345$

- 600 mm

Sehingga jarak sengkang yang dipakai $s = 125 \text{ mm}$

Pakai **1,5P10 – 125**

6.3 Perencanaan Kolom

Sebagai contoh perhitungan diambil kolom C 34 portal G lantai 2 struktur yang menggunakan balok anak arah x dengan mutu beton (f'_c) 30 Mpa.

6.3.1 Momen dan Gaya Aksial Rencana Kolom

1. Momen Rencana Kolom

$$\omega_d = 1,3 \quad f'_c = 30 \text{ MPa} \quad E_c = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$l_{ki} = 9 \text{ m} \quad l_{ka} = 9 \text{ m} \quad l_{n,ki} = 8,15 \text{ m} \quad l_{n,ka} = 8,15 \text{ m}$$

$$h_{.a} = 3,85 \text{ m} \quad h_{.b} = 3,85 \text{ m} \quad h'_{.a} = 3,1 \text{ m} \quad h'_{.b} = 3,1 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan disain balok didapat :

$$M_{.kap,ki} = 699,6964 \text{ kNm} \quad M_{.kap,ka} = 1338,3377 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{12E_c \cdot I}{H^3} \quad \text{pers.(3.67)}$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 850 \times 850^3 = 43500520833 \text{ mm}^4$$

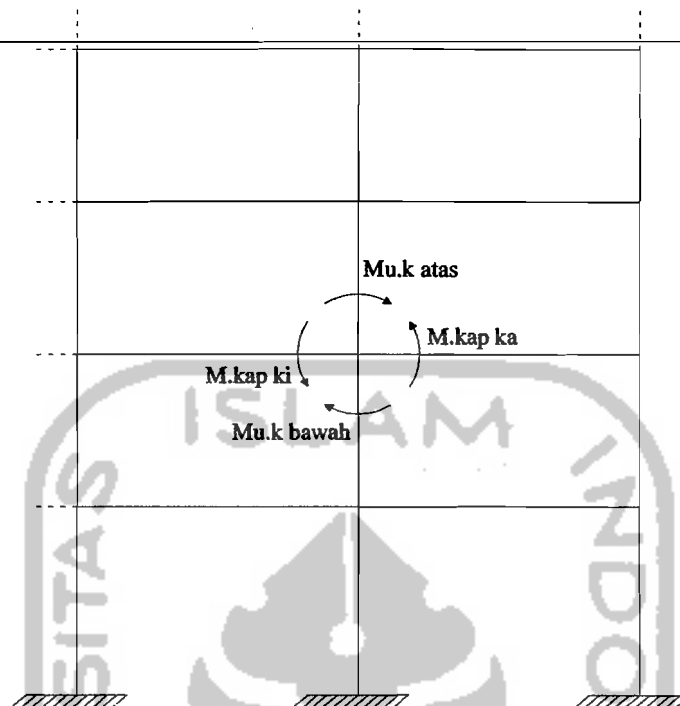
$$k_a = \frac{12 \times E \times I}{h^3} = \frac{12 \times 25742,96 \times 43500520833}{3850^3} = 235478,9 \text{ N/mm}$$

$$k_b = \frac{12 \times E \times I}{h^3} = \frac{12 \times 25742,96 \times 43500520833}{3850^3} = 235478,9 \text{ N/mm}$$

$$\alpha_{k,a} = \frac{k_a}{k_a + k_b} = \frac{235478,9}{235478,9 + 235478,9} = 0,5 \quad \text{pers.(3.65)}$$

$$\alpha_{k,b} = \frac{k_b}{k_a + k_b} = \frac{235478,9}{235478,9 + 235478,9} = 0,5 \quad \text{pers.(3.66)}$$

$$M_{u,k} = \frac{h'}{h} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot \left[\frac{1}{l_{n,ki}} M_{.kap,ki} + \frac{1}{l_{n,ka}} M_{.kap,ka} \right] \quad \text{pers.(3.64)}$$



Gambar 6.5 Keseimbangan momen kolom.

$$\begin{aligned}
 M_{u.k.atas} &= \frac{h'_a}{h} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_{ka} \cdot \left[\frac{1}{I_{n.ki}} M_{kap.ki} + \frac{1}{I_{n.ka}} M_{kap.ka} \right] \\
 &= \frac{3,1}{3,85} \cdot 0,7 \cdot 1,3 \cdot 0,5 \cdot \left[\frac{9}{8,15} 699,6964 + \frac{9}{8,15} 1338,3377 \right] \\
 &= 1314,1267 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{u.k.bawah} &= \frac{h'_b}{h} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_{kb} \cdot \left[\frac{1}{I_{n.ki}} M_{kap.ki} + \frac{1}{I_{n.ka}} M_{kap.ka} \right] \\
 &= \frac{3,1}{3,85} \cdot 0,7 \cdot 1,3 \cdot 0,5 \cdot \left[\frac{9}{8,15} 699,6964 + \frac{9}{8,15} 1338,3377 \right] \\
 &= 1314,1267 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

▪ Momen Maksimum Kolom

Dari hasil analisis struktur kolom C 34 didapat : (lampiran A-10)

$$M_{D \text{ atas}} = 15,466 \text{ kNm}$$

$$M_{D \text{ bawah}} = 4,338 \text{ kNm}$$

$$M_{L \text{ atas}} = 5,178 \text{ kNm}$$

$$M_{L \text{ bawah}} = 1,566 \text{ kNm}$$

$$M_{E \text{ atas}} = 616,896 \text{ kNm}$$

$$M_{E \text{ bawah}} = 223,834 \text{ kNm}$$

$$M_{u.k} = 1,05 \left(M_D + M_L + \frac{4}{K} M_E \right) \quad \text{pers.(3.68)}$$

$$\begin{aligned} M_{u.k \text{ atas}} &= 1,05 \left(15,466 + 5,178 + \frac{4}{1} 616,896 \right) \\ &= 2612,6394 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u.k \text{ bawah}} &= 1,05 \left(4,338 + 1,566 + \frac{4}{1} 223,834 \right) \\ &= 946,302 \text{ kNm} \end{aligned}$$

▪ Momen Kolom Terpakai

Momen kolom terpakai diambil nilai terkecil dari perhitungan pada momen rencana kolom dan momen maksimum kolom.

$$M_{u.k \text{ atas}} = 1314,1267 \text{ kNm}$$

$$M_{u.k \text{ bawah}} = 946,302 \text{ kNm}$$

Hasil selengkapnya terdapat pada lampiran B-7 kolom C 34.

2. Gaya Aksial Rencana Kolom

Dari hasil analisis struktur kolom C 34 didapat :(lampiran A-12)

$$P_L = 1947,6 \text{ kN}$$

$$P_D = 8043,82 \text{ kN}$$

$$P_{g.k} = (P_D + P_L)$$

$$= 1947,6 + 8043,82$$

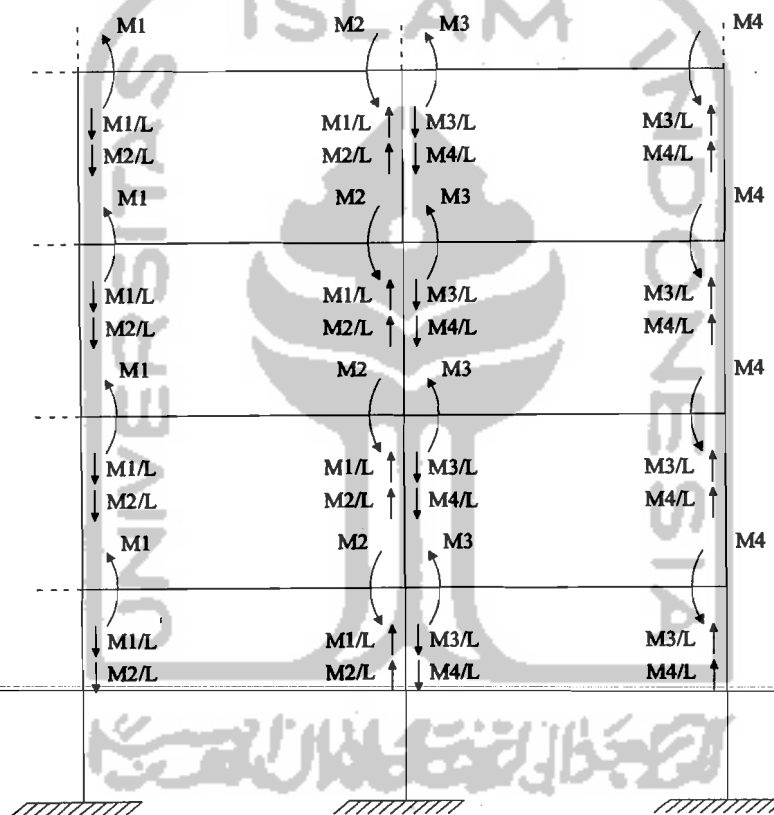
$$= 9991,42 \text{ kN}$$

$$P_{E.k} = V_E = 44,83 \text{ kN}$$

$$R_v = 1,1 - 0,025 n$$

$$= 1,1 - 0,025 \cdot 14$$

$$= 0,75$$



Gambar 6.6 Gaya aksial kolom.

