

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Awal (*Preliminary Desain*)

Tahap perencanaan awal dari analisis struktur bangunan ini adalah dengan menghitung dimensi dari tiga struktur utama yaitu balok, pelat lantai, dan kolom, yang nantinya dari hasil perhitungan diatas akan digunakan dalam analisis pada software ETABS.

4.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan dari analisis struktur bangunan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

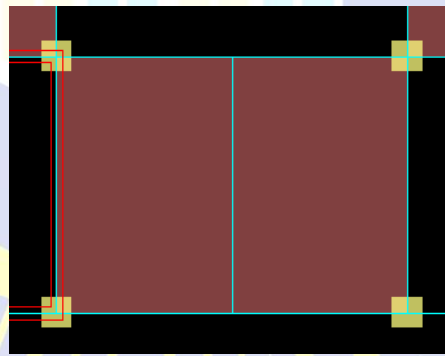
| | | |
|-----------------------|---|--------------|
| Nama proyek | :Pembangunan | laboratorium |
| | | dan klinik |
| Fungsi bangunan | : Laboratorium dan klinik | |
| Jumlah lantai | : 8 Lantai (7 Lantai + 1 <i>Basement</i>) | |
| Panjang bangunan | : 35.00 meter | |
| Lebar bangunan | : 17.00 meter | |
| Tinggi bangunan | : +33.26 meter | |
| Mutu beton (f_c') | : 30 Mpa | |
| Mutu besi (f_y) | : | |
| - Besi ulir | : 400 Mpa | |
| - Besi polos | : 240 Mpa | |
| Sistem rangka | : Sistem Rangka Pemikul Momen | |
| | Khusus (SRPMK) | |

4.1.2 Perencanaan Balok

Penentuan dimensi balok yaitu tinggi dan lebar balok, ditentukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang dan lebar maksimum dari bangunan yang nantinya sesuai dengan rumus persamaan (2.37) yang telah sesuai dengan syarat SNI 03-2847-2013, maka didapat :

4.1.2.1 Dimensi Balok ditinjau dari beban yang bekerja pada balok

Langkah awal untuk menentukan dimensi balok jika ditinjau dari beban yang bekerja yaitu menghitung beban yang bekerja pada balok, dengan mengasumsikan bentang balok dengan bentuk segitiga dan trapesium seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 : Asumsi pembebanan pada balok

- L_x (Trapezium): 700 cm = 7 m
- L_y (Segitiga) : 600 cm = 6 m
- a : 250 cm = 2,5 m

1. Balok dak atap

| Beban Mati | Dak | Satuan |
|------------------|-------------|-------------------|
| Plat beton | 2,4 | kN/m ² |
| Spesi | 0,2 | kN/m ² |
| Keramik | 0,15 | kN/m ² |
| Ducting ME | 0,45 | kN/m ² |
| Waterproofing | 1,2 | kN/m ² |
| Total beban mati | 4,49 | kN/m ² |
| Beban hidup | 1 | kN/m ² |

Tabel 4.1 : Perhitungan beban mati pada dak atap

- Beban merata yang bekerja pada balok :

a. Beban mati :

$$\begin{aligned}
 \text{- Segitiga} &= \frac{2}{3} \times 4,49 \times 2,5 \\
 &= \mathbf{7,48 \text{ kN/m}'}
 \end{aligned}$$

- Trapesium

$$= 4,49 \times 2,5 \times \left(1 - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{2,5}{7} \right)^2 \right)$$

$$= \mathbf{9,32 \text{ kN/m}'}$$

b. Beban hidup :

$$\text{- Segitiga} = \frac{2}{3} \times 1 \times 2,5$$

$$= \mathbf{1,66 \text{ kN/m}'}$$

$$\text{- Trapesium} = 1 \times 2,5 \times \left(1 - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{2,5}{7} \right)^2 \right)$$

$$= \mathbf{2,07 \text{ kN/m}'}$$

Maka untuk beban yang bekerja pada balok eksterior dan interior pada struktur bangunan tersebut, adalah

- Balok atap eksterior dengan bentang 7 m :

a. Beban mati :

- $q_{\text{Trapesium}} = 9,32 \text{ kN/m}'$

b. Beban hidup :

- $q_{\text{Trapesium}} = 2,07 \text{ kN/m}'$

- Balok interior dengan bentang 7 m :

a. Beban mati :

- $2x q_{\text{Trapesium}} = 9,32x2 = 18,64 \text{ kN/m}'$

b. Beban hidup :

- $2x q_{\text{Trapesium}} = 2,07 x 2 = 4,14 \text{ kN/m}'$

- Balok eksterior dengan bentang 6 m :

- $q_{\text{Segitiga}} = 7,48 \text{ kN/m}'$

a. Beban hidup :

- $q_{\text{Segitiga}} = 1,67 \text{ kN/m}'$

- Balok interior dengan bentang 6 m :

a. Beban mati :

- $2x q_{\text{Segitiga}} = 7,48x2 = 14,96 \text{ kN/m}'$

b. Beban hidup :

- $2x q_{\text{Segitiga}} = 1,67 x 2 = 3,34 \text{ kN/m}'$

Setelah didapat beban merata yang bekerja pada balok, maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai beban merata maksimum atau *ultimate* dan momen *ultimatenya*, dengan cara sebagai berikut.

- Beban merata *ultimate* :

$$q_u = 1.2DL + 1.6LL$$

1. Arah Trapesium (7m) :

$$\begin{aligned} - \text{qu atap} &= 1,2 \times 18,64 + 1,6 \times 4,14 \\ &= \mathbf{28,992 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

2. Arah Segitiga (6m) :

$$\begin{aligned} - \text{qu atap} &= 1,2 \times 14,96 + 1,6 \times 3,34 \\ &= \mathbf{23,296 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen *ultimate* :

$$m_u = \frac{1}{8} \times q_u \times L^2$$

1. Arah Trapesium (7m) :

$$\begin{aligned} - \text{Mu atap} &= \frac{1}{8} \times 28,992 \times 7^2 \\ &= \mathbf{177,576 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

2. Arah Segitiga (6m) :

$$\begin{aligned} - \text{Mu atap} &= \frac{1}{8} \times 23,296 \times 6^2 \\ &= \mathbf{104,83 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

- Dimensi balok :

1. Balok atap arah Trapesium

$$\omega = 0.425 \times 0.84 \times 600 / 600 + 400$$

$$\omega = 0.2142$$

$$d = 2 \times 177576000 / (0.9 \times 30 \times 0.214 \times 1 - 0.59 \times 0.2142)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 234,307 \text{ mm}$$

$$h = 234,307 + 65 = 299 \text{ mm}$$

$$h = \mathbf{300 \text{ mm}}$$

$$b = \frac{1}{2} \times 300$$

$$b = \mathbf{150 \text{ mm}}$$

2. Balok Atap arah Segitiga

$$\omega = 0.425 \times 0.84 \times 600 / 600 + 400$$

$$\omega = 0.2142$$

$$d = 2 \times 97920000 / (0.9 \times 30 \times 0.214 \times 1 - 0.59 \times 0.214)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 138,32 \text{ mm}$$

$$h = 138,32 + 65 = 203 \text{ mm}$$

$$h = \mathbf{200 \text{ mm}}$$

$$b = 1/2 \times 200$$

$$b = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

2. Balok lantai 6 (Ruang *Confrence Hall*)

| Beban Mati | Lantai | Satuan |
|------------------|-------------|-------------------|
| Plat beton | 2,88 | kN/m ² |
| Water Profing | 0 | kN/m ² |
| Spesi | 0,2 | kN/m ² |
| Keramik | 0,24 | kN/m ² |
| Ducting ME | 0,45 | kN/m ² |
| Total beban mati | 3,77 | kN/m ² |

| | | |
|-------------|---|-------------------|
| Beban hidup | 5 | kN/m ² |
|-------------|---|-------------------|

Tabel 4.2 : Perhitungan beban pada lantai 6

- Beban merata yang bekerja pada balok :

a. Beban mati :

$$\begin{aligned}
 \text{- Segitiga} &= \frac{2}{3} \times 3,37 \times 2,5 \\
 &= \mathbf{6,28 \text{ kN/m}'}
 \end{aligned}$$

- Trapesium

$$\begin{aligned}
 &= 3,37 \times 2,5 \times \left(1 - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{2,5}{7} \right)^2 \right) \\
 &= \mathbf{7,82 \text{ kN/m}'}
 \end{aligned}$$

c. Beban hidup :

$$\begin{aligned}
 \text{- Segitiga} &= \frac{2}{3} \times 5 \times 2,5 \\
 &= \mathbf{8,33 \text{ kN/m}'}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Trapesium} &= 5 \times 2,5 \times \left(1 - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{2,5}{7} \right)^2 \right) \\
 &= \mathbf{10,37 \text{ kN/m}'}
 \end{aligned}$$

Maka untuk beban yang bekerja pada balok eksterior dan interior pada struktur bangunan tersebut, adalah

- Balok atap eksterior dengan bentang 7 m :

a. Beban mati :

- $q_{\text{Trapesium}} = 17,62 \text{ kN/m}'$

b. Beban hidup :

- $q_{\text{Trapesium}} = 10,37 \text{ kN/m}'$

- Balok interior dengan bentang 7 m :

c. Beban mati :

- $2x q_{\text{Trapesium}} = 17,62x2 = 40,14 \text{ kN/m}'$

d. Beban hidup :

- $2x q_{\text{Trapesium}} = 10,37 x 2 = 20,74 \text{ kN/m}'$

- Balok eksterior dengan bentang 6 m :

- $q_{\text{Segitiga}} = 16,08 \text{ kN/m}'$

b. Beban hidup :

- $q_{\text{Segitiga}} = 8,33 \text{ kN/m}'$

- Balok interior dengan bentang 6 m :

c. Beban mati :

- $2x q_{\text{Segitiga}} = 16,08x2 = 37,06 \text{ kN/m}'$

d. Beban hidup :

- $2x q_{\text{Segitiga}} = 8,33 x 2 = 16,66 \text{ kN/m}'$

Setelah didapat beban merata yang bekerja pada balok, maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai beban merata maksimum atau *ultimate* dan momen *ultimatenya*, dengan cara sebagai berikut.

- Beban merata *ultimate* :

$$qu = 1.2DL + 1.6LL$$

3. Arah Trapesium (7m) :

$$\begin{aligned} - \text{qu atap} &= 1,2 \times 40,14 + 1,6 \times 20,74 \\ &= \mathbf{81,352 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

4. Arah Segitiga (6m) :

$$\begin{aligned} - \text{qu atap} &= 1,2 \times 37,06 + 1,6 \times 16,66 \\ &= \mathbf{71,128 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen *ultimate* :

$$mu = \frac{1}{8} \times qu \times L^2$$

a. Arah Trapesium (7m) :

$$\begin{aligned} - \text{Mu atap} &= \frac{1}{8} \times 81,352 \times 7^2 \\ &= \mathbf{498,281 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

b. Arah Segitiga (6m) :

$$\begin{aligned} - \text{Mu atap} &= \frac{1}{8} \times 71,128 \times 6^2 \\ &= \mathbf{435,66 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

- Dimensi balok :

1. Balok atap arah Trapesium :

$$\omega = 0.425 \times 0.84 \times 600 / 600 + 400$$

$$\omega = 0.2142$$

$$d = 2 \times 498281000 / (0.9 \times 30 \times 0.21 \times 1 - 0.59 \times 0.2142)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 657,47 \text{ mm}$$

$$h = 657,47 + 65 = 722 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$b = \frac{1}{2} \times 700$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

2. Balok Atap arah Segitiga

$$\omega = 0.425 \times 0.84 \times 600 / 600 + 400$$

$$\omega = 0.2142$$

$$d = 2 \times 435659000 / 0.9 \times 30 \times 0.214 \times 1 - 0.59 \times 0.214^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 574,84 \text{ mm}$$

$$h = 574,84 + 65 = 640 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$b = 1/2 \times 650$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

3. Balok lantai 5 – 1

| Beban Mati | Lantai | Satuan |
|------------------|-------------|-------------------|
| Plat beton | 2,88 | kN/m ² |
| Water Profing | 0 | kN/m ² |
| Spesi | 0,2 | kN/m ² |
| Keramik | 0,24 | kN/m ² |
| Ducting ME | 0,45 | kN/m ² |
| Total beban mati | 3,77 | kN/m ² |
| Beban hidup | 2,5 | kN/m ² |

Tabel 4.3 : Perhitungan beban mati lantai 5 – 1

- Beban merata yang bekerja pada balok :

c. Beban mati :

$$\begin{aligned}
 - \text{Segitiga} &= \frac{2}{3} \times 3,37 \times 2,5 \\
 &= \mathbf{6,28 \text{ kN/m}'}
 \end{aligned}$$

- Trapesium

$$= 3,37 \times 2,5 \times \left(1 - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{2,5}{7} \right)^2 \right)$$

$$= 7,82 \text{ kN/m'}$$

d. Beban hidup :

- Segitiga = $\frac{2}{3} \times 2,5 \times 2,5$
- = **4,16 kN/m'**

- Trapesium = $2,5 \times 2,5 \times \left(1 - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{2,5}{7} \right)^2 \right)$
- = **5,19 kN/m'**

Maka untuk beban yang bekerja pada balok eksterior dan interior pada struktur bangunan tersebut, adalah

- Balok atap eksterior dengan bentang 7 m :

a. Beban mati :

- $q_{\text{Trapezium}} = 17,62 \text{ kN/m'}$

b. Beban hidup :

- $q_{\text{Trapezium}} = 5,19 \text{ kN/m'}$

- Balok interior dengan bentang 7 m :

a. Beban mati :

- $2 \times q_{\text{Trapezium}} = 17,62 \times 2 = 40,14 \text{ kN/m'}$

b. Beban hidup :

- $2 \times q_{\text{Trapezium}} = 5,19 \times 2 = 10,38 \text{ kN/m'}$

- Balok eksterior dengan bentang 6 m :

- $q_{\text{Segitiga}} = 16,08 \text{ kN/m}'$

c. Beban hidup :

- $q_{\text{Segitiga}} = 4,17 \text{ kN/m}'$

- Balok interior dengan bentang 6 m :

c. Beban mati :

- $2x q_{\text{Segitiga}} = 16,08x2 = 37,06 \text{ kN/m}'$

d. Beban hidup :

- $2x q_{\text{Segitiga}} = 16,08 x 2 = 8,34 \text{ kN/m}'$

Setelah didapat beban merata yang bekerja pada balok, maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai beban merata maksimum atau *ultimate* dan momen *ultimatenya*, dengan cara sebagai berikut.

- Beban merata *ultimate* :

$$q_u = 1.2DL + 1.6LL$$

5. Arah Trapesium (7m) :

- $q_u \text{ atap} = 1,2x40,14 + 1,6x10,38$
 $= 64,776 \text{ kN/m}'$

6. Arah Segitiga (6m) :

- $q_u \text{ atap} = 1,2x37,06 + 1,6x8,34$
 $= 57,816 \text{ kN/m}'$

- Perhitungan momen *ultimate* :

$$m_u = \frac{1}{8} x q_u x L^2$$

d. Arah Trapesium (7m) :

$$\begin{aligned} - \text{ Mu atap} &= \frac{1}{8} \times 64,776 \times 7^2 \\ &= \mathbf{396,753 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

e. Arah Segitiga (6m) :

$$\begin{aligned} - \text{ Mu atap} &= \frac{1}{8} \times 57,816 \times 6^2 \\ &= \mathbf{354,12 \text{ kN/m}'} \end{aligned}$$

- Dimensi balok :

1. Balok atap arah Trapesium :

$$\omega = 0.425 \times 0.84 \times 600 / 600 + 400$$

$$\omega = 0.2142$$

$$d = 2 \times 396753000 / (0.9 \times 30 \times 0.21 \times 1 - 0.59 \times 0.2142)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 523,50 \text{ mm}$$

$$h = 523,50 + 65 = 589 \text{ mm}$$

$$h = \mathbf{600 \text{ mm}}$$

$$b = \frac{1}{2} \times 600$$

$$b = \mathbf{300 \text{ mm}}$$

2. Balok Atap arah Segitiga

$$\omega = 0.425 \times 0.84 \times 600 / 600 + 400$$

$$\omega = 0.2142$$

$$d = 2 \times 354123000 / 0.9 \times 30 \times 0.214 \times 1 - 0.59 \times 0.214^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 467,26 \text{ mm}$$

$$h = 467,26 + 65 = 532 \text{ mm}$$

$$h = \mathbf{550 \text{ mm}}$$

$$b = \frac{1}{2} \times 500$$

$$b = 275 \text{ mm}$$

$$b = \mathbf{300 \text{ mm}}$$

4.1.2.2 Dimensi Balok ditinjau dari bentang struktur

Perhitungan dimensi balok berdasarkan bentang struktur, dapat dihitung dengan rumus dibawah ini.