Perhitungan komulatif momen kapasitas pada lantai 2 kolom C34.

$$\sum M_{kap} = \sum_{i=2}^{15} \left\{ \frac{(\sum M_{kap.ki})}{l_{n.ki}} + \frac{(\sum M_{kap.ka})}{l_{n.ka}} \right\}$$

$$\sum M_{kap} = \sum_{i=2}^{15} \{0\}$$

$$\sum M_{kap} = 0$$

$$P_{u,k} = R_v \cdot 0,7 \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(\sum M_{kap,ki})}{l_{n,ki}} + \frac{(\sum M_{kap,ka})}{l_{n,ka}} \right\} + 1,05 \cdot P_{g,k} \quad \text{pers.(3.69)}$$

$$= 0,75 \cdot 0,7 \cdot \sum_{i=2}^{15} \{0\} + 1,05 \cdot (1947,6 + 8043,82)$$

$$= 10490,99 \text{ kN}$$

- Gaya aksial maksimum ($P_{u,k} \text{ maks}$)

$$P_{u,k} = 1,05 \cdot \left(P_{g,k} + \frac{4,0}{K} \cdot P_{E,k} \right) \quad \text{pers.(3.71)}$$

$$P_{u,k} = 1,05 \cdot \left(1947,6 + 8043,82 + \frac{4,0}{1} \cdot 44,83 \right)$$

$$= 10679,29 \text{ kN}$$

Dari nilai kedua di atas diambil nilai yang terkecil sehingga $P_{u,k} = 10490,99$ kN. Dengan cara yang sama untuk perhitungan gaya aksial lantai 2 portal 4 kolom C 34, didapatkan nilai $P_{u,k} = 10490,99$ kN, gaya aksial terpakai merupakan nilai terbesar dari gaya aksial lantai 2 portal G kolom C 34 dengan

gaya aksial lantai 2 portal 4 kolom C 34 yaitu $P_{u,k} = 10490,99$ kN. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B-8 kolom C 34.

3.2 Disain Kolom

Disain Kolom Dengan Cara Numerik Patah Desak (Kolom C 34 Lantai 2)

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$P_u = 10490,991 \text{ kN (lampiran B-8)}$$

$$M_u = 1479.3119 \text{ kNm (lampiran B-7)}$$

Alur perhitungan disain kolom dapat dilihat pada gambar 3.21 dan 3.22.

$$P_{na} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{10490,991}{0,65} = 16139,9861 \text{ kN}$$

$$M_{na} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1479,3119}{0,8} = 1849,3119 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_{na}}{P_{na}} = \frac{1849,3119}{16139,9861} = 0.1146 \text{ m} = 114,5689 \text{ mm}$$

▪ Menentukan Ukuran Kolom

Dipakai $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 400 \text{ MPa}$, $f'_c = 30 \text{ MPa}$.

Pada kondisi *balance* maka :

$$c_b = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \cdot h = \frac{0,003}{0,003 + \frac{400}{200000}} \cdot h = 0,6 h \quad \text{pers.(3.73)}$$

$$\begin{aligned} P_b &= C_c + C_s - T_s \\ &= 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b + A'_s \cdot f_y - A_s \cdot f_y \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot h \cdot b \\ &= 13,005 \cdot h \cdot b \end{aligned} \quad \text{pers.(3.72)}$$

$$h \approx 0,9 \cdot ht$$

$$P_b = 13,005 \cdot b \cdot 0,9 \cdot ht = 11,7045 \cdot b \cdot ht = 11,7045 A_g$$

$$P_b = P_{na} = 16139,9861 \text{ kN}$$

$$A_g = \frac{16139,9861}{11,7045} = 1378955,629 \text{ mm}^2$$

Misal dicoba ukuran kolom 900×900 , maka $A_{gc} = 900 \cdot 900 = 810000 \text{ mm}^2$.

Sehingga terjadi *compression controls* (patah desak), $A_{gc} < A_g$. Dipakai baja

tulangan D25, $A_s = 490,625 \text{ mm}^2$ dengan banyak tulangan 8 tulangan tiap

sisi, maka $A_s = A'_s = 8.490,625 = 3925 \text{ mm}^2$, $d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 26,5 \text{ mm}$,

$$h = ht - d' = 900 - 26,5 = 873,5 \text{ mm}.$$

- Estimasi Kuat Desak P_n

Dengan menggunakan rumus Whitney maka :

$$P_n = \left(\frac{f'_c \cdot b \cdot ht}{\frac{3 \cdot ht \cdot e}{h^2} + 1,18} + \frac{A'_s \cdot f_y}{\frac{e}{h - d'} + 0,5} \right) \quad \text{pers.(3.76)}$$

$$= \left(\frac{30.900.900}{\frac{3.900.114,5689}{873,5^2} + 1,18} + \frac{3925.400}{\frac{114,5689}{873,5 - 26,5} + 0,5} \right)$$

$$= 17798,5866 \text{ kN}$$

$$P_n = 17798,5866 \text{ kN} > P_{na} = 16139,9861 \text{ kN}$$

Estimasi ukuran dan jumlah tulangan diperkirakan memenuhi syarat.

- Kontrol Status Patah Desak

$$c_b = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 873,5 = 524,1 \text{ mm}$$

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{524,1 - 26,5}{524,1} \cdot 0,003 = 0,002848311 > \frac{400}{200000} = 0,02$$

→ Baja desak sudah leleh

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 524,1 \cdot 900 = 10223880,75 \text{ N}$$

$$C_{sb} = A'_s \cdot (f_y - (0,85 \cdot f'_c)) = 3925 \cdot (400 - (0,85 \cdot 30)) = 1469912,5 \text{ N}$$

$$T_{sb} = A_s \cdot f_y = 3925 \cdot 400 = 1570000 \text{ N}$$

$$P_b = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb}$$

$$= 10223880,75 + 1469912,5 - 1570000 = 10123793,25 \text{ N}$$

$$= 10123,7933 \text{ kN}$$

$$P_b = 10123,7933 \text{ kN} < P_n \text{ dari Whitney}$$

→ Asumsi kolom dalam kondisi patah desak benar.

▪ Analisis Kolom Patah Desak dengan Eksentrisitas Beban e Diketahui :

$$C_c = 0,85.f'_c.\beta_1.c.b = 0,85.30.0,85.900.c = 19507,5.c \text{ N}$$

$$C_s = A'_s.(f_y - (0,85.f'_c)) = 3925.(400 - (0,85.30)) = 1469912,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s.f_y = A_s.\epsilon_s.E_s = A_s.\left(\frac{h-c}{c}\right).\epsilon_c.E_s \\ &= 3925.\left(\frac{873,5-c}{c}\right).0,003.200000 \\ &= \frac{2057092500 - 2355000.c}{c} \text{ N} \end{aligned}$$

$\sum m$ terhadap garis kerja P_n (Lihat Gambar 6.7)

$$C_c.\left\{\frac{\beta_1.c}{2} - \left(\frac{ht}{2} - e\right)\right\} - C_s.\left\{\left(\frac{ht}{2} - e\right) - d'\right\} - T_s.\left\{\left(\frac{ht}{2} - d\right) + e\right\} = 0$$

$$19507,5.c\left\{\frac{0,85.c}{2} - \left(\frac{900}{2} - 114,5689\right)\right\} - 1469912,5\left\{\left(\frac{900}{2} - 114,5689\right) - d'\right\} -$$

$$\frac{2057092500 - 2355000.c}{c}\left\{\left(\frac{900}{2} - d\right) + e\right\} = 0$$

$$19507,5.c\{0,425c - (450 - 114,5689)\} - 1469912,5\{(450 - 114,5689) - 26,5\} -$$

$$\frac{2057092500 - 2355000.c}{c}\{(450 - 26,5) + 114,5689\} = 0$$

$$8290,6875c^2 - 6543422,183c - 454101685,5 - \frac{2057092500 - 2355000.c}{c}$$

$$(538,0689) = 0$$

$$8290,6875c^3 - 6543422,18c^2 - 454101685,5c - 1,1068.10^{12} + 1267152260c = 0$$

$$8290,6875c^3 - 6543422,18c^2 + 813050574,5c - 1,1068 \cdot 10^{12} = 0$$

→ Setelah dicoba-coba diperoleh nilai $c = 856,7441$ mm,

$$a = 0,85 \cdot 856,7441 = 728,2325 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.80)}$$

Dengan demikian

$$C_c = 19507,5 \cdot 856,7441 = 16712935,53 \text{ N}$$

$$C_s = 1469912,5 \text{ N}$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{h-c}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{873,5 - 856,7441}{856,7441} \right) \cdot 0,003 = 5,8673 \cdot 10^{-5}$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = 5,8673 \cdot 10^{-5} \cdot 200000 = 11,7346 \text{ N/mm}^2 < f_y, \text{ maka pakai } f_s$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 3925 \cdot 11,7346 = 46058,2623 \text{ N}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s \\ = 16712935,53 + 1469912,5 - 46058,2623$$

$$= 18136,789 \text{ kN} > P_{na} = 16139,9861 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Memenuhi syarat}$$

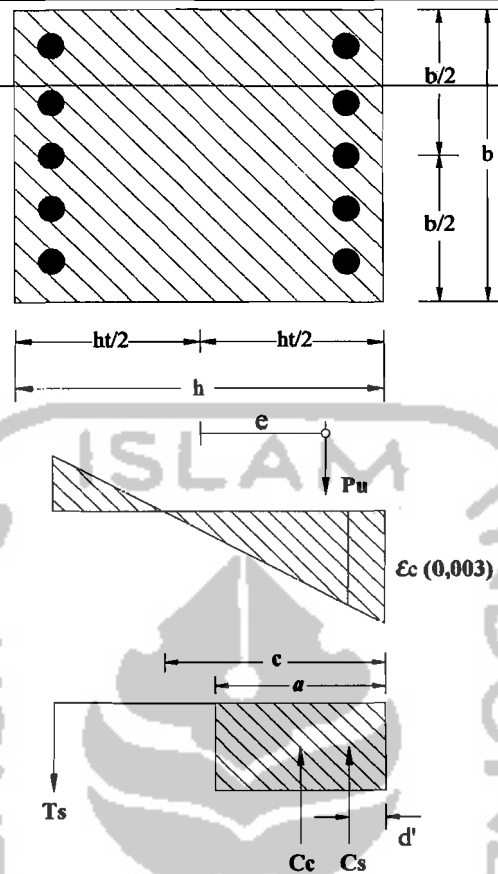
Momen lentur yang dapat ditahan, dengan mengambil momen terhadap titik berat potongan.

$$M_n = C_c \left(\frac{ht}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{ht}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{ht}{2} - d \right) \quad \text{pers.(3.78)}$$

$$= 16712935,53 \left(\frac{900}{2} - \frac{728,2325}{2} \right) + 1469912,5 \left(\frac{900}{2} - 26,5 \right) -$$

$$46058,2623 \left(\frac{900}{2} - 26,5 \right)$$

$$= 2077,3833 \text{ kNm} > M_{na} = 2067,6787 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi syarat}$$



Gambar 6.7 Diagram gaya dalam kolom (kondisi patah desak).

2. Disain Kolom Dengan Cara Numerik Patah Tarik (Kolom C34 Lantai 14)

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$P_u = 1122,1035 \text{ kN (lampiran B-8)}$$

$$M_u = 452,6907 \text{ kNm (lampiran B-7)}$$

Alur perhitungan disain kolom dapat dilihat pada gambar 3.21 dan 3.22

$$P_{na} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1122,1035}{0,65} = 1726,3131 \text{ kN}$$

$$M_{na} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{452,6907}{0,8} = 565,8634 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_{na}}{P_{na}} = \frac{565,8634}{1726,3131} = 0,3277872 \text{ m} = 327,7872 \text{ mm}$$

- Menentukan Ukuran Kolom

Dipakai $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 400 \text{ MPa}$, $f'_c = 30 \text{ MPa}$.

Pada kondisi *balance* maka :

$$c_b = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \cdot h = \frac{0,003}{0,003 + \frac{400}{200000}} \cdot h = 0,6 h \quad \text{pers.(3.73)}$$

$$\begin{aligned} P_b &= C_c + C_s - T_s \\ &= 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c_b \cdot b + A'_s \cdot f_y - A_s \cdot f_y \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot h \cdot b \\ &= 13,005 \cdot h \cdot b \end{aligned} \quad \text{pers.(3.72)}$$

$$h \approx 0,9 \cdot h_t$$

$$P_b = 13,005 \cdot b \cdot 0,9 \cdot h_t = 11,7045 \cdot b \cdot h_t = 11,7045 A_g$$

$$P_b = P_{na} = 1726,3131 \text{ kN}$$

$$A_g = \frac{1726,3131}{11,7045} = 147491,3988 \text{ mm}^2$$

Misal dicoba ukuran kolom 500×500 , maka $A_{gc} = 500 \cdot 500 = 250000 \text{ mm}^2$.

Sehingga terjadi *tension controls* (patah tarik), $A_{gc} > A_g$. Dipakai baja tulangan D25, $A_s = 490,625 \text{ mm}^2$ dengan banyak tulangan 3 tulangan tiap sisi, maka $A_s = A'_s = 3 \cdot 490,625 = 1471,875 \text{ mm}^2$, $d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 26,5 \text{ mm}$, $h = h_t - d' = 500 - 26,5 = 473,5 \text{ mm}$.

- Estimasi Kuat Tarik P_n

Dengan menggunakan rumus pendekatan P_n maka : pers.(3.77)

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot h \cdot \left\{ -\rho + 1 - \frac{e}{h} + \sqrt{\left(1 - \frac{e}{h}\right)^2 + 2 \cdot e \cdot \left[(m-1) \left(1 - \frac{d'}{h}\right) + \frac{e}{h} \right]} \right\}$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 500 \cdot 473,5 \left\{ -327,787 + 1 - \frac{327,787}{473,5} + \right.$$

$$\left. \sqrt{\left(1 - \frac{327,787}{473,5}\right)^2 + 2 \cdot 327,787 \left[(14117,647 - 1) \left(1 - \frac{26,5}{473,5}\right) + \frac{327,787}{473,5} \right]} \right\}$$

$$= 5547,4555 \text{ kN}$$

$$P_n = 5547,4555 \text{ kN} > P_{na} = 1726,3131 \text{ kN}$$

→ Estimasi ukuran dan jumlah tulangan diperkirakan memenuhi syarat.

▪ Kontrol Status Patah Tarik

$$c_b = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 473,5 = 284,1 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{284,1 - 26,5}{284,1} \cdot 0,003 = 0,002720169 > \frac{400}{200000} = 0,02$$

→ Baja desak sudah leleh

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 284,1 \cdot 500 = 3078933,75 \text{ N}$$

$$C_{sb} = A'_s \cdot (f_y - (0,85 \cdot f'_c)) = 1471,875 \cdot (400 - (0,85 \cdot 30)) = 551217,1875 \text{ N}$$

$$T_{sb} = A_s \cdot f_y = 1471,1 \cdot 400 = 588750 \text{ N}$$

$$P_b = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb}$$

$$= 3078933,75 + 551217,1875 - 588750 = 3041400,9 \text{ N}$$

$$= 3041,4009 \text{ kN}$$

$$P_b = 3041,4009 \text{ kN} > P_{na} = 1726,3131 \text{ kN}$$

→ Asumsi kolom dalam kondisi patah tarik benar.

▪ Analisis Kolom Patah Tarik dengan Eksentrisitas Beban e Diketahui :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 500 \cdot c = 10837,5 \cdot c \text{ N}$$

$$C_s = A'_s \cdot (f_y - (0,85 \cdot f'_c)) = 1471,875 \cdot (400 - (0,85 \cdot 30)) = 551217,1875 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 1471,875 \cdot 400 = 588750 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_c + C_s - T_s \\
 &= 10837,5.c + 551217,1875 - 588750 \\
 &= 10837,5.c - 37532,8125
 \end{aligned}$$

$\sum m$ terhadap garis kerja T_s (Lihat Gambar 6.8)

$$\begin{aligned}
 P_n \left(e + \frac{h-d'}{2} \right) &= C_c \left(h - \frac{a}{2} \right) + C_s (h-d') \\
 10837,5.c - 37532,8125 \left(327,7872 + \frac{473,5 - 26,5}{2} \right) &= \\
 10837,5.c (473,5 - 0,425c) + 551217,1875 (473,5 - 26,5) &= \\
 5974575,03c - 20691359,11 &= 5131556,25c - 4605,9375c^2 + 246394082,8 \\
 4605,9375c^2 + 843019,0637c - 267085442,9 &= 0
 \end{aligned}$$

→ Dengan rumus persamaan kuadrat didapat nilai $c = 166,0940$ mm,

$$a = 0,85 \cdot 166,0940 = 141,1799 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.80)}$$

Dengan demikian

$$C_c = 10837,5 \cdot 166,0940 = 1800043,899 \text{ N}$$

$$C_s = 551217,1875 \text{ N}$$

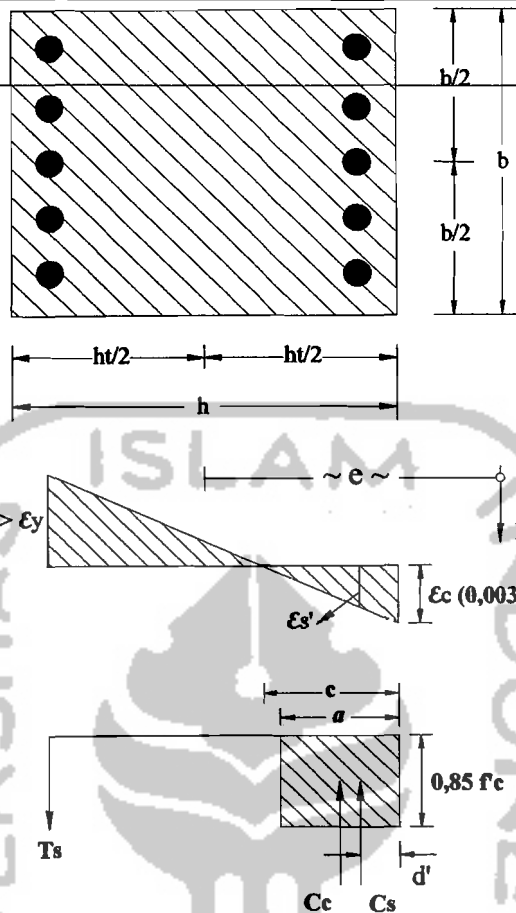
$$\epsilon_s = \left(\frac{h-c}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{473,5 - 166,0940}{166,0940} \right) \cdot 0,003 = 5,5523 \cdot 10^3$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = 5,5523 \cdot 10^3 \cdot 200000 = 1110,4772 \text{ N/mm}^2 > f_y, \text{ maka pakai } f_y$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 3925.400 = 588750 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_c + C_s - T_s \\
 &= 1800043,899 + 551217,1875 - 588750
 \end{aligned}$$

$$= 1762,511 \text{ kN} > P_{na} = 1726,3131 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Memenuhi syarat}$$



Gambar 6.8 Diagram gaya dalam kolom (kondisi patah tarik).

Momen lentur yang dapat ditahan, dengan mengambil momen terhadap titik berat potongan.

$$M_n = C_c \left(\frac{ht}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{ht}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{ht}{2} - d \right) \quad \text{pers.(3.78)}$$

$$= 1800043,899 \left(\frac{500}{2} - \frac{141,1799}{2} \right) + 551217,1875 \left(\frac{500}{2} - 26,5 \right) +$$

$$588750 \left(\frac{500}{2} - 26,5 \right)$$

$$= 2077,3833 \text{ kNm} > M_{na} = 1849,1399 \text{ kNm} \rightarrow \text{Memenuhi syarat}$$

6.3.3 Disain Geser Kolom

Untuk contoh perhitungan disain geser kolom kolom C 34 lantai 1 dan lantai 2 struktur yang menggunakan balok anak arah x dengan mutu beton ($f'c$) 30 Mpa.