1. Balok Lantai bentang 7m

$$\text{Bentang} : 700 \text{ cm}$$

Dimensi :

$$h > L/10$$

$$h = \frac{700}{10} = \mathbf{70 \text{ cm}}$$

$$b = \frac{1}{2} h$$

$$b = \frac{1}{2} \times 70$$

$$b = \mathbf{35 \text{ cm}}$$

2. Balok atap bentang 6m

$$\text{Bentang} : 600 \text{ cm}$$

Dimensi :

$$h > L/10$$

$$h = \frac{600}{10} = 60 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} h$$

$$b = \frac{1}{2} \times 60$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas, maka diambil dimensi balok yang terbesar yaitu untuk balok arah trapesium digunakan dimensi balok 700x350 dengan kode (B1), dan balok arah segitiga dengan dimensi balok 600x300 dengan kode (B2), dan balok dimensi 650 x 350 (B3). Lalu ditentukan juga untuk penggunaan balok anak dengan dimensi sebagai berikut :

- Balok anak bentang 7m

- Bentang: 700 cm

- Dimensi :

$$h > L/21$$

$$h = \frac{700}{21} = 33 \text{ cm}$$

$$b = 2/3 h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 33$$

$$b = 22,33 \text{ cm} = 23 \text{ cm}$$

jadi untuk balok anak pembagi digunakan dimensi dengan ukuran 350 x 230.

4.1.3 Perencanaan Pelat Lantai

Untuk dapat menentukan dimensi pelat lantai ada beberapa tahapan yang harus dianalisis sesuai dengan syarat SNI 03-2847-2013. Dimana ditentukan terlebih dahulu luas area yang akan dianalisis, perhitungan analisis dimensi pelat seperti dibawah ini.

- f_c' : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- rencana pelat : 120 mm
- L_y : 600 cm
- L_x : 350 cm
- Balok B1 : 700 x 300 mm
- Balok B2 : 600 x 300 mm
- Balok BA1 : 350 x 250 mm

a. Bentang bersih pelat arah x :

$$L_n = L_y - \left(\frac{b_{\text{balok } x}}{2} + \frac{b_{\text{balok } x}}{2} \right)$$

$$L_n = 700 - \left(\frac{70}{2} + \frac{70}{2} \right) = 530 \text{ cm}$$

b. Bentang bersih pelat arah y :

$$S_n = L_x - \left(\frac{b_{\text{balok } y}}{2} + \frac{b_{\text{balok } y}}{2} \right)$$

$$S_n = 600 - \left(\frac{60}{2} + \frac{60}{2} \right) = 290 \text{ cm}$$

c. Penentuan penggunaan pelat dua arah atau satu arah :

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$

$$\beta = \frac{530}{290} = 1,83 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

d. Menentukan lebar efektif sayap balok :

1. Balok 350/250 :

$$b_w : 25 \text{ cm}$$

$$h : 35 \text{ cm}$$

$$t_{hf} : 12 \text{ cm}$$

$$hw : 35 - 12 = 23 \text{ cm}$$

$$be : bw + 2hw < bw + 8hf$$

$$be1 : 25 + (2 \times 23) = 71 \text{ cm}$$

$$be2 : 25 + (8 \times 12) = 121 \text{ cm}$$

untuk nilai be diambil nilai terkecil dari hasil perhitungan be1 dan be2, maka didapatkan nilai be adalah 71 cm.

- Faktor modifikasi :

$$k : \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k : \frac{1 + \left(\frac{71}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{35}\right) \left(4 - 6\left(\frac{12}{35}\right) + 4\left(\frac{12}{35}\right)^2 + \left(\frac{71}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{35}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{71}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{35}\right)} = 3.2$$

- Momen inersia penampang balok :

$$I_b : \frac{k \times bw \times h^3}{12}$$

$$I_b : \frac{3.2 \times 25 \times 35^3}{12} = 285833.33 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p : \frac{bp \times t^3}{12}$$

$$I_p : \frac{530 \times 12^3}{12} = 76320 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$a1 : \frac{I_b}{I_p}$$

$$a1 : \frac{285833.33}{76320} = 3,75$$

2. Balok 700/350 :

$$bw : 30 \text{ cm}$$

$$h : 70 \text{ cm}$$

$$t=hf : 12 \text{ cm}$$

$$hw : 70 - 12 = 58 \text{ cm}$$

$$be : bw + 2hw < bw + 8hf$$

$$be1 : 35 + (2 \times 58) = 151 \text{ cm}$$

$$be2 : 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

Untuk nilai be diambil nilai terkecil dari hasil perhitungan be1 dan be2, maka didapatkan nilai be adalah 131 cm.

- Faktor modifikasi :

$$k : \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k : \frac{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left(4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{131}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)} = 2.93$$

- Momen inersia penampang balok :

$$I_b : \frac{k \times bw \times h^3}{12}$$

$$I_b : \frac{2.93 \times 35 \times 70^3}{12} = 2931220.83 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p : \frac{bp \times t^3}{12}$$

$$I_p : \frac{290 \times 12^3}{12} = 41760 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$a_2 : \frac{I_b}{I_p}$$

$$a_2 : \frac{2931220.83}{41760} = 70.19$$

3. Balok 600/300 :

$$b_w : 30 \text{ cm}$$

$$h : 60 \text{ cm}$$

$$t = hf : 12 \text{ cm}$$

$$h_w : 60 - 12 = 48 \text{ cm}$$

$$b_e : b_w + 2h_w < b_w + 8hf$$

$$b_{e1} : 30 + (2 \times 48) = 126 \text{ cm}$$

$$b_{e2} : 30 + (8 \times 12) = 126 \text{ cm}$$

Untuk nilai b_e diambil nilai terkecil dari hasil perhitungan b_{e1} dan b_{e2} , maka didapatkan nilai b_e adalah 126 cm.

- Faktor modifikasi :

$$k : \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k : \frac{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left(4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)} = 3.55$$

- Momen inersia penampang balok :

$$I_b : \frac{k \times b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b : \frac{3.55 \times 35 \times 60^3}{12} = 1917000 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p : \frac{bp \times t^3}{12}$$

$$I_p : \frac{530 \times 12^3}{12} = 76320 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$a_3 : \frac{I_b}{I_p}$$

$$a_3 : \frac{1917000}{76320} = 25.12$$

4. Balok 700/350 :

$$b_w : 30 \text{ cm}$$

$$h : 70 \text{ cm}$$

$$t = hf : 12 \text{ cm}$$

$$h_w : 70 - 12 = 58 \text{ cm}$$

$$b_e : b_w + 2h_w < b_w + 8hf$$

$$b_{e1} : 35 + (2 \times 58) = 151 \text{ cm}$$

$$b_{e2} : 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

Untuk nilai b_e diambil nilai terkecil dari hasil perhitungan b_{e1} dan b_{e2} , maka didapatkan nilai b_e adalah 131 cm.

- Faktor modifikasi :

$$k : \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k : \frac{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left(4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{131}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)} = 2.93$$

- Momen inersia penampang balok :

$$I_b : \frac{k \times bw \times h^3}{12}$$

$$I_b : \frac{2.93 \times 35 \times 70^3}{12} = 2931220.83 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p : \frac{bp \times t^3}{12}$$

$$I_p : \frac{290 \times 12^3}{12} = 41760 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$a4 : \frac{I_b}{I_p}$$

$$a4 : \frac{2931220.83}{41760} = 70.19$$

- Maka :

$$a_m : \frac{a1+a2+a3+a4}{4}$$

$$a_m : \frac{3.75+70.19+25.12+70.19}{4} = 42.31 > 2$$

karena nilai a_m lebih besar dari pada 2, maka untuk menentukan t_{min} digunakan rumus dibawah ini :

$$t_{min} : \frac{Ln\left(0.8+\left(\frac{fy}{1400}\right)\right)}{36+9\beta}$$

$$t_{min} : \frac{5300\left(0.8+\left(\frac{400}{1400}\right)\right)}{36+9(1.83)} = 109.67 > 90$$

Jadi untuk t_{min} yang digunakan adalah 110 mm karena ketebalan minimum yang disyaratkan tidak boleh kurang dari t_{min} .

4.1.4 Perencanaan Kolom

Untuk analisis kolom dilakukan dengan memilih area pelat lantai yang terbesar, dengan asumsi direncanakan untuk kolom yang digunakan adalah satu (1) tipe dari lantai paling bawah hingga atas.

Dengan perhitungan sebagai berikut :

a. Berat jenis yang diketahui :

- Beton : 2400 Kg/m³
- Dinding ½ bata : 250 Kg/m²
- Tegel/Penutup lantai : 24 Kg/m²
- Plafond : 11 Kg/m²
- Penggantung : 7 Kg/m²
- Water proofing : 120 Kg/m²
- Pasir : 170 Kg/m²
- Pipa dan Ducting : 20 Kg/m²
- Spesi : 21 Kg/m²
- Plumbing : 10 Kg/m³

b. Beban hidup (PPIUG 1983) :

- Lantai ruangan : 250 Kg/m²
- Dak atap : 100 Kg/m²

Perencanaan kolom ditinjau pada area 7x7m dengan luas 49 m², maka untuk dimensi yang dipakai adalah sebagai berikut :

1. Beban Mati :

- Pelat = $49 \times (140/1000) \times 2400 \times 8 = 131712 \text{ kg}$

- Pengantung = $49 \times 7 \times 8 = 2744 \text{ kg}$
 - Plafond = $49 \times 11 \times 8 = 4312 \text{ kg}$
 - Balok = $0,6 \times 0,3 \times 2 \times 7 \times 2400 \times 8 = 48384 \text{ kg}$
 - Keramik = $49 \times 0,02 \times 24 \times 8 = 188,16 \text{ kg}$
 - Spesi = $49 \times 0,03 \times 21 \times 8 = 246,96 \text{ kg}$
 - Plumbing = $49 \times 10 \times 8 = 3920 \text{ kg}$
 - Elektrikal = $49 \times 20 \times 8 = 7840 \text{ kg}$
- Total = 199.347,12 Kg

2. Beban Hidup :

- Lantai = $49 \times 250 \times 7 = 85750 \text{ kg}$
 - Dak atap = $49 \times 100 = 4900 \text{ kg}$
- Total = 90.650 Kg

3. Dimensi Kolom :

- $W_{ultimate} = 1.2 DL + 1.6 LL$
- $W_{ultimate} = (1.2 \times 199347,12) + (1.6 \times 90650)$
- $W_{ultimate} = 384\,257 \text{ Kg}$
- Mutu beton : 30 Mpa
- $A = (384257 / 0,35) \times 300$
- $A = 3659,59 \text{ cm}^2$
- b (lebar) $\sqrt{3659,59} = 60,4945 = 60 \text{ cm}$
- h = b = 60 cm

Jadi digunakan kolom ukuran 60 x 60

Untuk perencanaan kolom yang ditinjau pada area 6x6m dengan luas 49 m², maka untuk dimensi yang dipakai adalah sebagai berikut :

4. Beban Mati :

- Pelat = $36 \times (140/1000) \times 2400 \times 8 = 96768 \text{ kg}$
- Penggantungan = $36 \times 7 \times 8 = 2016 \text{ kg}$
- Plafond = $36 \times 11 \times 8 = 3168 \text{ kg}$
- Balok = $0,5 \times 0,25 \times 2 \times 7 \times 2400 \times 8 = 28800 \text{ kg}$
- Keramik = $36 \times 0,02 \times 24 \times 8 = 138,24 \text{ kg}$
- Spesi = $36 \times 0,03 \times 21 \times 8 = 181,44 \text{ kg}$
- Plumbing = $36 \times 10 \times 8 = 2880 \text{ kg}$
- Elektrikal = $36 \times 20 \times 8 = 5760 \text{ kg}$
- Total = 139 711,68 Kg

5. Beban Hidup :

- Lantai = $36 \times 250 \times 7 = 63000 \text{ kg}$
- Dak atap = $36 \times 100 = 3600 \text{ kg}$
- Total = 66.600 Kg

6. Dimensi Kolom :

- $W_{ultimate} = 1.2 DL + 1.6 LL$
- $W_{ultimate} = (1.2 \times 139\,711,68) + (1.6 \times 66600)$
- $W_{ultimate} = 274\,214 \text{ Kg}$
- Mutu beton : 30 Mpa
- $A = (274\,214/0,35) \times 300$

- $A = 2611,56 \text{ cm}^2$
- $b \text{ (lebar)} = \sqrt{2611,56} = 51,1034 = 50 \text{ cm}$
- $h = b = 50 \text{ cm}$

Jadi digunakan kolom ukuran 50 x 50

Dari perhitungan perencanaan awal atau *preliminary design* diatas dapat diambil kesimpulan untuk penggunaan dimensi pada balok, kolom dan sloof adalah sebagai berikut.

| No. | Nama | Dimensi | Satuan |
|-----|------------------|-----------|--------|
| 1 | Pelat lantai | 110 | mm |
| 2 | Pelat atap | 110 | mm |
| 3 | Balok (B1) | 700 x 350 | mm |
| 4 | Balok (B2) | 600 x 300 | mm |
| 5 | Balok (B3) | 650 x 350 | mm |
| 6 | Balok anak (BA1) | 350 x 250 | mm |
| 7 | Kolom (K1) | 600 x 600 | mm |
| 8 | Kolom (K2) | 500 x 500 | mm |

4.2 Analisis Beban

Pada tahap analisis beban, dilakukan dua tahapan dalam analisisnya yaitu analisis beban gravitasi yang meliputi beban mati dan hidup, dan analisis beban gempa secara dinamis dengan menggunakan analisis derajat kebebasan bertingkat atau *multiple degree of freedom*.

4.2.1 Beban Gravitasi

Pada beban gravitasi ini, diasumsikan beban bekerja secara merata pada balok, dengan menggunakan perhitungan beban segitiga dan trapesium.

a. Berat jenis yang diketahui :

- Beton : 2400 Kg/m³
- Dinding ½ bata : 250 Kg/m²
- Tegel/Penutup lantai : 24 Kg/m²
- Plafond : 11 Kg/m²
- Penggantung : 7 Kg/m²
- Water proofing : 120 Kg/m²
- Pasir : 170 Kg/m²
- Pipa dan Ducting : 20 Kg/m²
- Spesi : 21 Kg/m²
- Plumbing : 10 Kg/m³

b. Beban hidup (PPIUG 1983) :

- Lantai ruangan : 250 Kg/m²
- Dak atap : 100 Kg/m²

c. Direncanakan untuk tebal pelat lantai :

- Pelat lantai : 140 mm
- Pelat lantai dak : 100 mm

Jadi dari data diatas dapat diketahui beban yang bekerja pada

balok adalah sebagai berikut :

1. Beban mati pada lantai :

a. Pelat = $(140/1000) \times (2400/100) = 3,36 \text{ kN/m}^3$

b. Spesi = $(20 / 100) = 0,20 \text{ kN/m}^2$

c. Keramik = $(240/100) = 0,24 \text{ kN/m}^2$

d. Elektrikal = $\frac{(20/100)}{100} = 0,20 \text{ kN/m}^2$

Total = 4,00 kN/m²

2. Beban mati pada atap :

3. Pelat = $\frac{(2400/100)}{100} = 2,40 \text{ kN/m}^3$

4. Spesi = $\frac{(20 / 100)}{100} = 0,20 \text{ kN/m}^2$

5. Keramik = $\frac{(240/100)}{100} = 0,24 \text{ kN/m}^2$

6. Elektrikal = $\frac{(20/100)}{100} = 0,20 \text{ kN/m}^2$

Total = 3,01 kN/m²

Dari perhitungan diatas dapat dilakukan perhitungan beban merata yang terjadi pada balok struktur tersebut, dengan perhitungan sebagai berikut :

a. Beban mati :

1. Lantai :

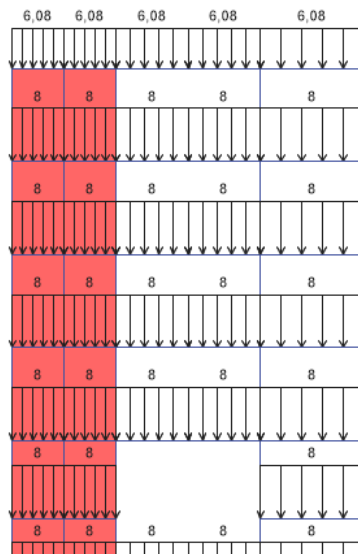
- Segitiga = $\frac{(2/3) \times 4 \times 3}{100} = 8 \text{ kN/m}$

- Trapesium = $4 \times 3 \left(1 - \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{3}{8}\right)^2\right) = 9,75 \text{ kN/m}$

2. Atap :

- Segitiga = $\frac{(2/3) \times 3.04 \times 3}{100} = 6.08 \text{ kN/m}$

- Trapesium = $3.04 \times 3 \left(1 - \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{3}{8}\right)^2\right) = 9,75 \text{ kN/m}$



Gambar 4.2 : Contoh distribusi beban mati

b. Beban hidup :

1. Lantai :

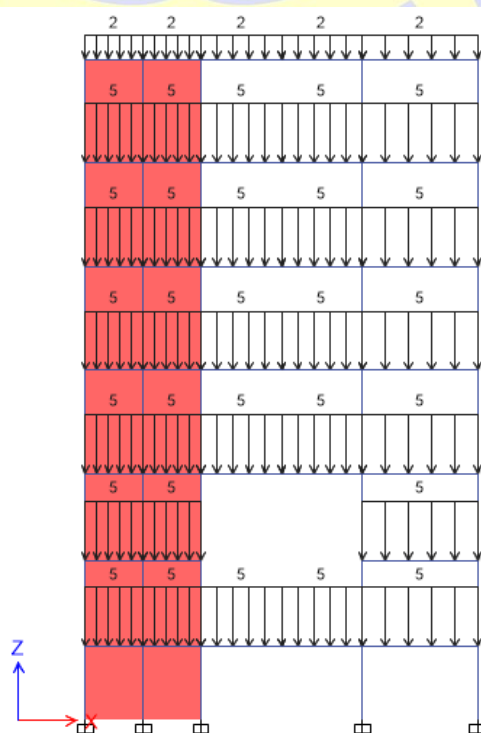
- Segitiga = $(2/3) \times 2.5 \times 3 = 5 \text{ kN/m}$

- Trapesium = $2.5 \times 3 \left(1 - \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{3}{8}\right)^2\right) = 6,09 \text{ kN/m}$

2. Atap :

- Segitiga = $(2/3) \times 1 \times 3 = 2 \text{ kN/m}$

- Trapesium = $1 \times 3 \left(1 - \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{3}{8}\right)^2\right) = 2,43 \text{ kN/m}$



Gambar 4.3 : Contoh distribusi beban hidup

4.2.2 Beban Gempa Dinamis

Pada analisis gempa dinamis, yang perlu diperhatikan adalah nilai dari beban yang bekerja pada balok secara merata dan massa pada bangunan serta nilai dari kekakuan pada bangunan struktur tersebut, untuk perhitungan analisis gempa secara dinamis, langkah dalam menghitungnya dapat disajikan seperti perhitungan dibawah ini :

1. Mencari nilai W (Beban yang bekerja tiap lantai)

Untuk mendapatkan nilai W, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- Lantai Dak :

a. Pelat lantai = $2400 \times 0,1 \times 98,3$
= $23\,592 \text{ kg/m}^2$

b. Dinding = $0,15 \times 4,5 \times (17 \times 2) + (35 \times 2) \times 250$
= $11\,835,45 \text{ kg/m}^2$

c. Kolom = $(0,6 \times 0,6) \times 4,5 \times 30 \times 2400$
= $116\,640 \text{ kg/m}^2$

d. Balok (B1) = $(0,3 \times 0,6) \times 35 \times 4 \times 2400$
= $60\,480 \text{ kg/m}^2$

Balok (B2) = $(0,25 \times 0,50) \times 17 \times 7 \times 2400$

$$= 35\,700 \text{ kg/m}^2$$

e. Plafond = $98,3 \times 11$

$$= 1\,081,3 \text{ kg/m}^2$$

f. Waterprof = $98,3 \times 120$

$$= 11\,796 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{DL} = 23\,592 + 11\,835,45 + 116\,640$$

$$+ 60\,480 + 35\,700 + 1\,081,31$$

$$+ 11\,796 = 261\,124,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Koef. Reduksi} = 0,3$$

g. Beban hidup = 100 kg/m^2

$$W_{LL} = 0,3 \times 100 \times 98,3$$

$$= 2\,949 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{It dak}} = 261\,124,8 + 2\,949$$

$$= 264\,074 \text{ kg/m}^2$$

- Lantai 3 – 6 :

a. Pelat lantai = $2400 \times 0,14 \times 98,3$

$$= 33\,028,8 \text{ kg/m}^2$$

b. Dinding = $0,15 \times 4,5 \times (17 \times 2) + (35 \times 2) \times 250$

$$= 11\,835,45 \text{ kg/m}^2$$

c. Kolom = $(0,6 \times 0,6) \times 4,5 \times 30 \times 2400$

$$= 116\,640 \text{ kg/m}^2$$

d. Balok 30/60 = $(0,3 \times 0,6) \times 35 \times 4 \times 2400$

$$= 60\,480 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Balok } 25/50 &= (0,25 \times 0,50) \times 17 \times 7 \times 2400 \\ &= 35\,700 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Plafond} &= 98,3 \times 11 \\ &= 1\,081,3 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Spesi} &= 98,3 \times 22 \\ &= 2\,162,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Keramik} &= 98,3 \times 24 \\ &= 2\,359,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DL} &= 33\,028,8 + 11\,835,45 + 116\,640 \\ &\quad + 60\,480 + 35\,700 + 1\,081,31 \\ &\quad + 2\,162,6 + 2\,359,2 \\ &= 263\,287,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{h. Koef. Reduksi} = 0,3$$

$$\text{i. Beban hidup} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_{LL} &= 0,3 \times 250 \times 98,3 \\ &= 7\,372,5 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$W_{\text{It dak}} = 263\,287 + 7\,372,5 = 270\,660 \text{ kg/m}^2$$

- Lantai 1 – 2 :

$$\begin{aligned} \text{a. Pelat lantai} &= 2400 \times 0,14 \times 98,3 \\ &= 33\,028,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Dinding} &= 0,15 \times 3,75 \times (17 \times 2) \\ &\quad + (35 \times 2) \times 250 \\ &= 9\,862,875 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Kolom} &= (0,6 \times 0,6) \times 3,75 \times 30 \times 2400 \\ &= 97\,200 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Balok 30/60} &= (0,3 \times 0,6) \times 35 \times 4 \times 2400 \\ &= 60\,480 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok 25/50} &= (0,25 \times 0,50) \times 17 \times 7 \times 2400 \\ &= 35\,700 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Plafond} &= 98,3 \times 11 \\ &= 1\,081,3 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Spesi} &= 98,3 \times 22 \\ &= 2\,162,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. Keramik} &= 98,3 \times 24 \\ &= 2\,359,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DL} &= 33.028,8 + 9\,862,875 + 97\,200 \\ &\quad + 60\,480 + 35\,700 + 1\,081,31 \\ &\quad + 2\,162,6 + 2\,359,2 \\ &= 241\,874,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{h. Koef. Reduksi} = 0,3$$

$$\text{i. Beban hidup} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_{LL} &= 0,3 \times 250 \times 98,3 \\ &= 7\,372,5 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{It\,dak} &= 241\,874,8 + 7\,372,5 \\ &= 249\,247 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Lantai Basement :

a. Pelat lantai = $2400 \times 0,14 \times 98,3$
= $33\,028,8 \text{ kg/m}^2$

b. Dinding = $0,15 \times 3,22 \times (17 \times 2) + (35 \times 2) \times 250$
= $8\,468,922 \text{ kg/m}^2$

c. Kolom = $(0,6 \times 0,6) \times 3,22 \times 30 \times 2400$
= $83\,462,4 \text{ kg/m}^2$

d. Balok 30/60 = $(0,3 \times 0,6) \times 35 \times 4 \times 2400$
= $60\,480 \text{ kg/m}^2$

Balok 25/50 = $(0,25 \times 0,50) \times 17 \times 7 \times 2400$
= $35\,700 \text{ kg/m}^2$

e. Plafond = $98,3 \times 11$
= $1\,081,3 \text{ kg/m}^2$

f. Spesi = $98,3 \times 22$
= $2\,162,6 \text{ kg/m}^2$

g. Keramik = $98,3 \times 24$
= $2\,359,2$

$$\begin{aligned} W_{DL} &= 33\,028,8 + 8\,468,922 + 83\,462,4 \\ &\quad + 60\,480 + 35\,700 + 1\,081,31 \\ &\quad + 2\,162,6 + 2\,359,2 \\ &= 226\,743 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

h. Koef. Reduksi = 0,3

i. Beban hidup = 250 kg/m^2

$$W_{LL} = 0,3 \times 250 \times 98,3$$

$$= 7\,372,5 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{it dak}} = 226\,743 + 7\,372,5$$

$$= 234\,116 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan diatas dapat disederhanakan untuk perhitungan selanjutnya menjadi :

- W1 : 234 116 Kg
- W2 : 249 247 Kg
- W3 : 249 247 Kg
- W4 : 270 660 Kg
- W5 : 270 660 Kg
- W6 : 270 660 Kg
- W7 : 264 074 Kg

Setelah mendapatkan nilai W, langkah selanjutnya yaitu mencari nilai m, dengan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui : PRO PATRIA

- g (gravitasi) : 981 cm/s

maka nilai m :

- m1 = $234\,116/981 = 238,65$
- m2 = $249\,247/981 = 254,07$
- m3 = $249\,247/981 = 254,07$
- m4 = $270\,660/981 = 275,9$
- m5 = $270\,660/981 = 275,9$

$$\begin{aligned}
 - m_6 &= 270\,660/981 = 275,9 \\
 - m_7 &= 264\,074/981 = 269,19
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai m pada hitungan diatas, maka dilanjutkan dengan mencari nilai K atau kekakuan dari struktur bangunan, dengan cara perhitungan seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 - K_1 &= \frac{12 \times 20\,000}{3,22^3} = 7189 \text{ Kg/cm} \\
 - K_2 &= \frac{12 \times 20\,000}{3,75^3} = 4551 \text{ Kg/cm} \\
 - K_3 &= \frac{12 \times 20\,000}{3,75^3} = 4551 \text{ Kg/cm} \\
 - K_4 &= \frac{12 \times 20\,000}{4,5^3} = 2634 \text{ Kg/cm} \\
 - K_5 &= \frac{12 \times 20\,000}{4,5^3} = 2634 \text{ Kg/cm} \\
 - K_6 &= \frac{12 \times 20\,000}{4,5^3} = 2634 \text{ Kg/cm} \\
 - K_7 &= \frac{12 \times 20\,000}{4,5^3} = 2634 \text{ Kg/cm}
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung tiga komponen diatas, langkah selanjutnya yaitu memodelkan ke dalam bentuk matriks, sehingga nantinya akan didapatkan bentuk matriks yang akan dimasukkan ke program Wolfram Mathematic untuk dihitung dan menghasilkan nilai lamda. Untuk perhitungan dilakukan seperti dibawah ini :

- Persamaan diferensial gerakan :

$$[M] = \begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m7 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 238,65 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 254,07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 254,07 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 275,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 275,9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 275,9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 269,19 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k1 + k2 & -k2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k2 & k2 + k3 & -k3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k3 & k3 + k4 & -k4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k4 & k4 + k5 & -k5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k5 & k5 + k6 & -k6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k6 & k6 + k7 & -k7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k7 & k7 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 11740 - 4551 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4551 & 9102 - 4551 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4551 & 7185 - 2634 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2634 & 5268 - 2634 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2634 & 5268 - 2634 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2634 & 5268 - 2634 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2634 & 2634 \end{bmatrix}$$

Dari matriks diatas didapatkan modal segmentasi sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 11740 - 238,65\lambda & -4551 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4551 & 9102 - 254,07\lambda & -4551 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4551 & 7185 - 254,07\lambda & -2634 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2634 & 5268 - 275,9\lambda & -2634 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2634 & 5268 - 275,9\lambda & -2634 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2634 & 5268 - 275,9\lambda & -2634 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2634 & 2634 - 269,19\lambda \end{bmatrix}$$

Dari modal segmentasi diatas, dengan bantuan program

Wolfram mathematic, didapatkan nilai lambda sebagai berikut :

- Modal Circular Frequency :

1. λ_1 : 0,643545 detik⁻²

2. λ_2 : 5,13215 detik⁻²
3. λ_3 : 12,4774 detik⁻²
4. λ_4 : 22,5693 detik⁻²
5. λ_5 : 32,8269 detik⁻²
6. λ_6 : 41,0411 detik⁻²
7. λ_7 : 65,6739 detik⁻²

- Nilai frekuensi :


1. $\omega_1 = \sqrt{0,643545} = 0,8 \text{ detik}^{-1}$
2. $\omega_2 = \sqrt{5,13215} = 2,27 \text{ detik}^{-1}$
3. $\omega_3 = \sqrt{12,4774} = 3,53 \text{ detik}^{-1}$
4. $\omega_4 = \sqrt{22,5693} = 4,75 \text{ detik}^{-1}$
5. $\omega_5 = \sqrt{32,8269} = 5,73 \text{ detik}^{-1}$
6. $\omega_6 = \sqrt{41,0411} = 6,41 \text{ detik}^{-1}$
7. $\omega_7 = \sqrt{65,6739} = 8,10 \text{ detik}^{-1}$

- Waktu getar alami :

1. $T_1 = 2 \times \pi / 0,8 = 7,854 \text{ detik}$
2. $T_2 = 2 \times \pi / 2,27 = 2,768 \text{ detik}$
3. $T_3 = 2 \times \pi / 3,53 = 1,78 \text{ detik}$
4. $T_4 = 2 \times \pi / 4,75 = 1,323 \text{ detik}$
5. $T_5 = 2 \times \pi / 5,73 = 1,097 \text{ detik}$
6. $T_6 = 2 \times \pi / 6,41 = 0,98 \text{ detik}$

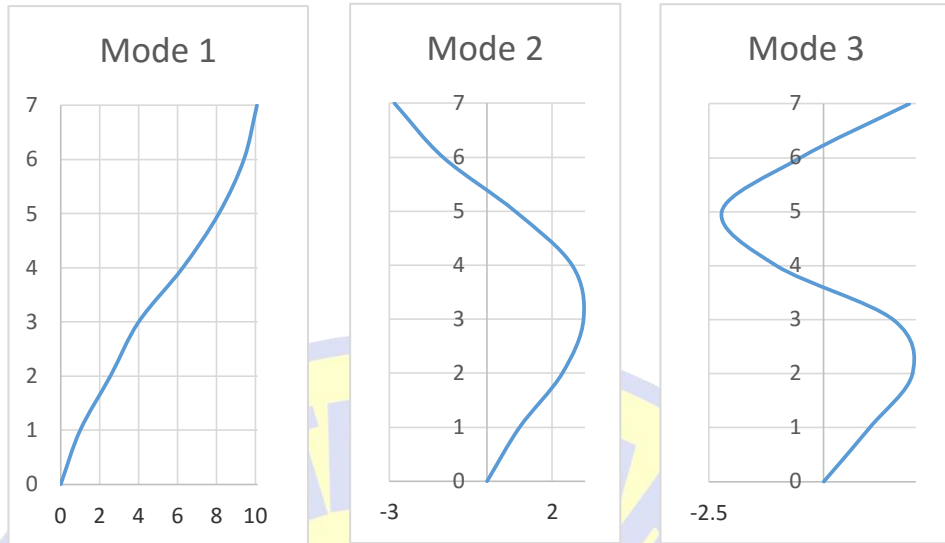
$$7. T7 = 2 \times \pi / 8,10 = 0,776 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan nilai untuk lambda dan waktu getar alami yang nantinya akan digunakan untuk mendapatkan *mode shape* atau bentuk mode getar dari tiap – tiap lantai, seperti dibawah ini :