1. Gaya Geser Kolom

▪ Gaya Geser Kolom C 34 Lantai 1

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$M_{u.k \text{ atas}} = 223,9839 \text{ kNm}, h' = 4,375 \text{ m}$$

Dari analisis struktur diketahui data-data sebagai berikut :

$$V_D = 2,32 \text{ kN (lampiran B-10)} \quad M_D = 4,947 \text{ kNm (lampiran A-10)}$$

$$V_L = 0,74 \text{ kN} \quad M_L = 1,558 \text{ kNm}$$

$$V_E = 275,34 \text{ kN} \quad M_E = 1153,266 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{u.k.bawah} &= 1,05 \left(M_D + M_L + \frac{4}{K} M_E \right) \\ &= 1,05 \left(4,947 + 1,558 + \frac{4}{1} 1153,266 \right) \\ &= 1217,7596 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{kap.bawah} &= \phi_0 \cdot M_{u.k.bawah} \quad \text{pers.(3.107)} \\ &= 1,4 \cdot 1217,7596 \text{ kNm} \\ &= 1704,8634 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u.k} &= \frac{M_{u.k.atas} + M_{kap.bawah}}{h'} \quad \text{pers.(3.105)} \\ &= \frac{223,9839 + 1704,8634}{4,375} \\ &= 440,8794 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai $V_{u,k}$ diatas tidak boleh melebihi :

$$V_{u,k \text{ maks}} = 1,05 \left(V_D + V_L + \frac{4}{K} V_E \right) \quad \text{pers.(3.106)}$$

$$= 1,05 \left(2,32 + 0,74 + \frac{4}{1} \cdot 275,34 \right)$$

$$= 1159,641 \text{ kN.}$$

$$V_{u,k \text{ pakai}} = 440,8794 \text{ kN.}$$

- Gaya Geser Kolom C 34 Lantai 2

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$M_{u,k \text{ atas}} = 946,302 \text{ kNm (lampiran B-7)}$$

$$M_{u,k \text{ bawah}} = 1479,3119 \text{ kNm (lampiran B-7)}$$

$$h' = 3,1 \text{ m}$$

Dari analisis struktur diketahui data-data sebagai berikut : (lampiran B-10)

$$V_D = 1,94 \text{ kN}$$

$$V_L = 0,77 \text{ kN}$$

$$V_E = 306,93 \text{ kN}$$

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,k \text{ atas}} + M_{u,k \text{ bawah}}}{h'} \quad \text{pers.(3.105)}$$

$$= \frac{946,302 + 1479,3119}{3,1}$$

$$= 782,4561 \text{ kN}$$

Nilai $V_{u,k}$ diatas tidak perlu melebihi :

$$V_{u,k \text{ maks}} = 1,05 \left(V_D + V_L + \frac{4}{K} V_E \right) \quad \text{pers.(3.106)}$$

$$= 1,05 \left(1,94 + 0,77 + \frac{4}{1} \cdot 306,93 \right)$$

$$= 1291,952 \text{ kN.}$$

$$V_{u.k \text{ pakai}} = 782,4561 \text{ kN.}$$

2. Disain Penulangan Geser

▪ Disain Penulangan Geser Kolom C 34 Lantai 1

a. Daerah lo Dalam Sendi Plastis

Alur perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.24.

Diketahui data-data dari perhitungan disain kolom sebagai berikut :

$$f_c = 30 \text{ MPa} \quad b_{\text{kolom}} = 900 \text{ mm} \quad D_{\text{tul.kolom}} = 25 \text{ mm}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad h_{\text{kolom}} = 900 \text{ mm} \quad D_{\text{senggang}} = 10 \text{ mm}$$

$$p_b = 40 \text{ mm} \quad A_g = 900 \times 900 = 810000 \text{ mm}^2$$

$$d = h_{\text{kolom}} - d' = 900 - (40 - 10 - (0,5 \times 25)) = 837,5 \text{ mm}$$

$$P_{u.k} = 11336,4825 \text{ kN}$$

$$0,3 \cdot A_g \cdot f_c = 0,3 \times 900 \cdot 900 \times 30 = 7290 \text{ kN}$$

$$P_{u.k} > 0,3 \cdot A_g \cdot f_c, \text{ maka } l_o = 1,5 h = 1,5 \times 900 = 1350 \text{ mm}$$

$$V_{u.k} = 440,8794 \text{ kN}$$

$$V_{sl} = \frac{V_{u.k}}{0,6} = \frac{440,8794}{0,6} = 734,799 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.108)}$$

$$\text{Pakai tulangan sengkang } D = 10 \text{ mm} \rightarrow A_{\phi} = 78,5 \text{ mm}^2$$

Pakai kaki sengkang = 5 buah

$$s = \frac{n \times A_{\phi} \times f_y \times d}{V_{sl} \times 10^3} = \frac{5 \times 78,5 \times 300 \times 837,5}{734,799 \times 1000} = 134,208 \text{ mm} \quad \text{pers.(3.109)}$$

$$s \text{ pakai} = 130 \text{ mm}$$

Dengan syarat jarak begel tidak perlu melebihi :

- $b/4 = 900/4 = 225 \text{ mm}$
- $8.D = 8. 25 = 200 \text{ mm}$
- 100 mm

Pakai Tulangan **2,5P10 – 100**

b. Daerah lo Luar Sendi Plastis

$$V_c = \left(1 + \frac{P_{u.k}}{14 \times A_g} \right) \times \left(\frac{1}{6} \right) \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad \text{pers.(3.110)}$$

$$= \left(1 + \frac{11336,4825 \times 1000}{14 \times 810000} \right) \times \left(\frac{1}{6} \right) \times \sqrt{30} \times 900 \times 837,5$$

$$= 1375939,495 \text{ N} = 1375,939 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_{u.k}}{0,6} - V_c = \frac{440,8794}{0,6} - 1375,939 = -641,1404 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.111)}$$

Pada kolom 34 lantai 1 pada daerah luar sendi plastis gaya geser yang ada masih dapat ditahan oleh beton, maka memakai jarak sengkang maksimum.

Pakai tulangan sengkang $D = 10 \text{ mm} \rightarrow A_s = 78,5 \text{ mm}^2$

Pakai kaki sengkang = 2 buah

Pakai jarak sengkang

- $48.d = 48. 837,5 = 40200 \text{ mm}$
- $16.D = 16. 25 = 400 \text{ mm}$
- 600 mm

Pakai Tulangan **P10 – 400**

Pada daerah diluar lo memakai jarak sengkang maksimum, dipakai tulangan sengkang **P10 – 400**

- Disain Penulangan Geser Kolom C 34 Lantai 2

➤ Daerah lo Luar Sendi Plastis

Diketahui data-data dari perhitungan disain kolom sebagai berikut :

$$f'_c = 30 \text{ MPa} \quad b_{\text{kolom}} = 900 \text{ mm} \quad D_{\text{tul.kolom}} = 25 \text{ mm}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad h_{\text{kolom}} = 900 \text{ mm} \quad D_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm}$$

$$pb = 40 \text{ mm} \quad A_g = 900 \times 900 = 810000 \text{ mm}^2$$

$$d = h_{\text{kolom}} - d' = 900 - (40 - 10 - (0,5 \times 25)) = 837,5 \text{ mm}$$

$$P_{u.k} = 10490,991 \text{ kN}$$

$$0,3 \cdot A_g \cdot f'_c = 0,3 \times 900 \cdot 900 \times 30 = 7290 \text{ kN}$$

$$P_{u.k} > 0,3 \cdot A_g \cdot f'_c, \text{ maka } l_o = 1,5 h = 1,5 \times 900 = 1350 \text{ mm}$$

$$V_{u.k} = 782,4561 \text{ kN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{P_{u.k}}{14 \times A_g} \right) \times \left(\frac{1}{6} \right) \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad \text{pers.(3.110)}$$

$$= \left(1 + \frac{10490,991 \times 1000}{14 \times 810000} \right) \times \left(\frac{1}{6} \right) \times \sqrt{30} \times 900 \times 837,5$$

$$= 1324637,7 \text{ N} = 1324,6377 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_{u.k}}{0,6} - V_c = \frac{782,4561}{0,6} - 1324,6377 = -20,5441 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.111)}$$

Pada kolom 34 lantai 2 pada daerah luar sendi plastis tidak memerlukan tulangan geser.

$$\text{Pakai tulangan sengkang } D = 10 \text{ mm} \rightarrow A_s = 78,5 \text{ mm}^2$$

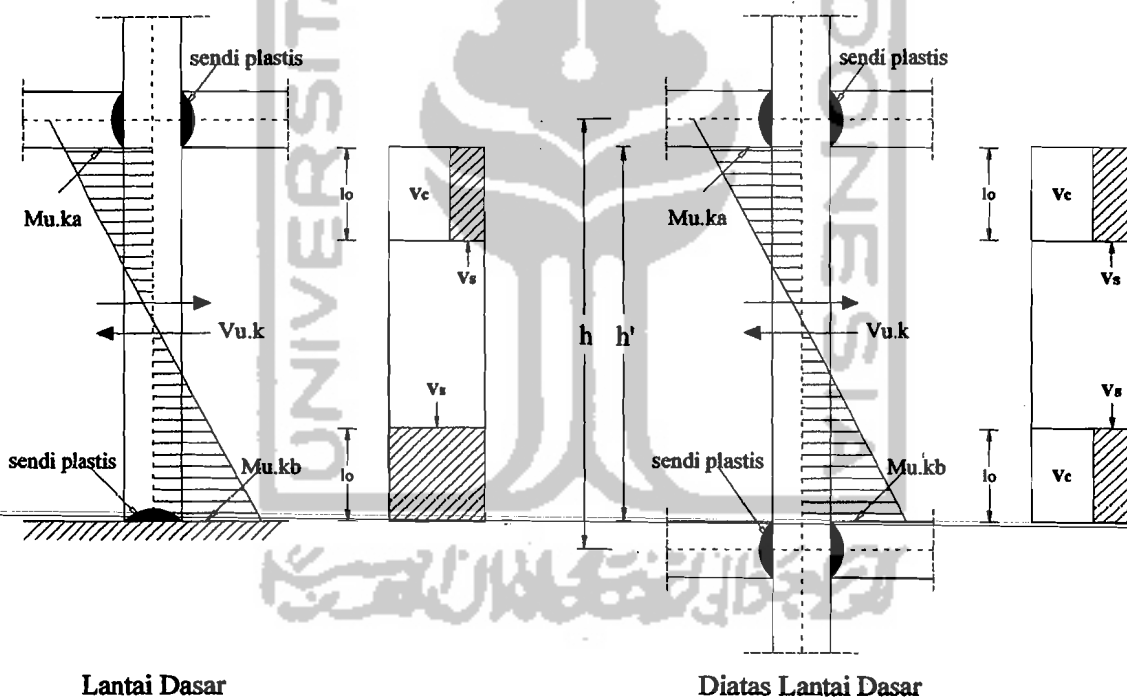
Pakai kaki sengkang = 2 buah

Jarak sengkang tidak boleh melebihi :