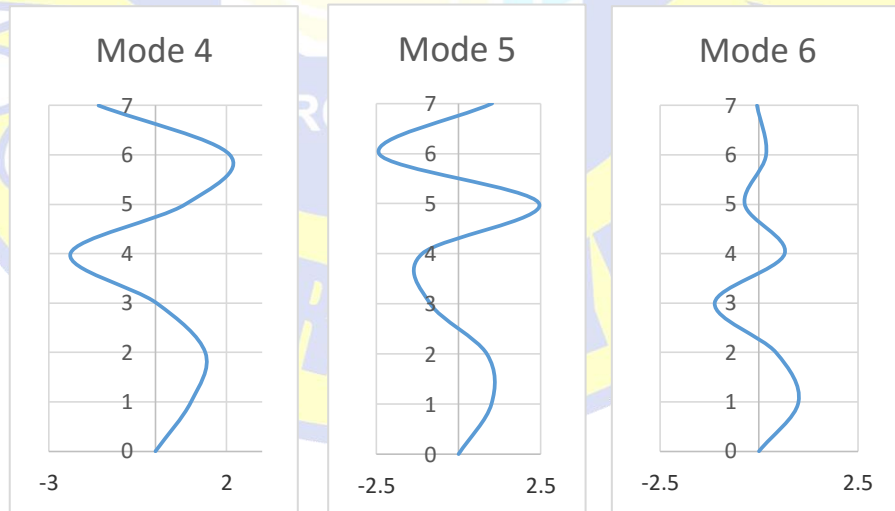


| | λ | | | | | | |
|----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,64 | 5,13 | 12,47 | 22,56 | 32,82 | 41,04 | 65,67 |
| Ø1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ø2 | 2,55 | 2,31 | 1,93 | 1,4 | 0,86 | 0,43 | -0,86 |
| Ø3 | 4 | 2,96 | 1,51 | 0,03 | -0,86 | -1,12 | 0,44 |
| Ø4 | 6,26 | 2,61 | -1,03 | -2,39 | -1,11 | 0,65 | -0,09 |
| Ø5 | 8,11 | 0,86 | -2,22 | 0,84 | 2,45 | -0,36 | 0,02 |
| Ø6 | 9,4 | -1,35 | -0,51 | 2,09 | -2,42 | 0,18 | 0,01 |
| Ø7 | 10,07 | -2,84 | 1,86 | -1,6 | 1,02 | -0,05 | 0,08 |

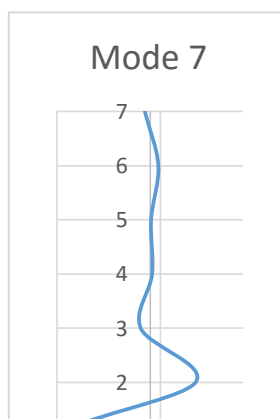
- Gambar mode shape :



Gambar 4.4 : Mode getar 1, 2, dan 3



Gambar 4.5 : Mode getar 1, 2, dan 3



Gambar 4.6 : Mode getar 7

Setelah didapatkan nilai dan bentuk mode getar dari tiap-tiap lantai dari bangunan, langkah selanjutnya yaitu membuat respon spektra yang nantinya akan digunakan dalam analisis pada aplikasi ETABS. Untuk mendapatkan nilai respon spektra, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

1. Kota : Medan
 2. S_s : 0,526 (Pusklim, desain respon spektra)
 3. S_1 : 0,332 (Puskim, desain respon spektra)
- Menentukan klasifikasi kelas situs sesuai SNI 1726-2012:

Data tanah yang didapat adalah sesuai dengan hasil NSPT adalah sebagai berikut :

| No | di | NSPT |
|----|----|------|
| 1 | 2 | 35 |
| 2 | 2 | 15 |
| 3 | 2 | 3 |
| 4 | 2 | 4 |

| | | |
|----|---|----|
| 5 | 2 | 25 |
| 6 | 2 | 5 |
| 7 | 2 | 20 |
| 8 | 2 | 52 |
| 9 | 2 | 51 |
| 10 | 2 | 24 |
| 11 | 2 | 25 |
| 12 | 2 | 32 |
| 13 | 2 | 27 |
| 14 | 2 | 44 |
| 15 | 2 | 37 |

Dari data diatas, maka untuk dapat menentukan jenis tanah yang akan digunakana dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{NSPT rata-rata} : \frac{5+20+51+51+24+25}{6} = 29,5$$

Maka sesuai dengan syarat SNI 1726-2012 nilai rata-rata diantara 15 dan 50 ($15 > N > 50$), maka kelas situs tanah yang digunakan adalah tanah sedang (SD).

- Mencari nilai F_a , dan F_v sesuai dengan SNI 1726-2012 :

| Kelas Situs | Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0.2$ detik, S_s | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0.25$ | $S_s = 0.5$ | $S_s = 0.75$ | $S_s = 1.0$ | $S_s \geq 1.25$ |
| SA | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| SB | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| SC | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| SD | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| SE | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| SF | SS^b | | | | |

Sumber : SNI 1726-2012

1. F_a : antara $S_s = 0,5$ dan $0,75 = 1,380$

| Kelas Situs | Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0.2$ detik, S_s | | | | |
|-------------|--|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_1 \leq 0.1$ | $S_1 = 0.2$ | $S_1 = 0.3$ | $S_1 = 0.4$ | $S_1 \geq 0.5$ |
| SA | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| SB | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| SC | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| SD | 2.4 | 2 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| SE | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| SF | SS^b | | | | |

Sumber : SNI 1726-2012

2. F_v : antara $S_1 = 0,3$ dan $0,4 = 1,735$

- Menentukan parameter percepatan respon spektra :

1. S_{MS} : $0,526 \times 1,380 = 0,726$

2. S_{M1} : $0,332 \times 1,735 = 0,576$

- Menentukan parameter percepatan spektral desain :

1. S_{DS} : $2/3 \times 0,726 = 0,484$

2. S_{D1} : $2/3 \times 0,576 = 0,384$

Dari data diatas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan desain respon spektra sesuai dengan SNI 1726-2012, dengan langkah sebagai berikut :

3. T_o : $0,2 \times \left(\frac{0,384}{0,484} \right) = 0,159$

4. T_s : $0,384 / 0,484 = 0,793$

5. T_L : 4 sec

Syarat desain respon spektra :

Sa1 : $SDs (0,4 + 0,6 T/T_0)$

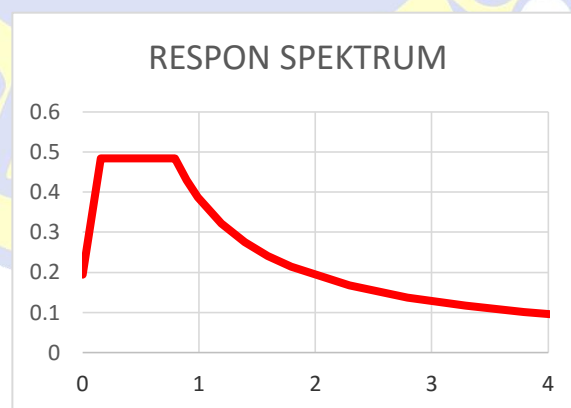
Sa2 : SDs

Sa3 : $SD1/T$

Sa4 : $(SD1 \times TL)/T^2$

| | | |
|---------------------|-------|-------|
| T = 0 | 0 | 0,194 |
| T ₀ | 0,159 | 0,484 |
| T _s | 0,793 | 0,484 |
| T _s +0,1 | 0,893 | 0,43 |
| T _s +0,2 | 0,993 | 0,387 |
| T _s +0,4 | 1,193 | 0,322 |
| T _s +0,6 | 1,393 | 0,276 |
| T _s +0,8 | 1,593 | 0,241 |
| T _s +1 | 1,793 | 0,214 |
| T _s +1,5 | 2,293 | 0,167 |
| T _s +2 | 2,793 | 0,137 |
| T _s +2,5 | 3,293 | 0,117 |
| T _s +3 | 3,793 | 0,101 |
| T _s +3,5 | 4,293 | 0,089 |
| T _s +4 | 4,793 | 0,08 |

Tabel 4.4 : Tabel perhitungan respon spektra



Gambar 4.7 : Desain respon spektra

- Maka untuk nilai Cd :

1. T1 : 7,854, Cd1 = Sa = 0,049
2. T2 : 2,768, Cd2 = Sa = 0,139
3. T3 : 1,78, Cd2 = Sa = 0,216
4. T4 : 1,323, Cd2 = Sa = 0,29
5. T5 : 1,097, Cd2 = Sa = 0,35
6. T6 : 0,98, Cd2 = Sa = 0,392
7. T7 : 0,776, Cd2 = Sa = 0,484

Setelah didapatkan nilai dari respon spektra, maka untuk analisis dinamis selanjutnya yaitu mencari nilai dari perpindahan pola, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$A_i = \left(\frac{R_i}{M_i} \right) \times \left(\frac{C_d}{\lambda} \right) \text{ dimana nilai } R_i = (\Phi)^T \{M\} \text{ maka, nilai } R$$

didapatkan dengan rumus dibawah ini :

$$R_{j,i} = (\phi_{j,1} \phi_{j,1} \phi_{j,1} \phi_{j,1} \phi_{j,1} \phi_{j,1} \phi_{j,1}) \begin{matrix} m1 \\ m2 \\ m3 \\ m4 \\ m5 \\ m6 \\ m7 \end{matrix}$$

$$1. R1 = (1 \ 2,55 \ 4 \ 6,26 \ 8,11 \ 9,4 \ 10,07) \begin{matrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{matrix}$$

$$R1 = 11 \ 171,69$$

$$2. R2 = (1 \ 2,31 \ 2,96 \ 2,61 \ 0,86 \ -1,35 \ -2,84) \begin{matrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{matrix}$$

$$R2 = 1\,398,01$$

$$3. R3 = (1\ 1,93\ 1,51 - 1,03 - 2,22 - 0,51\ 1,86)$$

$$\begin{bmatrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{bmatrix}$$

$$R3 = 575,96$$

$$4. R4 = (1\ 1,4\ 0,03 - 2,39\ 0,84\ 2,09 - 1,6)$$

$$\begin{bmatrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{bmatrix}$$

$$R4 = 320,25$$

$$5. R5 = (1\ 0,86 - 0,86 - 1,11\ 2,45 - 2,42\ 1,02)$$

$$\begin{bmatrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{bmatrix}$$

$$R5 = 215,25$$

$$6. R6 = (1\ 0,43 - 1,12\ 0,65 - 0,36\ 0,18 - 0,05)$$

$$\begin{bmatrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{bmatrix}$$

$$R6 = 179,56$$

$$7. R7 = (1 - 0,86\ 0,44 - 0,09\ 0,02\ 0,01\ 0,08)$$

$$\begin{bmatrix} 238,65 \\ 254,07 \\ 254,07 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 275,9 \\ 269,19 \end{bmatrix}$$

$$R7 = 136,92$$

$$Mi = [\emptyset i]_2 \{M\}$$

$$- M_{j,i} = (\emptyset_{j,1^2} \emptyset_{j,1^2} \emptyset_{j,1^2} \emptyset_{j,1^2} \emptyset_{j,1^2} \emptyset_{j,1^2} \emptyset_{j,1^2})$$

m1
m2
m3
m4
m5
m6
m7

$$1. M1 = (1^2 \ 2,55^2 \ 4^2 \ 6,26^2 \ 8,11^2 \ 9,4^2 \ 10,07^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M1 = 86\ 589,95$$

$$2. M2 = (1^2 \ 2,31^2 \ 2,96^2 \ 2,61^2 \ 0,86^2 \ -1,35^2 \ -2,84^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M2 = 8\ 577,97$$

$$3. M3 = (1^2 \ 1,93^2 \ 1,51^2 \ -1,03^2 \ -2,22^2 \ -0,51^2 \ 1,86^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M3 = 4\ 419,84$$

$$4. M4 = (1^2 \ 1,4^2 \ 0,03^2 \ -2,39^2 \ 0,84^2 \ 2,09^2 \ -1,6^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M4 = 4\ 401,78$$

$$5. M5 = (1^2 \ 0,86^2 \ -0,86^2 \ -1,11^2 \ 2,45^2 \ -2,42^2 \ 1,02^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M5 = 4\,506,34$$

$$6. M6 = (1^2 \cdot 0,43^2 - 1,12^2 \cdot 0,65^2 - 0,36^2 \cdot 0,18^2 - 0,05^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M6 = 766,27$$

$$7. M7 = (1^2 - 0,86^2 \cdot 0,44^2 - 0,09^2 \cdot 0,02^2 \cdot 0,01^2 \cdot 0,08^2)$$

238,65
254,07
254,07
275,9
275,9
275,9
269,19

$$M7 = 479,84$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat dihitung nilai perpindahan polanya dengan cara sebagai berikut :

$$A_i = \left(\frac{R_i}{M_i} \right) \times \left(\frac{C_d}{\lambda} \right)$$

$$1. A1 = \left(\frac{11\,171,69}{86\,589,95} \right) \times \left(\frac{0,049 \times 981}{0,643545} \right) = 8,064 \text{ cm}$$

$$2. A2 = \left(\frac{1\,398,01}{8\,577,97} \right) \times \left(\frac{0,139 \times 981}{5,13215} \right) = 3,645 \text{ cm}$$

$$3. A3 = \left(\frac{575,96}{4\,419,84} \right) \times \left(\frac{0,216 \times 981}{12,4774} \right) = 8,064 \text{ cm}$$

$$4. A4 = \left(\frac{320,25}{4\,401,78} \right) \times \left(\frac{0,29 \times 981}{22,5693} \right) = 0,778 \text{ cm}$$

$$5. A5 = \left(\frac{215,25}{4\,506,34} \right) \times \left(\frac{0,35 \times 981}{32,8269} \right) = 0,423 \text{ cm}$$

$$6. A6 = \left(\frac{179,56}{766,27} \right) \times \left(\frac{0,392 \times 981}{41,0411} \right) = 1,86 \text{ cm}$$

$$7. A7 = \left(\frac{136,92}{479,86} \right) \times \left(\frac{0,484 \times 981}{65,6739} \right) = 1,777 \text{ cm}$$

Setelah mendapatkan nilai perpindahan pola, langkah selanjutnya dalam menganalisis gempa dinamis yaitu mencari nilai gaya gempa perlantai dengan cara sebagai berikut :

$$\mu_i = \sqrt{(\sum A_j \phi_j)^2}$$

$$-\mu_1 = \sqrt{(8,064x1^2) + (3,645x1^2) + (1,875x1^2) + (0,778x1^2) + (0,423x1^2) + (1,86x1^2) + (1,77x1^2)}$$

$$= 34,36 \text{ cm}$$

$$-\mu_2 = \sqrt{(8,064x2,55^2) + (3,645x2,31^2) + (1,875x1,93^2) + (0,778x1,4^2) + (0,86x1^2) + (0,43x1^2) + (-0,86x1^2)}$$

$$= 84,97 \text{ cm}$$

$$-\mu_3 = \sqrt{(8,064x4) + (3,645x2,96^2) + (1,875x1,51^2) + (0,778x0,03^2) + (0,86x-0,86^2) + (0,43x-1,12^2) + (-0,86x0,44^2)}$$

$$= 167,89 \text{ cm}$$

$$-\mu_4 = \sqrt{(8,064x6,26^2) + (3,645x2,61^2) + (1,875x-1,03^2) + (0,778x-2,39^2) + (0,86x-1,11^2) + (0,43x0,65^2) + (-0,86x-0,09^2)}$$

$$= 348,58 \text{ cm}$$

$$-\mu_5 = \sqrt{(8,064x8,11^2) + (3,645x0,86^2) + (1,875x-2,22^2) + (0,84x1^2) + (2,45x1^2) + (-0,36x1^2) + (0,02x1^2)}$$

$$= 545,65 \text{ cm}$$

$$-\mu_6 = \sqrt{(8,064x9,4^2) + (3,645x-1,35^2) + (1,875x-0,51^2) + (0,778x2,09^2) + (0,423x-2,42^2) + (1,86x0,18^2) + (1,77x0,01^2)}$$

$$= 725,6 \text{ cm}$$

$$-\mu_6 = \sqrt{(8,064x10,07^2) + (3,645x-2,84^2) + (1,875x1,86^2) + (0,778x-1,6^2) + (0,423x1,02^2) + (1,86x-0,05^2) + (1,77x0,08)}$$

$$= 856,05 \text{ cm}$$

$$F = \begin{bmatrix} 11740 & -4551 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4551 & 9102 & -4551 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4551 & 7185 & -2634 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2634 & 5268 & -2634 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2634 & 5268 & -2634 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2634 & 5268 & -2634 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2634 & 2634 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 34,36 \\ 84,97 \\ 167,89 \\ 348,58 \\ 545,65 \\ 725,6 \\ 856,05 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} 16687,93 \\ -147042,81 \\ -98568,54 \\ -43144,92 \\ 45094,08 \\ 130383 \\ 343605,3 \end{bmatrix}$$

- Mencari nilai modal participation factors

| M | MØ ₁ | MØ ₂ | MØ ₃ | MØ ₄ | MØ ₅ | MØ ₆ | MØ ₇ |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,46 |
| 258,88 | 660,14 | 598,01 | 499,64 | 362,43 | 222,64 | 111,32 | -222,64 |
| 258,88 | 1035,52 | 766,28 | 390,91 | 7,77 | -222,64 | -289,95 | 113,91 |
| 280,71 | 1757,24 | 732,65 | -289,13 | -670,9 | -311,59 | 182,46 | -25,26 |
| 280,71 | 2276,56 | 241,41 | -623,18 | 235,8 | 687,74 | -101,06 | 5,61 |
| 280,71 | 2638,67 | -378,96 | -143,16 | 586,68 | -679,32 | 50,53 | 2,81 |
| 269,19 | 2710,74 | -764,5 | 500,69 | -430,7 | 274,57 | -13,46 | 21,54 |
| TOTAL | 11322,3 | 1438,35 | 579,23 | 334,54 | 214,86 | 183,3 | 139,43 |

| M | MJ1 ² | MJ2 ² | MJ3 ² | MJ4 ² | MJ5 ² | MJ6 ² | MJ7 ² |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,46 | 243,5 | 243,46 | 243,46 | 243,5 |
| 258,88 | 1583,1 | 1299,13 | 906,86 | 477,2 | 180,06 | 45,02 | 180,1 |
| 258,88 | 3895,36 | 2133,1 | 555,11 | 0,22 | 180,06 | 305,4 | 47,13 |
| 280,71 | 9540,61 | 1658,47 | 258,29 | 1391 | 299,97 | 102,86 | 1,97 |

| | | | | | | | |
|--------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|-------|
| 280.71 | 16012.9 | 180.06 | 1199.87 | 171.8 | 1461.37 | 31.55 | 0.1 |
| 280.71 | 21512.1 | 443.71 | 63.32 | 1063 | 1425.8 | 7.89 | 0.02 |
| 269.19 | 24688 | 1963.65 | 842.27 | 623.3 | 253.3 | 0.61 | 1.56 |
| TOTAL | 77475.6 | 7921.58 | 4069.18 | 3970 | 4044.02 | 736.79 | 474.3 |

Dari perhitungan modal participation factors diatas, maka didapatkan nilai γ , dengan perhitungan sebagai berikut.

$$- \gamma_1 : \frac{11322,2}{77475,6} = 0,146$$

$$- \gamma_2 : \frac{1438,35}{7921,58} = 0,182$$

$$- \gamma_3 : \frac{579,23}{4069,18} = 0,142$$

$$- \gamma_4 : \frac{334,54}{3970} = 0,084$$

$$- \gamma_5 : \frac{214,86}{4044,02} = 0,053$$

$$- \gamma_6 : \frac{183,3}{736,79} = 0,249$$

$$- \gamma_7 : \frac{139,43}{474,3} = 0,294$$

Maka untuk desain spectral akselerasinya didapatkan dengan perhitungan rumus sebagai berikut :

$$F_{j,i} = m_j (\phi_{ji}) \gamma_i C_{di}$$

| | m_j | ϕ_{ji} | γ_i | C_{di} | g | |
|---------|--------|-------------|------------|----------|-----|---------|
| F 1,1 = | 243,46 | 1 | 0,146 | 0,049 | 981 | 1708,62 |
| F 2,1 = | 258,88 | 2,55 | 0,146 | 0,049 | 981 | 4632,94 |
| F 3,1 = | 258,88 | 4 | 0,146 | 0,049 | 981 | 7267,36 |
| F 4,1 = | 280,71 | 6,26 | 0,146 | 0,049 | 981 | 12332,5 |
| F 5,1 = | 280,71 | 8,11 | 0,146 | 0,049 | 981 | 15977,1 |
| F 6,1 = | 280,71 | 9,4 | 0,146 | 0,049 | 981 | 18518,4 |
| F 7,1 = | 269,19 | 10,07 | 0,146 | 0,049 | 981 | 19024,2 |

Tabel 4.5 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 1

| | m_j | ϕ_{ji} | γ_i | C_{di} | g | |
|---------|--------|-------------|------------|----------|-----|---------|
| F 1,2 = | 243.46 | 1 | 0.182 | 0.139 | 981 | 6042.03 |
| F 2,2 = | 258.88 | 2.31 | 0.182 | 0.139 | 981 | 14841.1 |
| F 3,2 = | 258.88 | 2.96 | 0.182 | 0.139 | 981 | 19017.1 |
| F 4,2 = | 280.71 | 2.61 | 0.182 | 0.139 | 981 | 18182.5 |

| | | | | | | |
|---------|--------|-------|-------|-------|-----|---------|
| F 5,2 = | 280.71 | 0.86 | 0.182 | 0.139 | 981 | 5991.17 |
| F 6,2 = | 280.71 | -1.35 | 0.182 | 0.139 | 981 | -9404.7 |
| F 7,2 = | 269.19 | -2.84 | 0.182 | 0.139 | 981 | -18973 |

Tabel 4.6 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 2

| | mj | \emptyset_{ji} | γ_i | Cdi | g | |
|---------|--------|------------------|------------|-------|-----|---------|
| F 1,3 = | 243.46 | 1 | 0.142 | 0.216 | 981 | 7325.52 |
| F 2,3 = | 258.88 | 1.93 | 0.142 | 0.216 | 981 | 15033.7 |
| F 3,3 = | 258.88 | 1.51 | 0.142 | 0.216 | 981 | 11762.1 |
| F 4,3 = | 280.71 | -1.03 | 0.142 | 0.216 | 981 | -8699.7 |
| F 5,3 = | 280.71 | -2.22 | 0.142 | 0.216 | 981 | -18751 |
| F 6,3 = | 280.71 | -0.51 | 0.142 | 0.216 | 981 | -4307.6 |
| F 7,3 = | 269.19 | 1.86 | 0.142 | 0.216 | 981 | 15065.5 |

Tabel 4.7 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 3

| | mj | \emptyset_{ji} | γ_i | Cdi | g | |
|---------|--------|------------------|------------|------|-----|---------|
| F 1,4 = | 243.46 | 1 | 0.084 | 0.29 | 981 | 5818 |
| F 2,4 = | 258.88 | 1.4 | 0.084 | 0.29 | 981 | 8661.1 |
| F 3,4 = | 258.88 | 0.03 | 0.084 | 0.29 | 981 | 185.595 |
| F 4,4 = | 280.71 | -2.39 | 0.084 | 0.29 | 981 | -16033 |
| F 5,4 = | 280.71 | 0.84 | 0.084 | 0.29 | 981 | 5634.86 |
| F 6,4 = | 280.71 | 2.09 | 0.084 | 0.29 | 981 | 14020.1 |
| F 7,4 = | 269.19 | -1.6 | 0.084 | 0.29 | 981 | -10293 |

Tabel 4.8 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 4

| | mj | \emptyset_{ji} | γ_i | Cdi | g | |
|---------|--------|------------------|------------|------|-----|---------|
| F 1,5 = | 243.46 | 1 | 0.053 | 0.35 | 981 | 4430.38 |
| F 2,5 = | 258.88 | 0.86 | 0.053 | 0.35 | 981 | 4051.44 |
| F 3,5 = | 258.88 | -0.86 | 0.053 | 0.35 | 981 | -4051.4 |
| F 4,5 = | 280.71 | -1.11 | 0.053 | 0.35 | 981 | -5670.1 |
| F 5,5 = | 280.71 | 2.45 | 0.053 | 0.35 | 981 | 12515.2 |
| F 6,5 = | 280.71 | -2.42 | 0.053 | 0.35 | 981 | -12362 |
| F 7,5 = | 269.19 | 1.02 | 0.053 | 0.35 | 981 | 4996.57 |

Tabel 4.9 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 5

| | mj | \emptyset_{ji} | γ_i | Cdi | g | |
|---------|--------|------------------|------------|-------|-----|---------|
| F 1,6 = | 243.46 | 1 | 0.249 | 0.392 | 981 | 23312.1 |
| F 2,6 = | 258.88 | 0.43 | 0.249 | 0.392 | 981 | 10659.1 |
| F 3,6 = | 258.88 | -1.12 | 0.249 | 0.392 | 981 | -27763 |
| F 4,6 = | 280.71 | 0.65 | 0.249 | 0.392 | 981 | 17471.3 |
| F 5,6 = | 280.71 | -0.36 | 0.249 | 0.392 | 981 | -9676.4 |
| F 6,6 = | 280.71 | 0.18 | 0.249 | 0.392 | 981 | 4838.21 |
| F 7,6 = | 269.19 | -0.05 | 0.249 | 0.392 | 981 | -1288.8 |

Tabel 4.10 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 6

| | m_j | ϕ_{ji} | γ_i | Cdi | g | |
|---------|--------|-------------|------------|-------|-----|---------|
| F 1,7 = | 243.46 | 1 | 0.294 | 0.484 | 981 | 33985.2 |
| F 2,7 = | 258.88 | -0.86 | 0.294 | 0.484 | 981 | -31078 |
| F 3,7 = | 258.88 | 0.44 | 0.294 | 0.484 | 981 | 15900.6 |
| F 4,7 = | 280.71 | -0.09 | 0.294 | 0.484 | 981 | -3526.6 |
| F 5,7 = | 280.71 | 0.02 | 0.294 | 0.484 | 981 | 783.7 |
| F 6,7 = | 280.71 | 0.01 | 0.294 | 0.484 | 981 | 391.85 |
| F 7,7 = | 269.19 | 0.08 | 0.294 | 0.484 | 981 | 3006.15 |

Tabel 4.11 : Perhitungan desain spektra akselerasi pada mode 7

Maka gaya geser superposisi yang terjadi pada bangunan tersebut adalah :

| | V | V ² | | V | V ² |
|---------|---------|----------------|---------|---------|----------------|
| F 1,1 = | 1708,62 | 2919383,316 | F 1,2 = | 6042,03 | 36506115,76 |
| F 2,1 = | 4632,94 | 40215379,92 | F 2,2 = | 14841,1 | 436104487,7 |
| F 3,1 = | 7267,36 | 185202587,3 | F 3,2 = | 19017,1 | 1592031050 |
| F 4,1 = | 12332,5 | 672955630,4 | F 4,2 = | 18182,5 | 3373607404 |
| F 5,1 = | 15977,1 | 1757155744 | F 5,2 = | 5991,17 | 4105468744 |
| F 6,1 = | 18518,4 | 3652612955 | F 6,2 = | -9404,7 | 2988720409 |
| F 7,1 = | 19024,2 | 6314058156 | F 7,2 = | -18973 | 1274229096 |

| | V | V ² | | V | V ² |
|---------|---------|----------------|---------|---------|----------------|
| F 1,3 = | 7325,52 | 53663308,07 | F 1,4 = | 5818 | 33849153,95 |
| F 2,3 = | 15033,7 | 499936514,7 | F 2,4 = | 8661,1 | 209644280,8 |
| F 3,3 = | 11762,1 | 1164270329 | F 3,4 = | 185,595 | 215053219,9 |
| F 4,3 = | -8699,7 | 646261151,3 | F 4,4 = | -16033 | 1870979,68 |
| F 5,3 = | -18751 | 44499221,86 | F 5,4 = | 5634,86 | 18207516,91 |
| F 6,3 = | -4307,6 | 5584412,072 | F 6,4 = | 14020,1 | 334418236,1 |
| F 7,3 = | 15065,5 | 303756653,6 | F 7,4 = | -10293 | 63912083,54 |

| | V | V ² | | V | V ² |
|---------|---------|----------------|---------|---------|----------------|
| F 1,5 = | 4430,38 | 19628227,27 | F 1,6 = | 23312,1 | 543455612,6 |
| F 2,5 = | 4051,44 | 71941267,51 | F 2,6 = | 10659,1 | 1154046171 |
| F 3,5 = | -4051,4 | 19628227,27 | F 3,6 = | -27763 | 38538818,81 |
| F 4,5 = | -5670,1 | 1537016,031 | F 4,6 = | 17471,3 | 560708391,1 |
| F 5,5 = | 12515,2 | 127134857,9 | F 5,6 = | -9676,4 | 196080081,3 |
| F 6,5 = | -12362 | 1180520,231 | F 6,6 = | 4838,21 | 354985949,9 |
| F 7,5 = | 4996,57 | 15288514,27 | F 7,6 = | -1288,8 | 308082438,2 |

| | | |
|---------|---------|-------------|
| F 1,7 = | 33985,2 | 1154991091 |
| F 2,7 = | -31078 | 8449253,488 |

| | | |
|---------|---------|-------------|
| F 3,7 = | 15900,6 | 353715912,1 |
| F 4,7 = | -3526,6 | 233499451 |
| F 5,7 = | 783,7 | 258064572,9 |
| F 6,7 = | 391,85 | 270807772,5 |
| F 7,7 = | 3006,15 | 378784540,4 |

Maka nilai superposisi pada bangunan tersebut akibat beban gempa dinamis adalah :

| Superposisi | |
|-------------------------|------------------------------|
| ($V^2_{1,i} + \dots$) | $\sqrt{(V^2_{1,i} + \dots)}$ |
| 1845012892 | 42953.61 |
| 2420337356 | 49196.92 |
| 3568440144 | 59736.42 |
| 5490440024 | 74097.5 |
| 6506610739 | 80663.57 |
| 7608310255 | 87225.63 |
| 8658111483 | 93048.97 |

4.3 Rencana Penulangan Struktur

4.3.1 Rencana penulangan pelat lantai

Pada analisis penulangan pelat lantai, didapatkan data – data sebagai berikut :

- f_c' : 30 Mpa

- f_y : 400 Mpa

- β : $f_c < 28 \text{ Mpa} = 0.85$

$$28 \text{ Mpa} < f_c < 56 \text{ Mpa} = 0.85 - 0.05/7x(f_c - 28)$$

$$f_c > 56 = 0.56$$

- β : $0.85 - \frac{0.05}{7x(30-28)} = 0.84$

- Tebal pelat : 110 mm

- Selimut : 40 mm

- Tulangan D: 13 mm

- Tulangan Ø: 10 mm
- Ly : 600 cm
- Lx : 350 cm

Dihitung rasio Ly/Lx untuk menentukan penggunaan pelat dua arah atau satu arah dengan menggunakan rumus :

$$- \text{Ly/Lx} : \frac{600}{350} = 1.71 < 2$$

Karena nilai rasio Ly/Lx kurang dari 2 maka digunakan analisis perhitungan pelat dua arah. Langkah awal dalam perhitungan tersebut adalah menghitung nilai momen yang terjadi pada pelat, dengan bantuan table momen PBI 71 untuk mencari nilai Mlx, Mly, Mtx, dan Mty, maka perhitungan dapat dilakukan seperti dibawah ini.