- $48.d = 48. 837,5 = 40200 \text{ mm}$
- $16.D = 16. 25 = 400 \text{ mm}$
- 600 mm

Pakai Tulangan P10 – 400

Pada daerah diluar l_o memakai jarak sengkang maksimum, dipakai tulangan sengkang P10 – 400



Gambar 6.9 Gaya geser kolom.

6.4 Perencanaan Titik Pertemuan Balok-Kolom

Sebagai contoh perhitungan diambil titik pertemuan kolom C 34 dengan balok portal G lantai 2 struktur yang menggunakan balok anak arah x dengan

mutu beton (f'_c) 30 Mpa. Alur perhitungan perencanaan *beam column joint* dapat dilihat pada gambar 3.25.

6.4.1 Gaya Pada Titik Pertemuan Balok-Kolom

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}, f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$b_{\text{balok}} = 350 \text{ mm} \quad l_{ka} = 9 \text{ m} \quad l_{n,ka} = 8,1 \text{ m}$$

$$h_{\text{balok}} = 750 \text{ mm} \quad l_{ki} = 9 \text{ m} \quad l_{n,ki} = 8,1 \text{ m}$$

$$b_{\text{kolom}} = 900 \text{ mm} \quad Z_{ka} = 645,523 \text{ mm} \quad Z_{ki} = 606,702 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom}} = 900 \text{ mm} \quad h_{k, \text{atas}} = 3,1 \text{ m} \quad h_{k, \text{bawah}} = 3,1 \text{ m}$$

$$b_{ba} = \frac{b_{\text{balok}} + b_{\text{kolom}}}{2} = \frac{350 + 900}{2} = 625 \text{ mm}$$

$$M_{\text{kap.b.ka}} = 699,6964 \text{ kNm} \quad M_{\text{kap.b.ki}} = 1338,3377 \text{ kNm}$$

$$C_{ki} = T_{ki} = \frac{0,7M_{\text{kap.b.ki}}}{Z_{ki}} = \frac{0,7 \times 1338,3377}{606,702/1000} = 1544,145 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.113)}$$

$$C_{ka} = T_{ka} = \frac{0,7M_{\text{kap.b.ka}}}{Z_{ka}} = \frac{0,7 \times 699,6964}{645,523/1000} = 758,745 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.114)}$$

$$V_{\text{kol}} = \frac{0,7 \left[\left(\frac{l_{ki}}{l_{n,ki}} \right) M_{\text{kap.ki}} + \left(\frac{l_{ka}}{l_{n,ka}} \right) M_{\text{kap.ka}} \right]}{\frac{1}{2} (h_{k, \text{atas}} + h_{k, \text{bawah}})} \quad \text{pers.(3.115)}$$

$$= \frac{0,7 \left[\left(\frac{9}{8,1} \right) 1338,3377 + \left(\frac{9}{8,1} \right) 758,745 \right]}{3.1}$$

$$= 511,3347 \text{ kN}$$

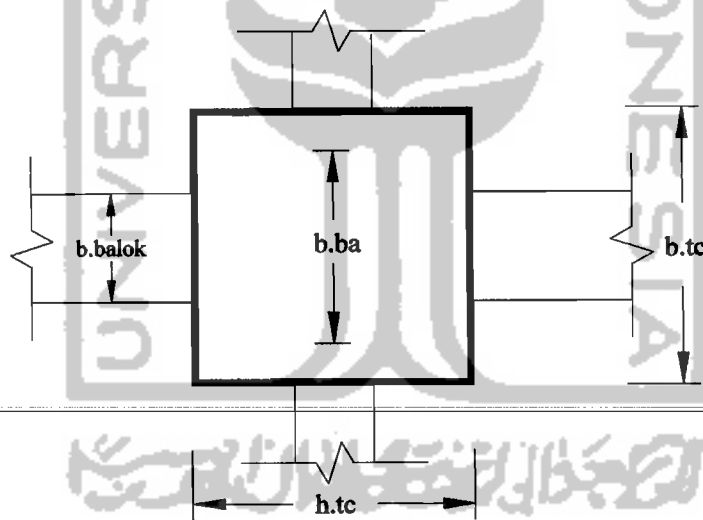
$$V_{jh} = C_{.ki} + T_{.ka} - V_{.kol} \quad \text{pers.(3.112)}$$

$$= 1544,145 + 758,745 - 511,3347 = 1791,5548 \text{ kN}$$

$$V_{jv} = \left(\frac{h_b}{b_c} \right) \times V_{jh} = \left(\frac{0,75}{0,9} \right) \times 1791,5548 = 1492,9623 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.117)}$$

Kontrol tegangan geser maksimum :

$$\begin{aligned} \tau_{jh} &= \frac{V_{jh}}{h_{.tc} \times b_{.ba}} < 1,5\sqrt{f'_c} \quad \text{pers.(3.118)} \\ &= \frac{1791,5548 \times 1000}{900 \times 625} < 1,5\sqrt{30} \\ &= 3,1849 \text{ MPa} < 8,2158 \text{ MPa} \text{ Ok!} \end{aligned}$$



Gambar 6.10 Penampang beam column joint.

6.4.2 Penulangan Geser *Beam Column Joint* Horisontal

Kekuatan geser yang dapat dikerahkan oleh beton : pers.(3.121)

$$\frac{P_{u.k}}{A_g} = \frac{10491,991 \times 1000}{810000} = 12,953 \text{ MPa} > 0,1 \times f'_c = 3 \text{ MPa}, \text{ Maka}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ch} &= \frac{2}{3} \left(\sqrt{\frac{P_{u,k}}{A_g} - 0,1 \cdot f_c'} \right) \cdot b_{b,a} \cdot h_c \\
 &= \frac{2}{3} \sqrt{\frac{10491,991 \times 1000}{810000} - 0,1 \times 30} \times (625 \times 900) \\
 &= 11829952 \text{ N} = 1182,995 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya geser yang dapat ditahan oleh sengkang V_{sh} :

$$V_{sh} = V_{jh} - V_{ch} = 1791,5548 - 1182,995 = 608,5596 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.119)}$$

Luas tulangan sengkang yang diperlukan :

$$A_{sh} = \frac{V_{sh}}{f_y} = \frac{608,5596 \times 1000}{300} = 2028,5321 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.122)}$$

$$\text{Pakai tulangan } D = 10 \text{ mm} \rightarrow A_\phi = 78,5 \text{ mm}^2$$

Jumlah kaki sengkang (n) = 4 Buah

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{sh}}{n \times A_\phi} = \frac{2028,5321}{4 \times 78,5} = 6,4603 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah}$$

Pakai jumlah tulangan = 7 (P10)

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak tulangan (s)} &= \frac{h_{\text{balok}} - 125 - 75}{\text{Jumlah Tulangan} + 1} \\
 &= \frac{750 - 125 - 75}{7 + 1}
 \end{aligned}$$

$$= 68,75 \text{ mm}$$

Pakai tulangan sengkang **4P10 – 65**

6.4.3 Penulangan Geser *Beam Column Joint* Vertikal

Kekuatan geser yang dapat dikerahkan oleh beton :

$$V_{cv} = V_{jh} \cdot \frac{A_{sk}}{A_{sk}} \left(0,6 + \frac{P_{uk}}{A_g \cdot f_c} \right) \quad \text{pers.(3.125)}$$

$$= 1791,5548.1 \left(0,6 + \frac{10490,991}{810000 \times 30} \right)$$

$$= 1848,3973 \text{ kN}$$

Gaya geser yang dapat ditahan oleh sengkang V_{sv} :

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv} = 1492,9623 - 1848,3973 = -355,435 \text{ kN} \quad \text{pers.(3.123)}$$

Luas tulangan sengkang yang diperlukan :

$$A_{sh} = \frac{V_{sv}}{f_y} = \frac{-355,435 \times 1000}{300} = -1,1848 \text{ mm}^2 \quad \text{pers.(3.126)}$$

Ada 8 tulangan tengah (*intermediate bars*) $A_s = 3925 \text{ mm}^2$

$A_s > A_{sh}$, cukup ditahan oleh tulangan pokok kolom.

6.5 Perencanaan Pondasi

6.5.1 Tegangan Ijin Tanah

Diketahui data-data sebagai berikut : (lampiran A-12)

$P_{D,P40} = 4203,01 \text{ kN}$	$P_{L,P40} = 626,34 \text{ kN}$	$P_{\text{pelat}} = 4900 \text{ cm}$
$P_{D,P39} = 6124,45 \text{ kN}$	$P_{L,P39} = 1148,62 \text{ kN}$	$L_{\text{pelat}} = 3600 \text{ cm}$
$P_{D,P35} = 5835,47 \text{ kN}$	$P_{L,P35} = 1135,81 \text{ kN}$	Tebal Pelat = 30 cm
$P_{D,P34} = 8695,59 \text{ kN}$	$P_{L,P34} = 2101,06 \text{ kN}$	

Untuk data distribusi gaya geser dasar horisontal terdapat pada tabel 5.2

$$\sum \sigma_t = [q_{\text{pelat}} + q_{\text{pasir}} + q_{\text{spesi}} + q_{\text{tegel}} + q_{\text{hidup}}] \quad \text{pers.(3.129)}$$

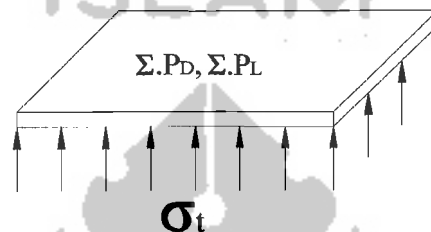
$$\sum \sigma_t = \left[\left(\frac{30}{100} \cdot 2400 \right) + 63 + 42 + 24 + 250 \right] = 1099 \text{ kg/m}^2 = 0,1099 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan ijin tanah pada kedalaman 2 m :

$\sigma_{t,ijin} = 2,5 \text{ kg/cm}^2$, maka :

$$\begin{aligned}\sigma_n &= \sigma_{t,ijin} - \sum \sigma_t && \text{pers.(3.128)} \\ &= 2,5 - 0,1099 = 2,3901 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

6.5.2 Tekanan Ke Atas Pelat Pondasi



Gambar 6.11 Gaya tekanan ke atas pondasi pelat.

1. Akibat Beban Tidak Berfaktor

Tegangan tanah yang terjadi akibat tanah dan beton :

$$\begin{aligned}P_u &= \sum (P_D + P_L) && \text{pers.(3.130)} \\ &= 34766761,23 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{EK} &= \sum (\Gamma_i \times h_i) && \text{pers.(3.132)} \\ &= 395017,5449 \text{ kNm} = 4027993906 \text{ kg cm}\end{aligned}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot L \cdot P^3 = \frac{1}{12} \cdot 3600 \times 4900^3 = 3,5294 \cdot 10^{13} \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{P_u}{A} + \frac{M_{EK} \cdot Y}{I_y} && \text{pers.(3.131)} \\ &= \frac{34766761,23}{17640000} + \frac{4027993906 \cdot 1800}{3,5294 \cdot 10^{13}} \\ &= 2,17633 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_n \text{ 2,3901 kg/cm}^2 \rightarrow \text{Ok!}\end{aligned}$$

2. Akibat Beban Berfaktor

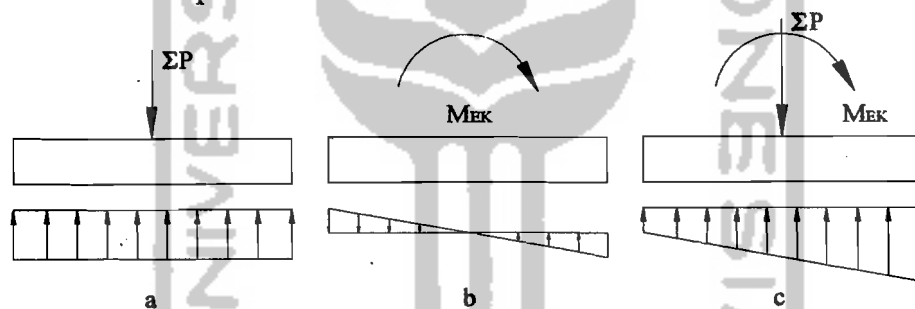
- Saat Tidak Ada Gempa

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 \sum P_D + 1,6 \sum P_L && \text{pers.(3.133)} \\
 &= (1,2 \times 28562306,85) + (1,6 \times 6204454,384) \\
 &= 41720113,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tegangan tanah yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 \sigma_t &= \frac{\sum P_u}{A} = \frac{41720113,48}{17640000} && \text{pers.(3.134)} \\
 &= 2,365085 \text{ kg/cm}^2 = 23650,85 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

- Saat Ada Gempa



Gambar 6.12 Distribusi tekanan di bawah pondasi a) akibat beban gravitasi, b) akibat beban gempa, c) Akibat beban gravitasi dan gempa.

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,05 \sum (P_D + P_L) && \text{pers.(3.135)} \\
 &= 1,05 \sum (29990422,19 + 6514677,103) \\
 &= 36505099,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

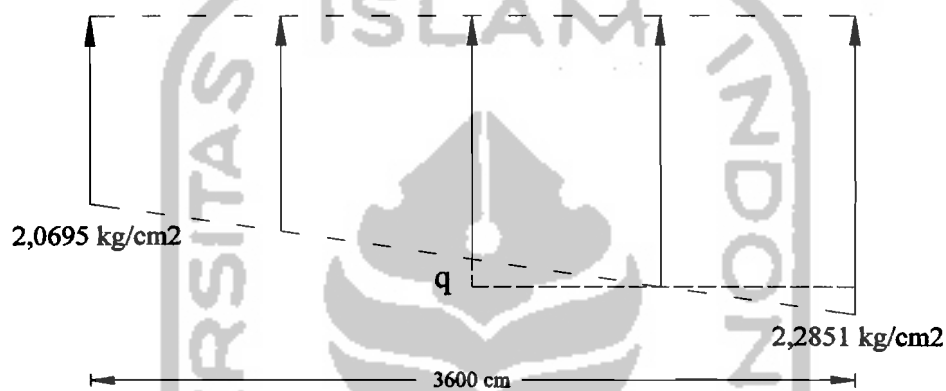
$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,05 \cdot M_{EK} && \text{pers.(3.136)} \\
 &= 1,05 \cdot 4027993906 \\
 &= 4229393601 \text{ kg cm}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_r = \frac{Pu}{A} + \frac{Mu.Y}{I_y} \quad \text{pers.(3.137)}$$

$$= \frac{36505099,3}{17640000} + \frac{4229393601.18}{3,5294.10^{13}}$$

$$= 2,0695 + 0,2157$$

$$= 2,2851 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_n \text{ 2,3901 kg/cm}^2 \rightarrow \text{Ok!}$$



Gambar 6.13 Diagram tegangan di bawah pelat pondasi.

Tegangan ditengah bentang dapat dicari :

$$\sigma_r = 2,0695 \text{ kg/cm}^2$$

Apabila diambil rata-rata maka tegangan/tekanan ke atas terhadap pelat pondasi.

$$\sigma_r = \frac{2,2851 + 2,0695}{2}$$

$$= 2,1773 \text{ kg/cm}^2$$

Maka tegangan/tekanan ke atas dipakai nilai yang terbesar $\sigma_r = q_a =$

$$2,365085 \text{ kg/cm}^2 = 23650,85 \text{ kg/m}^2$$

6.5.2 Disain Pondasi Pelat

Pada contoh perhitungan disain pondasi pelat, untuk disain pelat sama dengan contoh perhitungan pada pelat atap maupun pelat lantai begitupun juga pada disain balok pondasi pelat sama dengan contoh perhitungan perencanaan balok portal. Untuk hasil selengkapnya disain pondasi pelat struktur balok anak arah x dapat dilihat pada lampiran B-13 dan B-14 untuk balok dan lampiran B-1 untuk pelat.

6.6 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

6.6.1 Harga Satuan Pekerjaan Masing-masing Pekerjaan

- 1 m³ Pekerjaan Beton Bertulang (Ready Mix), Mutu Beton (f'_c) = 30 MPa

Bahan :

Beton Ready Mix	1,00	m ³ @ Rp.	430,000.00 = Rp.	430,000.00
				= Rp. 430,000.00

<i>Upah :</i>	1,00	m ³ @ Rp.	80,208.33 = Rp.	80,208.33
---------------	------	----------------------	-----------------	-----------

Total			= Rp.	510,208.33
-------	--	--	-------	------------

- 1 kg Pekerjaan Besi U - 24

Bahan :

Besi	1,10	kg @ Rp.	5,700.00 = Rp.	6,270.00
------	------	----------	----------------	----------

Kawat Beton	0,02	kg @ Rp.	8,000.00 = Rp.	160.00
-------------	------	----------	----------------	--------

				= Rp. 6,430.00
--	--	--	--	----------------

<i>Upah :</i>	1,00	kg @ Rp.	525.00 = Rp.	525.00
---------------	------	----------	--------------	--------

Total			= Rp.	6,955.00
-------	--	--	-------	----------

- 1 kg Pekerjaan Besi U - 39

Bahan :

Besi	1,10	kg @ Rp.	6,200.00 = Rp.	6,820.00
------	------	----------	----------------	----------

Kawat Beton	0,02 kg @ Rp.	8,000.00 = Rp.	160.00
		= Rp.	6,980.00
Upah :	1,00 kg @ Rp.	437.00 = Rp.	437.00
		Total = Rp.	7,417.00

4. 1 m³ Pekerjaan Bekisting dengan Multiplek, Rangka Kayu Meranti

Bahan :

Multiplek	0,3819 lbr @ Rp.	85,000.00 = Rp.	32,461.00
Balok Kayu	0,0296 m ³ @ Rp.	1,650,000.00 = Rp.	48,840.00
Paku	0,2 kg @ Rp.	7,000.00 = Rp.	1,400.00
Minyak Bekisting	0,2 kg @ Rp.	4,500.00 = Rp.	900.00
		= Rp.	83,601.50
Upah :	1,00 m ³ @ Rp.	6,860.05 = Rp.	6,860.05
		Total = Rp.	90,461.55

*) Bekisting dapat dipakai 3 kali

Asumsi kerusakan 25 %	Pemakaian 1	= Rp.	90,461.55
	Pemakaian 2	= Rp.	22,615,39
	Pemakaian 3	= Rp.	22,615,39
		= Rp.	139,692.33