1. Momen pada tumpuan :

- Mtx : 52
- Mty : 52
- Mtx : $-0.001 \times 905.2 \times 3.5^2 \times 52 = -576.61 \text{ kgm}$
- Mtx : -5766100 Nmm
- Mty : $-0.001 \times 905.2 \times 3.5^2 \times 52 = -576.61 \text{ kgm}$
- Mty : -5766100 Nmm

2. Momen pada lapangan :

- Mlx : 21
- Mly : 21
- Mlx : $+0.001 \times 905.2 \times 3.5^2 \times 52 = -232.86 \text{ kgm}$
- Mlx : +2328600 Nmm

- $Mly : +0.001 \times 905.2 \times 3.5^2 \times 52 = -232.86 \text{ kgm}$
- $Mly : +2328600 \text{ Nmm}$

3. Perhitungan tulangan pelat :

- $dx : 110 - 40 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) = 63.5 \text{ mm}$
- $dy : 110 - 40 - 13 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) = 50.5 \text{ mm}$

4. Rasio tulangan pada pelat :

Rasio tulangan ini difungsikan untuk mengontrol pemakaian baja tulangan serta diharapkan tebal penampang yang optimal serta sebagai pertimbangan nilai ekonomis itu sendiri. Rasio ini juga difungsikan untuk perbandingan antara tulangan tarik dengan beton, maka perhitungannya dapat dilakukan seperti dibawah ini.

- $\rho \text{ min} : \frac{1.4}{400} = 0.0035$
- $\rho \text{ seimbang} : \left(\frac{0.85 \times 30 \times 0.84}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right) = 0.03213$
- $\rho \text{ maks} : 0.6 \times 0.03213 = 0.019278$
- $m : \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$

Maka untuk penulangan pada daerah lapangan ditentukan dengan perhitungan dibawah ini.

5. Penulangan daerah lapangan arah X :

- $Mlx : 2328600 \text{ Nmm}$
- $Mn : \frac{2328600}{0.9} = 2587333.3 \text{ Nmm}$
- $Rn : \frac{258733.33}{1000 \times 63.5^2} = 0.64$

$$- \rho \text{ perlu} : \frac{1}{15.69} x \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x15.69x0.64}{400}} \right) = 0.001621$$

maka dengan syarat $\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ maksimum}$, didapatkan

:

$0.0035 > 0.001621 < 0.019278$, maka digunakan $\rho \text{ min} : 0.0035$, maka

As perlu yang digunakan adalah

$$- \text{As perlu} : 0.0035x1000x63.5 = 222.25$$

Dilakukan kontrol pada jarak spasi tulangan sesuai SNI 2847-

2013 pasal 7.5.2.1 :

$$- S_{\text{max}} < 2h : 200 < 2x110$$

$$- S_{\text{max}} < 2h : 200 < 220 \text{ (Sesuai)}$$

- Digunakan D : 13mm

$$- S : \frac{0.25x3.14x13^2x1000}{222.25} = 596.9 > 300 \text{ (Tidak OK)}$$

- S pakai : 200 mm (diambil yang terkecil)

- Digunakan: **D13-200**

$$- \text{As pakai} : \frac{0.25x3.14x13^2x1000}{200} = 663.325$$

Maka As pakai $>$ As perlu : $663.325 > 222.25$ (Memenuhi)

Dilakukan kontrol tulangan susut sesuai dengan SNI 2847-2013

pasal 7.12.2.2 dengan menggunakan rumus

$$- \text{As susut perlu} : 0.0018x1000x110 = 198\text{mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan susut :

$$- S_{\text{max}} < 5h : 450 < 5x110$$

$$- S_{\text{max}} < 5h : 450 < 550 \text{ (Memenuhi)}$$

- Digunakan : $\emptyset 10$
- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{198} = 396.46$
- S pakai : 150 mm

Maka digunakan $\emptyset 10-150$ mm

- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{150} = 523.33 > 198$ (OK)

6. Penulangan daerah lapangan arah Y :

- M_lx : 2328600 Nmm
- M_n : $\frac{2328600}{0.9} = 2587333.3 \text{ Nmm}$
- R_n : $\frac{2587333.3}{1000 \times 50.5^2} = 1.01$
- ρ perlu : $\frac{1}{15.69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 1.01}{400}} \right) = 0.002577$

maka dengan syarat $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$, didapatkan

:

$0.0035 > 0.002577 < 0.019278$, maka digunakan $\rho_{\min} : 0.0035$, maka

As perlu yang digunakan adalah

- As perlu : $0.0035 \times 1000 \times 50.5 = 176.75$

Dilakukan kontrol pada jarak spasi tulangan sesuai SNI 2847-

2013 pasal 7.5.2.1 :

- $S_{\max} < 2h : 200 < 2 \times 110$
- $S_{\max} < 2h : 200 < 220$ (Sesuai)
- Digunakan D : 13mm
- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 13^2 \times 1000}{176.75} = 750.58 > 300$ (Tidak OK)

- S pakai : 200 mm (diambil yang terkecil)
- Digunakan: **D13-200** mm
- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 13^2 \times 1000}{200} = 663.325$

Maka As pakai > As perlu : 663.325 > 222.25 (Memenuhi)

Dilakukan kontrol tulangan susut sesuai dengan SNI 2847-2013

pasal 7.12.2.2 dengan menggunakan rumus

- As susut perlu : $0.0018 \times 1000 \times 110 = 198 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan susut :

- $S_{\max} < 5h : 450 < 5 \times 110$
- $S_{\max} < 5h : 450 < 550$ (Memenuhi)
- Digunakan : $\varnothing 10$
- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{198} = 396.46$
- S pakai : 150 mm

Maka digunakan **$\varnothing 10-150$ mm**

- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{150} = 523.33 > 198$ (OK)

7. Penulangan daerah tumpuan arah X :

- $M_{lx} : 5766100 \text{ Nmm}$
- $M_n : \frac{5766100}{0.9} = 6406777.8 \text{ Nmm}$
- $R_n : \frac{6406777.77}{1000 \times 63.5^2} = 1.59$
- ρ perlu : $\frac{1}{15.69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 1.59}{400}} \right) = 0.004107$

maka dengan syarat $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$, didapatkan

:

$0.0035 < 0.004107 < 0.019278$, maka digunakan $\rho_{\min} : 0.004107$,

maka As perlu yang digunakan adalah

- As perlu : $0.004107 \times 1000 \times 63.5 = 260.79$

Dilakukan kontrol pada jarak spasi tulangan sesuai SNI 2847-

2013 pasal 7.5.2.1 :

- $S_{\max} < 2h : 200 < 2 \times 110$

- $S_{\max} < 2h : 200 < 220$ (Sesuai)

- Digunakan D : 13mm

- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 13^2 \times 1000}{260.7945} = 596.9 > 300$ (Tidak OK)

- S pakai : 200 mm (diambil yang terkecil)

- Digunakan: **D13-200** mm

- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 13^2 \times 1000}{200} = 663.325$

Maka As pakai $>$ As perlu : $663.325 > 222.25$ (Memenuhi)

Dilakukan kontrol tulangan susut sesuai dengan SNI 2847-2013

pasal 7.12.2.2 dengan menggunakan rumus

- As susut perlu : $0.0018 \times 1000 \times 110 = 198 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan susut :

- $S_{\max} < 5h : 450 < 5 \times 110$

- $S_{\max} < 5h : 450 < 550$ (Memenuhi)

- Digunakan : $\emptyset 10$

- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{198} = 396.46$

- S pakai : 150 mm

Maka digunakan \varnothing 10-150 mm

- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{150} = 523.33 > 198$ (OK)

8. Penulangan daerah tumpuan arah Y :

- Mlx : 5766100 Nmm

- Mn : $\frac{5766100}{0.9} = 640677.8 \text{ Nmm}$

- Rn : $\frac{640677.8}{1000 \times 50.5^2} = 2.51$

- ρ perlu : $\frac{1}{15.69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 2.51}{400}} \right) = 0.006619$

maka dengan syarat $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$, didapatkan

:

$0.0035 < 0.006619 < 0.019278$, maka digunakan ρ_{\min} : 0.006619,

maka As perlu yang digunakan adalah

- As perlu : $0.006619 \times 1000 \times 50.5 = 334.26$

Dilakukan kontrol pada jarak spasi tulangan sesuai SNI 2847-2013 pasal 7.5.2.1 :

- $S_{\max} < 2h$: $200 < 2 \times 110$

- $S_{\max} < 2h$: $200 < 220$ (Sesuai)

- Digunakan D : 13mm

- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 13^2 \times 1000}{334.26} = 396.89 > 300$ (Tidak OK)

- S pakai : 200 mm (diambil yang terkecil)

- Digunakan: **D13-200** mm
- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 13^2 \times 1000}{200} = 663.325$

Maka As pakai > As perlu : $663.325 > 222.25$ (Memenuhi)

Dilakukan kontrol tulangan susut sesuai dengan SNI 2847-2013

pasal 7.12.2.2 dengan menggunakan rumus

- As susut perlu : $0.0018 \times 1000 \times 110 = 198 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan susut :

- $S_{\max} < 5h$: $450 < 5 \times 110$
- $S_{\max} < 5h$: $450 < 550$ (Memenuhi)

- Digunakan : $\varnothing 10$

- S : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{198} = 396.46$

- S pakai : 150 mm

Maka digunakan $\varnothing 10-150$ mm

- As pakai : $\frac{0.25 \times 3.14 \times 10^2 \times 1000}{150} = 523.33 > 198$ (OK)

4.3.2 Penulangan balok

4.3.2.1 Penulangan balok anak

Pada penulangan balok anak, data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- f_c' : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- β : 0.84
- tebal pelat : 110 mm

- Ly : 600 cm
- Lx : 350 cm
- BA1 : 350 x 250 mm

1. Beban mati :

- qDL1 : $0.25 \times 0.35 \times 2400 = 210 \text{ kg/m}$
- qDL2 : $210 \times 3.5 \left(1 - \left(\frac{1}{3} \times \left(\frac{3.5}{6} \right)^2 \right) \right) = 651.63 \text{ kg/m}$
- qDL : $210 + 651.63 = 861.63 \text{ kg/m}$

2. Beban hidup :

- qLL1 : 250 kg/m
- qLL2 : $250 \times 3.5 \left(1 - \left(\frac{1}{3} \times \left(\frac{3.5}{6} \right)^2 \right) \right) = 775.75 \text{ kg/m}$
- qU : $(1.2 \times 861.63) + (1.6 \times 775.75) = 2275.156 \text{ kg/m}$

Maka penulangan pada balok anak dengan dimensi 350 x 250 mm adalah sebagai berikut.

- Dimensi : 350 x 250 mm
- L : 600 cm
- d' : 40 mm
- D : 16 mm
- Ø : 10 mm
- Fc' : 30 Mpa
- Fy :
- Ulir : 400 Mpa
- Polos : 240 Mpa

- β : 0.84
- q_U : 2275.156 kg/m
- d : $350 - 40 - 10 - (0.5 \times 16) = 292 \text{ mm}$
- d' : $40 + 10 + (0.5 \times 16) = 58 \text{ mm}$

untuk rasio pada penulangan balok anak ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

- ρ : $\frac{1.4}{400} = 0.0035$
- ρ seimbang: $\frac{0.85 \times 30 \times 0.84}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0.03213$
- ρ maks : $0.6 \times 0.03213 = 0.019278$
- m : $\frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$

maka untuk momen ultimate pada balok terletak atas dua tumpuan dan terjepit elastis, maka untuk nilai bidang momennya adalah

- M_{u1} tump: $-\frac{1}{12} \times 2275.156 \times 6^2 = 6825.47 \text{ kgm}$
- M_{u2} lap : $-\frac{1}{16} \times 2275.156 \times 6^2 = 5119.1 \text{ kgm}$

Maka untuk perhitungan tulangan yang dibutuhkan ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Tulangan tumpuan :

- M_u : 68254700 Nmm
- \emptyset : 0.9 (SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.1)
- M_n : $\frac{68254700}{0.9} = 75838555.56 \text{ Nmm}$
- R_n : $\frac{75838555.56}{1000 \times 292^2} = 0.89$

$$- \rho \text{ perlu} : \frac{1}{15.69} x \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x15.69x0.98}{400}} \right) = 0.002265$$

maka untuk ρ min yang digunakan adalah dengan membandingkan antara $\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$ sebagai berikut.

$$- \rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max} : 0.0035 > 0.002265 < 0.019278$$

$$- \rho \text{ min digunakan} : 0.0035$$

$$- \text{As perlu} : 0.0035x1000x292 = 1022\text{mm}^2$$

$$- n : \frac{1022}{\frac{1}{4}x3.14x16^2} = 5.086 \text{ buah}$$

$$- n : 5 \text{ buah}$$

Tulangan tekan diambil dari > 0.5 tulangan tarik, maka untuk jumlah tulangan tarik yang digunakan adalah

$$- n : 5x0.5 = 2.5 \text{ buah}$$

$$- n : 3 \text{ buah}$$

Jadi untuk tulangan tumpuan pada balok anak digunakan tulangan atas **5D16** dan tulangan bawah **3D16**.

2. Tulangan lapangan :

$$- M_u : 51191000 \text{ Nmm}$$

$$- \emptyset : 0.9 \text{ (SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.1)}$$

$$- M_n : \frac{51191000}{0.9} = 56878888.89 \text{ Nmm}$$

$$- R_n : \frac{56878888.89}{1000x292^2} = 0.7$$

$$- \rho \text{ perlu} : \frac{1}{15.69} x \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x15.69x0.7}{400}} \right) = 0.001775$$

maka untuk ρ min yang digunakan adalah dengan membandingkan antara ρ min < ρ perlu < ρ max sebagai berikut.

- ρ min < ρ perlu < ρ max : $0.0035 > 0.001775 < 0.019278$
- ρ min digunakan : 0.0035
- As perlu : $0.0035 \times 1000 \times 292 = 1022 \text{ mm}^2$

- n : $\frac{1022}{\frac{1}{4} \times 3.14 \times 16^2} = 5.086 \text{ buah}$
- n : 5 buah

Tulangan tekan diambil dari > 0.5 tulangan tarik, maka untuk jumlah tulangan tarik yang digunakan adalah

- n : $5 \times 0.5 = 2.5 \text{ buah}$
- n : 3 buah

Jadi untuk tulangan tumpuan pada balok anak digunakan tulangan bawah **5D16** dan tulangan atas **3D16**.

3. Tulangan geser :

- V_u : $\frac{2275.156 \times 6}{2} = 6825.468 \text{ N} = 68.25 \text{ kN}$
- b : 250 mm
- d : 292 mm
- V_c : $0.17 \times 1 \times 5.477 \times 250 \times 292 = 67972.36 \text{ N}$
- V_c : 67.97 kN

a. Hitung kuat geser tulangan :

- V_s min : $0.33 \times 5.477 \times 250 \times 292 = 131.95 \text{ kN}$
- V_s maks : $0.42 \times 1 \times 5.477 \times 250 \times 292 = 167.93 \text{ kN}$

- $2 V_s \text{ maks: } 2 \times 167.93 = 335.86 \text{ kN}$
- $\emptyset \quad \quad \quad : 0.85$
- $\emptyset V_c \quad \quad : 0.85 \times 67.97 = 57.77 \text{ kN}$
- $5 \emptyset V_c \quad \quad : 5 \times 57.77 = 28.88 \text{ kN}$

b. Kontrol syarat tulangan geser :

- Syarat 1 : $V_u < 0.5 \emptyset V_c$
 $\quad \quad \quad : 68.25 > 28.885 \text{ (tidak memenuhi)}$
- Syarat 2 : $0.5 \emptyset V_c < V_u < \emptyset V_c$
 $\quad \quad \quad : 28.885 < 68.25 > 57.77 \text{ (tidak memenuhi)}$
- Syarat 3 : $\emptyset V_c < V_u < \emptyset (V_c + V_{smin})$
 $\quad \quad \quad : 57.77 < 68.25 < 169.932 \text{ (sesuai)}$

Yang memenuhi adalah syarat ke 3, maka :

- Kondisi 3 : 100 mm
- n kaki : 2 kaki
- $\emptyset \quad \quad \quad : 10 \text{ mm}$
- $A_s \quad \quad \quad : \frac{1}{4} \times 3.14 \times 10^2 \times 2 = 157 \text{ mm}^2$

Jarak sengkang :

- $V_s \text{ perlu} \quad : \frac{68.25 - 57.77}{0.85} = 12.3 \text{ kN} = 12300 \text{ N}$
- $S \quad \quad \quad : \frac{157 \times 240 \times 292}{12300} = 894.52$

Syarat jarak sengkang :

- $s < d/4 \quad \quad : 73 \text{ mm}$
- $s < 8\emptyset \quad \quad : 128 \text{ mm}$

- $s < 24\emptyset$: 600 mm
- s pakai : 73 mm
- s pakai : 100 mm
- digunakan : $\emptyset 10 - 100$ mm

4.3.2.2 Penulangan balok arah Y

Pada penulangan balok arah Y dengan perencanaan dimensi awal adalah 600 x 300 mm yang diambil dari 1/10 bentang, dilakukan pemodifikasian pada lebar balok, yang disebabkan oleh indikasi merah atau gagal analisis oleh ETABS pada hasil gaya geser, sehingga dilakukan penambahan dimensi sebesar 10 cm pada lebar balok dan dimensinya menjadi 600 x 400 cm. Untuk kebutuhan penulangannya dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

- f_c' : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- f_{ys} : 240 Mpa
- β : 0.84
- Dimensi : 600 x 400 mm
- L : 600 cm
- Selimut : 40 mm
- D rencana : 22 mm
- \emptyset rencana : 12 mm

1. Sesuai syarat SNI 2847-2013 pasal 21.5.1, gaya aksial terfaktor tidak boleh melebihi $0.1 A_g f_c'$, maka :

- $0.1 A_g f_c' = 0.1 \times (600 \times 400) \times 30$

- $0.1 A_g f_c' = 720000 \text{ N} = 720 \text{ kN}$

2. Pada bentang bersih komponen struktur balok, tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektif sesuai dengan syarat SNI 2847-2013 pasal 21.5.2, maka :

- $Ln = 6000 - 275 - 400$

- $Ln = 5325 \text{ mm}$

- $d = 600 - 40 - 12 - \left(\frac{22}{2}\right)$

- $d = 537 \text{ mm}$

- $4d = 4 \times 537$

- $4d = 2148 \text{ mm}$

- Kontrol : $Ln > 4d : 5325 > 2148 \text{ (OK)}$

3. Pada lebar komponen tidak boleh kurang dari 0.3h sesuai syarat SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.

- $b = 400 \text{ mm}$

- $b = 0.3 \times 600$

- $b = 180 \text{ mm}$

- Kontrol : $400 > 180 \text{ (OK)}$

4. Tinggi balok efektif :

- $d = 600 - 40 - 12 - (0.5 \times 22)$

- $d = 537 \text{ mm}$

- $d' = 40 + 12 + (0.5 \times 22)$

- $d' = 63 \text{ mm}$

4.3.2.2.1 Rencana jumlah tulangan tumpuan dan lapangan :

1. Rencana jumlah tulangan tumpuan :

- $M_u = 222.3701 \text{ kNm}$ (Didapat dari hasil ETABS)

- $M_u = 222370100 \text{ Nmm}$

- $\phi = 0.9$ (SNI 2847 pasal 9.3.2.1)

- $M_n = \frac{M_u}{\phi}$

- $M_n = \frac{22370100}{0.9} = 247077888.9 \text{ Nmm}$

- $X_{balance} = \frac{600}{600 + (400 \times 537)} = 322.2 \text{ mm}$

- $X_{max} = 0.6 \times 322.2 = 193.32 \text{ mm}$

- $X_{min} = 63 \text{ mm}$

- $X_{rencana} = 110 \text{ mm}$

- $C_c = 0.85 \times 30 \times 400 \times 110$

- $C_c = 1122000 \text{ Nmm}^2$

- $A_{sc} = \frac{1122000}{400} = 2805 \text{ mm}^2$

- $M_{nc} = 2805 \times 400 \times \left(\frac{537 - 100}{2} \right)$

- $M_{nc} = 540804000 \text{ Nmm}$

- $M_{ns} = 247077888.88 - 540804000$

- $M_{ns} = -293726111 < 0$ (Tulangan Tunggal)

- $\frac{1}{4} \phi M_n = \frac{1}{4} \times 247077888.88$

- $\frac{1}{4} \phi M_n = 61769472.22 \text{ Nmm}$

- $As = \frac{222370100}{0.9 \times 400 \times 537} = 1150,27 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{1150,27}{0.25 \times 3,14 \times (22^2)} = 3,03 \text{ buah} = 4 \text{ buah}$
- $As \text{ pasang} = 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (22^2) = 1519.76 \text{ mm}^2$
- $As \text{ pasang} > As \text{ perlu} = 1519.76 > 1150.27 \text{ (OK)}$

Maka tulangan tumpuan bagian atas digunakan **4D22**.

Untuk menentukan tulangan bagian bawah digunakan perhitungan sebagai berikut :

- $As' = \frac{1150.27}{2} = 575.135 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{575.135}{0.25 \times 3.14 \times (22^2)} = 1,51 \text{ buah} = 2 \text{ buah}$
- $As \text{ pasang} = 2 \times 0.25 \times 3.14 \times (22^2) = 759.88 \text{ mm}^2$
- $As \text{ pasang} > As \text{ perlu} = 575.135 > 759.88 \text{ mm}^2$

Maka tulangan tumpuan bagian bawah digunakan **2D22**.

2. Cek momen nominal aktual :

- $a = \frac{1519.76 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400} = 59.6$
- $Mnc = 2805 \times 400 \times \left(537 - \left(\frac{59.6}{2} \right) \right)$
- $Mnc = 569078400 \text{ Nmm}$
- $Mn < Mnc = 24707888.9 < 569078400 \text{ (OK)}$

3. Cek kondisi penampang :

- $c = \frac{59.6}{0.84} = 70.95$
- $0.375dt = 0.375 \times 537$

- $0.375dt = 201.375 \text{ mm}$
- $c < 0.375dt = 70.95 < 201.375 \text{ (OK)}$

4. Cek batas penulangan :

- $1.4bw \left(\frac{d}{f_y}\right) = 1.4 \times 400 \times \left(\frac{537}{400}\right) = 751.8 \text{ mm}^2$
- $\frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y bw d} = \frac{0.25\sqrt{30}}{400 \times 400 \times 537} = 735.31 \text{ mm}^2$
- $\rho = \frac{1519.76}{400 \times 537} = 0.007 < 0.025 \text{ (OK)}$

Jadi untuk penulangan pada tumpuan digunakan **4D22** (Tulangan atas), dan **2D22** (Tulangan bawah).

1. Rencana jumlah tulangan lapangan :

- $M_u = 102.471 \text{ kNm}$ (Didapat dari hasil ETABS)
- $M_u = 102471000 \text{ Nmm}$
- $b_e = \frac{1}{4} \times 6000 = 1500 \text{ mm}$
- $b_w = 400 + 8 \times 110 = 1280 \text{ mm}$
- $\frac{1}{2}(L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (6000 - 400) = 2800 \text{ mm}$
- $b_e = 1280$ (diambil nilai yang terkecil)
- $K_{maks} = \frac{382.5 \times 0.84 \times (600 + 400 - 225 \times 0.84) \times 30}{(600 + 400)^2}$
- $K_{maks} = 7,81 \text{ Mpa}$
- $D_s = 40 \text{ Mpa}$
- $d = 600 - 40 - 40 = 520 \text{ mm}$
- $K = \frac{102471000}{0.8 \times 1280 \times (520^2)} = 0.37 < 7.81 \text{ (OK)}$
- $a = 1 - \left(\frac{1 - (2 \times 0.37)}{\sqrt{0.85 \times 30}}\right) \times 520 = 7.60 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$

- $As = \frac{0.85 \times 30 \times 7.6 \times 1280}{400} = 620.34 \text{ mm}^2$
- $As = \frac{1.4 \times 1280 \times 520}{400} = 2329.6 \text{ mm}^2$
- $As = \frac{\sqrt{30} \times 1280 \times 520}{4 \times 400} = 2278.5 \text{ mm}^2$
- $As_{pakai} = 2329.6 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{2329.6}{0.25 \times 3.14 \times (22^2)} = 6.1 \text{ buah} = 7 \text{ buah}$
- $As_{pasang} = 7 \times 0.25 \times 3.14 \times (22^2) = 2659.58 \text{ mm}^2$
- $As_{pasang} > As_{perlu} = 2659.58 > 2329.6 \text{ (OK)}$

Maka tulangan tumpuan bagian bawah digunakan **7D22**.

Untuk menentukan tulangan bagian bawah digunakan perhitungan sebagai berikut :

- $As' = \frac{2329.6}{2} = 1164.8 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{1164.8}{0.25 \times 3.14 \times (22^2)} = 3.07 \text{ buah} = 4 \text{ buah}$
- $As_{pasang} = 4 \times 0.25 \times 3.14 \times (22^2) = 1519.76 \text{ mm}^2$
- $As_{pasang} > As_{perlu} = 1519.76 > 1164.8 \text{ mm}^2$

Maka tulangan tumpuan bagian atas digunakan **4D22**. Jadi untuk penulangan pada lapangan digunakan **7D22** (Tulangan bawah), dan **4D22** (Tulangan atas).

4.3.2.2 Perencanaan tulangan geser atau sengkang

Pada balok 600 x 400 akan direncanakan tulangan geser atau sengkang dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Tulangan geser pada tumpuan

- f_c' : 30 Mpa

- f_{ys} : 240 Mpa

- Dimensi : 600 x 400 mm

- \emptyset : 12 mm

- n kaki : 2 kaki

- $d = 600 - 65 = 535 \text{ mm}$

- $A_v = 2 \times 0.25 \times 3.14 \times (12^2) = 227 \text{ mm}^2$

- $\emptyset = 0.75$

- $V_u = 259.05 \text{ kN}$

- $V_n = \frac{259050}{0.75} = 345400$

a. Kapasitas beton :

- $V_c = \frac{\sqrt{30}}{6 \times 400 \times 535} = 195354 \text{ kN}$

- $V_c = 195.354 \text{ N}$

- $V_s = V_n - V_c$

- $V_s = 345400 - 195354 = 150046 \text{ kN}$

- $V_s = 150.046 \text{ N}$

b. Kontrol zona sengkang :

- $0.5 V_c = 0.5 \times 195354 = 97677 \text{ kN}$

- $V_c = 195354 \text{ kN}$

- $3V_c = 3 \times 195354 = 586062 \text{ kN}$

- $5V_c = 5 \times 195354 = 976770 \text{ kN}$

- Jarak sengkang 1 zona 2 :

- $97.677 < Vn < 195.354$

- $\delta = \frac{16}{\sqrt{30}} < 3$

- $\delta = 2 < 3$ (OK)

- $s < \frac{\delta Av fy}{b} = \frac{2 \times 227 \times 240}{400} = 272.4 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{535}{2} = 267.5$

- $s < 600$

- $s_{min} = 267.5 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 2 zona 3 :

- $195.354 < Vn < 586.062$

- $s < \frac{Av fy d}{Vs} = \frac{227 \times 240 \times 535}{150045} = 194 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{535}{2} = 267.5$

- $s < 600$

- $s_{min} = 194 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 3 zona 4 :

- $586.062 < Vn < 976.77$

- $s < \frac{Av fy d}{Vs} = \frac{227 \times 240 \times 535}{150046} = 194 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{4} = \frac{535}{4} = 133.75 \text{ mm}$

- $s < 300$

- $s_{min} = 133.75 \text{ mm}$

c. Jarak sengkang yang digunakan :

- $V_n = 345.4 \text{ N}$
- Maka digunakan zona 3 : $V_c < V_n < 3V_c$
- Batasan sengkang :
 - Zona 3 : $s < \frac{A_v f_y d}{V_s}, s_{max} = \frac{d}{2} < 600$
 - $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 535}{150045} = 194 \text{ mm}$
 - $s < \frac{d}{2} = \frac{535}{2} = 267.5$
 - $s < 600$
 - s perlu : 194 mm
 - digunakan : $\text{Ø}12\text{-}200$ (dibulatkan untuk mempermudah pekerjaan dilapangan)

2. Tulangan geser pada lapangan

- $\phi = 0.75$
- $V_u = 212.65 \text{ kN}$
- $V_n = \frac{212650}{0.75} = 283533.33$

a. Kapasitas beton :

- $V_c = \frac{\sqrt{30}}{6 \times 600 \times 535} = 195354 \text{ kN}$
- $V_c = 195.354 \text{ N}$
- $V_s = V_n - V_c$
- $V_s = 283533.33 - 195354 = 88179.33 \text{ kN}$
- $V_s = 88.179 \text{ N}$

b. Kontrol zona sengkang :

- $0.5 V_c = 0.5 \times 195354 = 97677 \text{ kN}$

- $V_c = 195354 \text{ kN}$

- $3V_c = 3 \times 195354 = 586062 \text{ kN}$

- $5V_c = 5 \times 195354 = 976770 \text{ kN}$

- Jarak sengkang 1 zona 2 :

- $97.677 < V_n < 195.354$

- $\delta = \frac{16}{\sqrt{30}} < 3$

- $\delta = 2 < 3 \text{ (OK)}$

- $s < \frac{\delta A_v f_y}{b} = \frac{2 \times 227 \times 240}{400} = 272.4 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{535}{2} = 267.5$

- $s < 600$

- $s_{\min} = 267.5 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 2 zona 3 :

- $195.354 < V_n < 586.062$

- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 535}{88179.33} = 331 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{535}{2} = 267.5$

- $s < 600$

- $s_{\min} = 267.5 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 3 zona 4 :

- $586.062 < V_n < 976.77$

- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 535}{88179.33} = 331 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{4} = \frac{535}{4} = 133.75 \text{ mm}$

- $s < 300$

- $s_{min} = 133.75 \text{ mm}$

c. Jarak sengkang yang digunakan :

- $V_n = 283.533 \text{ N}$

- Maka digunakan zona 3 : $V_c < V_n < 3V_c$

- Batasan sengkang :

- Zona 3 : $s < \frac{A_v f_y d}{V_s}, s_{max} = \frac{d}{2} < 600$

- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 535}{88179.33} = 331 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{535}{2} = 267.5$

- $s < 600$

- s perlu : 267.5 mm

- digunakan : **Ø12-250** (dibulatkan untuk mempermudah pekerjaan dilapangan).

4.3.2.3 Penulangan balok arah X

Pada penulangan balok arah X dengan perencanaan dimensi awal adalah 700 x 350 mm yang diambil dari 1/10 bentang, dilakukan pemodifikasian pada lebar balok, yang disebabkan oleh indikasi merah atau gagal analisis oleh ETABS pada hasil gaya geser, sehingga dilakukan penambahan dimensi sebesar 10 cm pada lebar balok dan dimensinya menjadi 700 x 400 cm. Untuk kebutuhan penulangannya dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

- f_c' : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- f_{ys} : 240 Mpa
- β : 0.84
- Dimensi : 700 x 400 mm
- L : 700 cm
- Selimut : 40 mm
- D rencana : 22 mm
- \emptyset rencana : 12 mm

1. Sesuai syarat SNI 2847-2013 pasal 21.5.1, gaya aksial terfaktor

tidak boleh melebihi $0.1 A_g f_c'$, maka :

- $0.1 A_g f_c' = 0.1 \times (700 \times 400) \times 30$
- $0.1 A_g f_c' = 840000 \text{ N} = 840 \text{ kN}$

2. Pada bentang bersih komponen struktur balok, tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektif sesuai dengan syarat SNI 2847-2013 pasal 21.5.2, maka :

- $L_n = 7000 - 275 - 400$
- $L_n = 6325 \text{ mm}$
- $d = 700 - 40 - 12 - \left(\frac{22}{2}\right)$
- $d = 637 \text{ mm}$
- $4d = 4 \times 637$
- $4d = 2548 \text{ mm}$
- Kontrol : $L_n > 4d : 6325 > 2548 \text{ (OK)}$

3. Pada lebar komponen tidak boleh kurang dari $0.3h$ sesuai syarat SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.