Untuk bahan dan upah pada bekisting dipakai Rp. 45,230.78

5. 1 set Schafolding

<i>Bahan :</i>	1,00 set @ Rp.	93,500.00 = Rp.	93,500.00
<i>Upah :</i>	1,00 set @ Rp.	1,000.00 = Rp.	1,000.00
		Total = Rp.	94,500.00

6.6.2 Kebutuhan Pembesian dan Volume Beton

Contoh perhitungan diambil balok portal G lantai 2 :

Tabel 6.1 Contoh Kebutuhan Pembesian

No	Sket Gambar	Panjang	Banyaknya	Berat Per m			Volume
		m	Bh	D25	P12	P10	Kg
1		10.21	3	3.85			117.9255
2		10.095	4	3.85			155.463
3		3.7725	5	3.85			72.620625
4		2.6125	5	3.85			50.290625
5		6.4875	1	3.85			24.976875
6		9.382	6		0.89		50.09988
7		2.08	80			0.62	103,168
8		0.81	100			0.62	50.22

Kesimpulan :

- Volume struktur beton = 2,165625 m³
- Volume besi
 1. *Deform* = 442,3405 kg
 2. *Plain* = 205,9929 kg
- Volume bekisting = 13,4475 m³

Konfersi dalam 1m³

- Volume besi
 1. *Deform* = 204,2553 kg
 2. *Plain* = 95,11936 kg
- Volume bekisting = 6,20952 m³

6.6.3 Harga Satuan Pekerjaan

Contoh harga satuan pekerjaan (HSP) diambil untuk pekerjaan balok portal

G lantai 2 adalah sebagai berikut :

1 m³ Pekerjaan beton bertulang balok G lantai 2

Bahan dan Upah :

Beton	1,00 m ³	@ Rp. 510,208.33	= Rp. 510,208.33
Besi U – 24	95,119 kg	@ Rp. 6,955.00	= Rp. 661,555.18
Besi U – 39	204,26 kg	@ Rp. 7,417.50	= Rp. 1,515,063.94
Bekisting	6,2095 m ²	@ Rp. 45,230.78	= Rp. 280,861.59
Schafolding	2,182 set	@ Rp. 94,500.00	= Rp. 206,199.00
			Total = Rp. 3,173,888.36

Setelah harga satuan pekerjaan (HSP) diketahui, kemudian untuk menghitung biaya struktur adalah harga satuan pekerjaan (HSP) dikalikan dengan volumenya.

Untuk daftar harga adan upah dapat dilihat pada lampiran H-1, H-2, dan H-3.

6.7 Hasil dan Analisis Rencana Anggaran Biaya

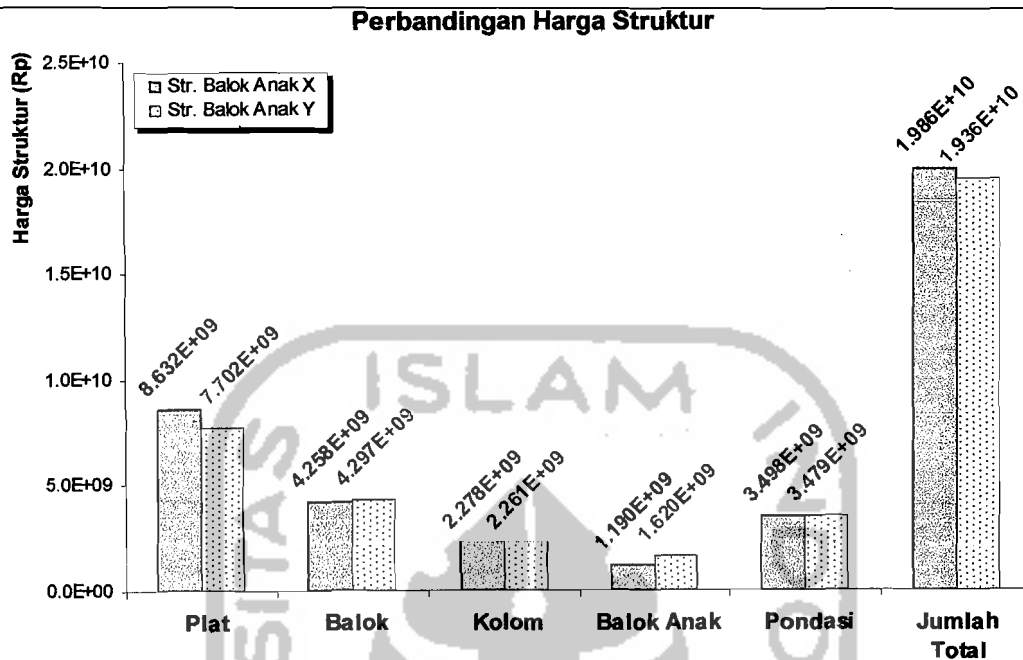
6.7.1 Perbandingan Antara Struktur Menggunakan Balok Anak Arah x dengan struktur menggunakan Balok Anak Arah y

6.7.1.1 Harga Struktur

Dari perhitungan rencana anggaran biaya didapatkan hasil harga struktur antara struktur menggunakan balok anak arah x dengan struktur yang menggunakan balok anak arah y adalah sebagai berikut :

Tabel 6.2 Rekapitulasi harga struktur

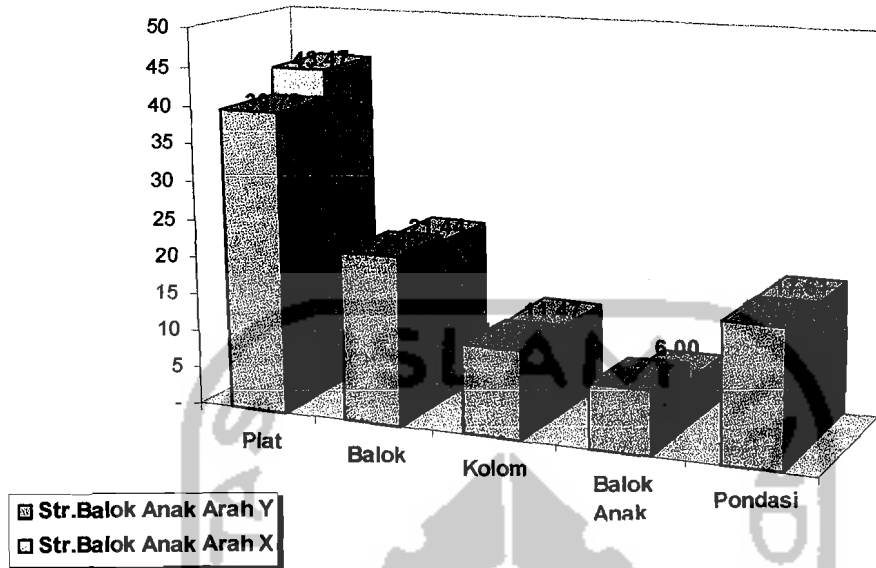
No	Jenis Struktur	Harga Struktur (Rp)
1	Struktur Balok Anak Arah x	Rp. 19.857.612.124,39
2	Struktur Balok Anak Arah y	Rp. 19.360.038.188,57



Gambar 6.14 Grafik perbandingan harga struktur balok anak arah x dengan struktur balok anak arah y.

Dari gambar 6.14 memperlihatkan bahwa struktur dengan menggunakan balok anak arah y lebih murah dibandingkan dengan struktur dengan menggunakan balok anak arah x. Terlihat jelas bahwa perbedaan yang sangat besar terdapat pada harga pekerjaan pelat dan balok anak, ini disebabkan karena pekerjaan pelat pada struktur dengan balok anak arah x menggunakan penulangan dua arah dan struktur dengan balok anak arah y menggunakan penulangan satu arah, sehingga menyebabkan struktur yang menggunakan balok anak arah x lebih mahal daripada struktur yang menggunakan balok anak arah y. Pada pekerjaan balok anak pada struktur yang menggunakan balok anak arah y lebih mahal disebabkan karena pada struktur tersebut bentang balok anak lebih panjang daripada stuktur yang menggunakan balok anak arah y.

Persentase Harga Masing-masing Pekerjaan



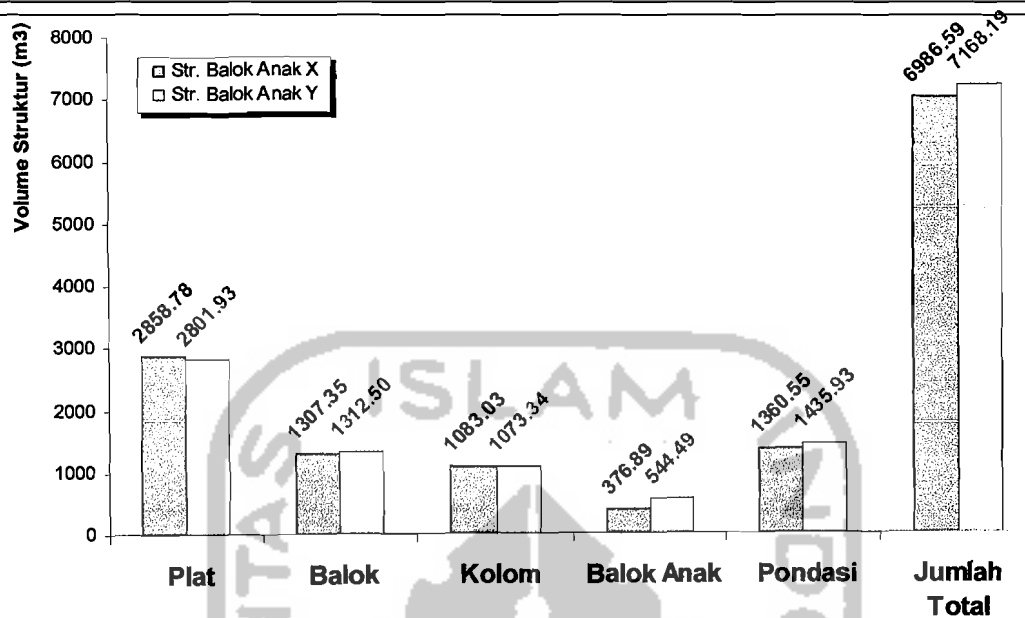
Gambar 6.15 Grafik Persentase harga masing-masing pekerjaan antara struktur balok anak arah x dengan struktur balok anak arah y.

Dari gambar 6.15 bahwa persentase harga masing-masing pekerjaan paling mahal dalam penelitian ini berturut-turut adalah pekerjaan pelat, balok induk, pondasi, kolom, dan balok anak.

6.7.1.2 Volume Struktur

Dari perhitungan rencana anggaran biaya didapatkan grafik perbandingan volume struktur antara struktur menggunakan balok anak arah x dengan struktur yang menggunakan balok anak arah y adalah sebagai berikut :

Perbandingan Volume Struktur

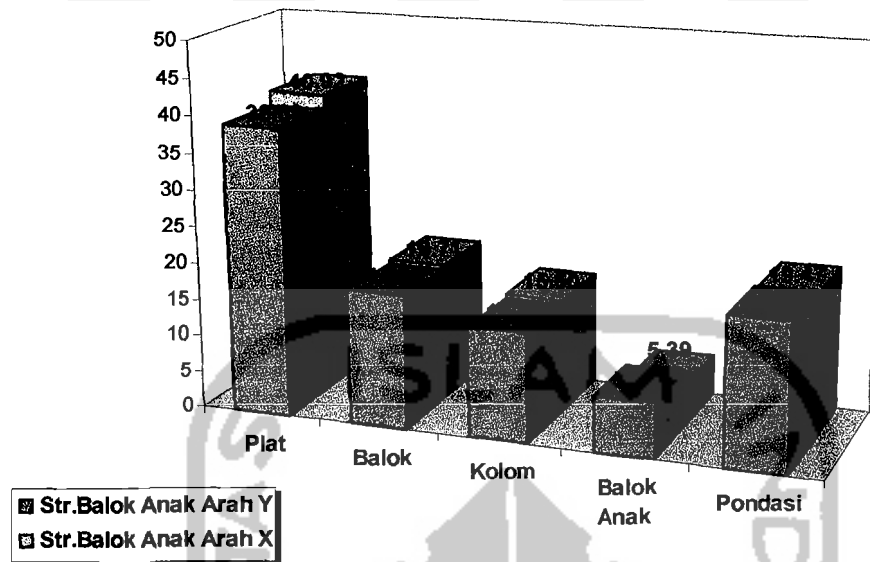


Gambar 6.16 Grafik perbandingan volume struktur balok anak arah x dengan struktur balok anak arah y.

Dari gambar 6.16 memperlihatkan volume struktur yang menggunakan balok anak arah y lebih besar daripada struktur yang menggunakan balok anak arah x, disebabkan balok anak struktur atas maupun balok anak pada pondasi struktur dengan balok anak arah y lebih panjang dibandingkan dengan balok anak struktur atas maupun balok anak pada pondasi struktur dengan balok anak arah x, sehingga menjadikan volumenya struktur dengan balok anak arah y menjadi lebih besar.

Dari gambar berikut ini (gambar 6.17) memperlihatkan bahwa persentase volume masing-masing pekerjaan paling besar dalam penelitian ini berturut-turut adalah pekerjaan pelat, pondasi, balok induk, kolom, dan balok anak. Lebih jelasnya perhatikan gambar berikut ini :

Persentase Volume Masing-masing Pekerjaan

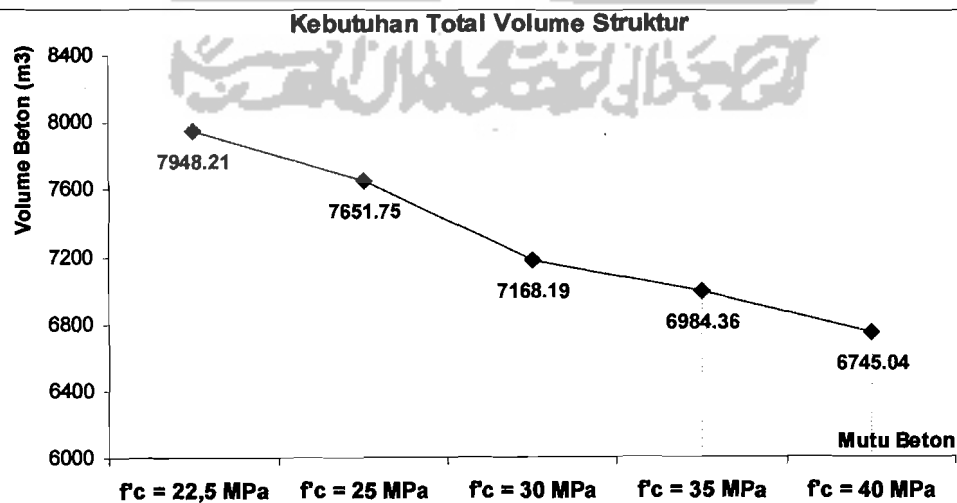


Gambar 6.17 Grafik Presentase volume masing-masing pekerjaan antara struktur balok anak arah x dengan struktur balok anak arah y.

6.7.2 Perbandingan Antara Masing-masing Mutu Beton (f'_c)

6.7.2.1 Kebutuhan Volume Struktur

Dari perhitungan rencana anggaran biaya didapatkan volume struktur masing-masing mutu beton (f'_c) adalah sebagai berikut :

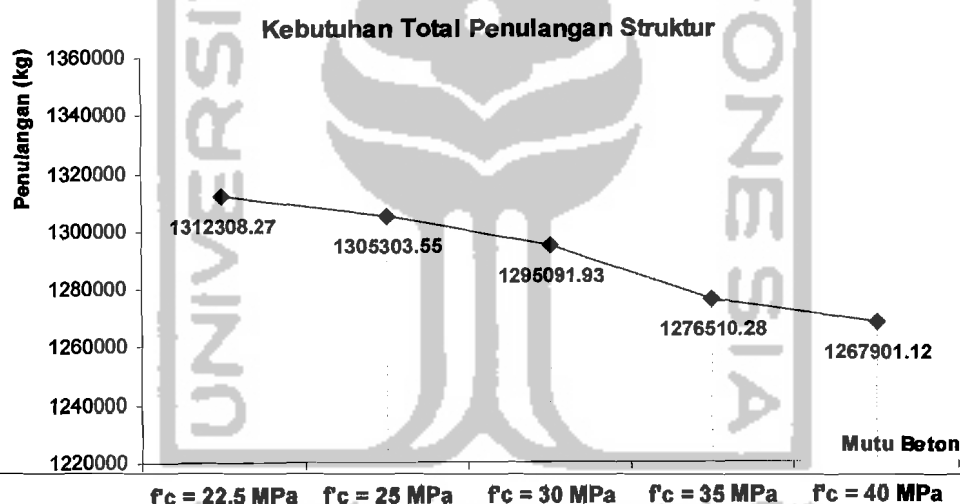


Gambar 6.18 Grafik perbandingan volume struktur masing-masing mutu beton

Gambar 6.18 menunjukkan semakin tinggi mutu beton maka volume struktur semakin kecil karena semakin tinggi mutu beton maka volume yang dipakai semakin berkurang sehingga akan berpengaruh dimensi penampang struktur menjadi semakin kecil. Volume struktur yang paling kecil terjadi pada struktur yang menggunakan mutu beton 40 Mpa.

6.7.2.2 Kebutuhan Tulangan Struktur

Dari perhitungan rencana anggaran biaya didapatkan kebutuhan tulangan struktur masing-masing mutu beton (f'_c) adalah sebagai berikut :



Gambar 6.19 Grafik perbandingan kebutuhan tulangan struktur masing-masing mutu beton

Gambar 6.19 menunjukkan bahwa semakin tinggi mutu maka kebutuhan penulangan semakin kecil karena semakin tinggi mutu beton kekuatan beton semakin bertambah sehingga akan menjadikan kebutuhan tulangan yang diperlukan semakin kecil. Kebutuhan tulangan yang paling kecil ditunjukkan pada struktur yang menggunakan mutu beton 40 Mpa.

arah x sehingga memberatkan struktur dan menambah gaya aksial kolom.

3. Besar simpangan antara struktur dengan balok anak arah x dan struktur dengan balok anak arah y hampir sama disebabkan kedua tipe struktur tersebut sama yaitu model struktur terbuka (*open frame*) hanya berbeda pada penempatan balok anak.
4. Penggunaan sistem struktur berorientasikan balok anak yaitu balok anak arah x dan balok anak arah y yang paling efisien atau yang paling murah adalah pada struktur balok anak arah y dengan efisiensi sebesar 2.51%.
5. Semakin tinggi penggunaan mutu beton pada pekerjaan balok induk, balok anak dan kolom maka dimensi strukturnya akan semakin kecil. Persentase volume pekerjaan struktur paling banyak berturut-turut adalah pelat, pondasi, balok induk, kolom dan balok anak.
6. Pada komponen struktur pelat biaya mutu beton yang paling murah yaitu didapat pada mutu beton 22.5 MPa, sedangkan pada komponen struktur balok, balok anak, dan kolom biaya mutu beton yang paling murah didapat pada mutu beton 40 MPa.
7. Dalam penggunaan mutu beton yang semakin tinggi akan berpengaruh signifikan pada pekerjaan kolom.
8. Dengan pertimbangan berbagai biaya komponen struktur penggunaan mutu beton yang paling murah dalam penelitian ini didapat pada mutu beton 40 MPa dengan total biaya struktur sebesar Rp.19.202.073.996,78.