- $b = 400 \text{ mm}$
- $b = 0.3 \times 700$
- $b = 210 \text{ mm}$
- Kontrol : $400 > 210 \text{ (OK)}$

4. Tinggi balok efektif :

- $d = 700 - 40 - 12 - (0.5 \times 22)$
- $d = 637 \text{ mm}$
- $d' = 40 + 12 + (0.5 \times 22)$
- $d' = 63 \text{ mm}$

4.3.2.2.1 Rencana jumlah tulangan tumpuan dan lapangan :

1. Rencana jumlah tulangan tumpuan :

- $M_u = 450.98 \text{ kNm}$ (Didapat dari hasil ETABS)
- $M_u = 450980000 \text{ Nmm}$
- $\phi = 0.9$ (SNI 2847 pasal 9.3.2.1)
- $M_n = \frac{M_u}{\phi}$

$$- M_n = \frac{450980000}{0.9} = 50108888.9 \text{ Nmm}$$

$$- X_{balance} = \frac{600}{600 + (400 \times 637)} = 382.2 \text{ mm}$$

$$- X_{max} = 0.6 \times 382.2 = 229.32 \text{ mm}$$

$$- X_{min} = 63 \text{ mm}$$

$$- X_{rencana} = 110 \text{ mm}$$

- $Cc = 0.85 \times 30 \times 400 \times 110$
- $Cc = 1122000 \text{ Nmm}^2$
- $A_{sc} = \frac{1122000}{400} = 2805 \text{ mm}^2$
- $M_{nc} = 2805 \times 400 \times \left(\frac{637-100}{2}\right)$
- $M_{nc} = 653004000 \text{ Nmm}$
- $M_{ns} = 501088888.88 - 653004000$
- $M_{ns} = -151915111 < 0 \text{ (Tulangan Tunggal)}$
- $\frac{1}{4} \phi M_n = \frac{1}{4} \times 501088888.88$
- $\frac{1}{4} \phi M_n = 125272222.2 \text{ Nmm}$
- $A_s = \frac{450980000}{0.9 \times 400 \times 637} = 1966.6 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{1966.6}{0.25 \times 3.14 \times (22^2)} = 5.18 \text{ buah} = 6 \text{ buah}$
- $A_s \text{ pasang} = 6 \times 0.25 \times 3.14 \times (22^2) = 2279.64 \text{ mm}^2$
- $A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu} = 2279.64 > 1966.6 \text{ (OK)}$

Maka tulangan tumpuan bagian atas digunakan **6D22**.

Untuk menentukan tulangan bagian bawah digunakan perhitungan sebagai berikut :

- $A_s' = \frac{1966.6}{2} = 983.3 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{983.3}{0.25 \times 3.14 \times (22^2)} = 2.59 \text{ buah} = 3 \text{ buah}$
- $A_s \text{ pasang} = 3 \times 0.25 \times 3.14 \times (22^2) = 1139.82 \text{ mm}^2$
- $A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu} = 1139.82 > 983.3 \text{ mm}^2$

Maka tulangan tumpuan bagian bawah digunakan **3D22**.

2. Cek momen nominal aktual :

$$- a = \frac{2279.64 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400} = 89.4$$

$$- M_{nc} = 2805 \times 400 \times \left(637 - \left(\frac{89.4}{2} \right) \right)$$

$$- M_{nc} = 664560600 \text{ Nmm}$$

$$- M_n < M_{nc} = 501088888.9 < 664560600 \text{ (OK)}$$

3. Cek kondisi penampang :

$$- c = \frac{89.4}{0.84} = 106.42$$

$$- 0.375dt = 0.375 \times 637$$

$$- 0.375dt = 238.875 \text{ mm}$$

$$- c < 0.375dt = 106.42 < 238.875 \text{ (OK)}$$

4. Cek batas penulangan :

$$- 1.4bw \left(\frac{d}{f_y} \right) = 1.4 \times 400 \times \left(\frac{637}{400} \right) = 891.8 \text{ mm}^2$$

$$- \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} bw d = \frac{0.25\sqrt{30}}{400 \times 400 \times 637} = 872.24 \text{ mm}^2$$

$$- \rho = \frac{2279.64}{400 \times 637} = 0.009 < 0.025 \text{ (OK)}$$

Jadi untuk penulangan pada tumpuan digunakan **6D22**
(Tulangan atas), dan **3D22** (Tulangan bawah).

1. Rencana jumlah tulangan lapangan :

$$- M_u = 159.9147 \text{ kNm (Didapat dari hasil ETABS)}$$

$$- M_u = 159914700 \text{ Nmm}$$

$$- b_e = \frac{1}{4} \times 7000 = 1750 \text{ mm}$$

$$- b_w = 400 + 8 \times 110 = 1280 \text{ mm}$$

- $\frac{1}{2}(Lb - bw) = \frac{1}{2}x(7000 - 400) = 3300 \text{ mm}$
- $be = 1280$ (diambil nilai yang terkecil)
- $K_{maks} = \frac{382.5 \cdot 0.84 \cdot (600 + 400 - 225 \cdot 0.84) \cdot x30}{(600 + 400)^2}$
- $K_{maks} = 7,81 \text{ Mpa}$
- $Ds = 40 \text{ Mpa}$
- $d = 700 - 40 - 40 = 620 \text{ mm}$
- $K = \frac{159914700}{0.8 \cdot 1280 \cdot (620^2)} = 0.40 < 7.81 \text{ (OK)}$
- $a = 1 - \left(\frac{1 - (2 \cdot 0.40)}{\sqrt{0.85 \cdot 30}} \right) \cdot 620 = 9.95 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$
- $As = \frac{0.85 \cdot 30 \cdot 9.95 \cdot 1280}{400} = 812.546 \text{ mm}^2$
- $As = \frac{1.4 \cdot 1280 \cdot 620}{400} = 2777.6 \text{ mm}^2$
- $As = \frac{\sqrt{30} \cdot 1280 \cdot 620}{4 \cdot 400} = 2716.70 \text{ mm}^2$
- $As_{pakai} = 2777.6 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{2777.6}{0.25 \cdot 3.14 \cdot (22^2)} = 7.3 \text{ buah} = 8 \text{ buah}$
- $As \text{ pasang} = 8 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot (22^2) = 3039.52 \text{ mm}^2$
- $As \text{ pasang} > As \text{ perlu} = 3039.52 > 2777.6 \text{ (OK)}$

Maka tulangan lapangan bagian bawah digunakan **8D22**.

Untuk menentukan tulangan bagian atas digunakan perhitungan sebagai berikut :

- $As' = \frac{2777.6}{2} = 1388.8 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{1388.8}{0.25 \cdot 3.14 \cdot (22^2)} = 3.66 \text{ buah} = 4 \text{ buah}$

- $As\ pasang = 4 \times 0.25 \times 3.14 \times (22^2) = 1519.76\ mm^2$
- $As\ pasang > As\ perlu = 1519.76 > 1388.8\ mm^2$

Maka tulangan tumpuan bagian atas digunakan **4D22**. Jadi untuk penulangan pada lapangan digunakan **8D22** (Tulangan atas), dan **4D22** (Tulangan bawah).

4.3.2.2 Perencanaan tulangan geser atau sengkang

Pada balok 700 x 400 akan direncanakan tulangan geser atau sengkang dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Tulangan geser pada tumpuan

- $f_c' : 30\ Mpa$
- $f_{ys} : 240\ Mpa$
- Dimensi : 700 x 400 mm
- $\emptyset : 12\ mm$
- n kaki : 2 kaki
- $d = 700 - 65 = 635\ mm$
- $Av = 2 \times 0.25 \times 3.14 \times (12^2) = 227\ mm^2$
- $\emptyset = 0.75$
- $Vu = 407.67\ kN$
- $Vn = \frac{407670}{0.75} = 543560$

a. Kapasitas beton :

- $Vc = \frac{\sqrt{30}}{6 \times 400 \times 635} = 231869\ kN$
- $Vc = 231.869\ N$

- $V_s = V_n - V_c$
- $V_s = 543560 - 231869 = 311691 \text{ kN}$
- $V_s = 311.691 \text{ N}$

b. Kontrol zona sengkang :

- $0.5 V_c = 0.5 \times 231869 = 115934.5 \text{ kN}$
- $V_c = 231869 \text{ kN}$
- $3V_c = 3 \times 231869 = 695607 \text{ kN}$
- $5V_c = 5 \times 231869 = 1159345 \text{ kN}$

- Jarak sengkang 1 zona 2 :

- $115.9345 < V_n < 231.869$
- $\delta = \frac{16}{\sqrt{30}} < 3$
- $\delta = 2 < 3 \text{ (OK)}$
- $s < \frac{\delta A_v f_y}{b} = \frac{2 \times 227 \times 240}{400} = 272.4 \text{ mm}$
- $s < \frac{d}{2} = \frac{635}{2} = 317.5$
- $s < 600$
- $s_{min} = 272.4 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 2 zona 3 :

- $231.869 < V_n < 695.607$
- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 3635}{311691} = 111 \text{ mm}$
- $s < \frac{d}{2} = \frac{635}{2} = 317.5$
- $s < 600$
- $s_{min} = 111 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 3 zona 4 :
 - $695.607 < Vn < 1159.345$
 - $s < \frac{Av fy d}{Vs} = \frac{227 \times 240 \times 635}{311691} = 111 \text{ mm}$
 - $s < \frac{d}{4} = \frac{635}{4} = 158.75 \text{ mm}$
 - $s < 300$
 - $s_{min} = 111 \text{ mm}$

c. Jarak sengkang yang digunakan :

- $Vn = 543.560 \text{ N}$
- Maka digunakan zona 3 : $Vc < Vn < 3Vc$
- Batasan sengkang :
 - Zona 3 : $s < \frac{Av fy d}{Vs}, s_{max} = \frac{d}{2} < 600$
 - $s < \frac{Av fy d}{Vs} = \frac{227 \times 240 \times 635}{311691} = 111 \text{ mm}$
 - $s < \frac{d}{2} = \frac{635}{2} = 317.5$
 - $s < 600$
 - s perlu : 111 mm
 - digunakan : **Ø12-100** (dibulatkan ke bawah untuk mempermudah pekerjaan dilapangan)

2. Tulangan geser pada lapangan

- $\phi = 0.75$
- $Vu = 251.55 \text{ kN}$

- $V_n = \frac{251550}{0.75} = 335400$

a. Kapasitas beton :

- $V_c = \frac{\sqrt{30}}{6 \times 400 \times 635} = 231869 \text{ kN}$

- $V_c = 231.869 \text{ N}$

- $V_s = V_n - V_c$

- $V_s = 335400 - 231869 = 103531 \text{ kN}$

- $V_s = 103.531 \text{ N}$

b. Kontrol zona sengkang :

- $0.5 V_c = 0.5 \times 231869 = 115934.5 \text{ kN}$

- $V_c = 231869 \text{ kN}$

- $3V_c = 3 \times 231869 = 695607 \text{ kN}$

- $5V_c = 5 \times 231869 = 1159345 \text{ kN}$

- Jarak sengkang 1 zona 2 :

- $115.9345 < V_n < 231.869$

- $\delta = \frac{16}{\sqrt{30}} < 3$

- $\delta = 2 < 3 \text{ (OK)}$

- $s < \frac{\delta A_v f_y}{b} = \frac{2 \times 227 \times 240}{400} = 272.4 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{635}{2} = 317.5$

- $s < 600$

- $s_{min} = 272.4 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 2 zona 3 :

- $231.869 < V_n < 695.607$

- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 635}{103531} = 334 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{635}{2} = 317.5$

- $s < 600$

- $s_{min} = 317.5 \text{ mm}$

- Jarak sengkang 3 zona 4 :

- $695.607 < V_n < 1159.345$

- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 635}{103531} = 334 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{4} = \frac{635}{4} = 158.75 \text{ mm}$

- $s < 300$

- $s_{min} = 158.75 \text{ mm}$

- c. Jarak sengkang yang digunakan :

- $V_n = 283.533 \text{ N}$

- Maka digunakan zona 3 : $V_c < V_n < 3V_c$

- Batasan sengkang :

- Zona 3 : $s < \frac{A_v f_y d}{V_s}, s_{max} = \frac{d}{2} < 600$

- $s < \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{227 \times 240 \times 635}{103531} = 334 \text{ mm}$

- $s < \frac{d}{2} = \frac{635}{2} = 317.5$

- $s < 600$

- s perlu : 300 mm

- digunakan : **Ø12-300** (dibulatkan kebawah untuk

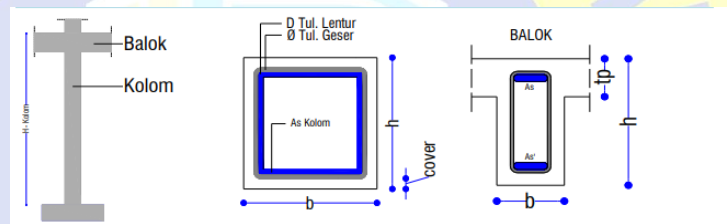
mempermudah pekerjaan dilapangan).

4.3.3 Penulangan Kolom

Pada analisis penulangan kolom struktur dilakukan analisis pada dua lokasi kolom, yaitu kolom pada posisi interior atau dalam ruangan dan pada posisi kolom eksterior atau kolom yang berada pada luar bangunan. Analisis ini berdasarkan syarat-syarat SNI 2847 2013 dengan metode SRPMK. Untuk analisis dilakukan seperti tahap dibawah ini.

4.3.3.1 Penulangan kolom interior

Pada kolom interior telah didapatkan dimensi pada desain renacana yaitu ukuran kolom 500x500mm, maka perhitungan penulanganya dapat dihitung seperti dibawah ini.



Gambar 4.9 : Gambar potongan kolom dan balok

1. Data yang dibutuhkan antara lain :

- H kolom : 4.5 m
- h : 500 mm
- b : 500 mm
- f_c : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- f_{ys} : 240 Mpa
- D tul. Long : 22 mm
- \emptyset tul. Seng : 12 mm

- selimut : 40 mm
- As balok : 1519.76 mm²
- As' balok : 759.88 mm²

2. Menentukan tulangan longitudinal dengan software PC Column.

- Kolom bawah :

- Pu : 1844 kN (Hasil analisis ETABS)
- fMnx : 307 kNm
- fMny : 130.9 kNm
- Tul pakai : **8D22**

- Kolom atas :

- Pu : 3666.68 kN (Hasil analisis ETABS)
- fMnx : 217.2 kNm
- fMny : 66.8 kNm
- Tul pakai : **8D22**

3. Cek syarat untuk *Strong Column Weak Beam*

- Data Balok :

- P balok : 6.9 m
- bw : 400 mm
- h balok : 600 mm
- D tul. lentur : 22 mm
- Ø tul. Seng : 10 mm
- cover : 40 mm
- tebal pelat : 110 mm

- tul. Pelat : 10 mm
- sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal 8.12.2 kontrol penulangan positif dengan balok T, dan lebar *flens*.

- $be_1 : \frac{1}{4} lb$

- $be_1 : \frac{1}{4} \times 6900$

- $be_1 : 1725 \text{ mm}$

- $be_2 : bw + (8t)$

- $be_2 : 400 + 8 \times 110$

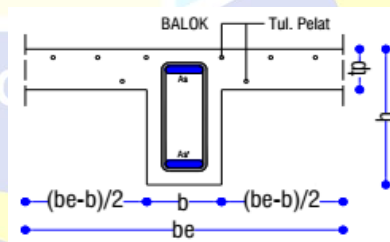
- $be_2 : 1280 \text{ mm}$

- $be_3 : 0.5 (lb - bw)$

- $be_3 : 0.5 \times 6900 - 400$

- $be_3 : 3250 \text{ mm}$

- $be : 1280 \text{ mm}$ (diambil yang terkecil)



Gambar 4.10 : Desain balok T sebagai kontrol

- $As \text{ balok} : As + (2 n_{tul\text{pelat}} AS_{pelat})$

- $As \text{ balok} : 2304.76 \text{ mm}^2$

- $y : As_{balok} (40 + \emptyset + D + \frac{D}{2}) + (5 \times 3.14 \times \emptyset^2) \times (20 + \frac{\emptyset}{2})$
 $+ (2 \times (\frac{3.14}{4}) \times \emptyset^2) \times (120 - 20 - \frac{\emptyset}{2})$

- $y : 78.23 \text{ mm}$

- d atas : 600 – 78.23
- d atas : 521.76 mm
- d bawah : 600-40-10-22/2
- d bawah : 539 mm
- Menentukan M_{nb+} :
 - \emptyset : 0.9
 - a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
 - a : 29.8 mm
 - $M_{nb+} : 0.9 \times 759.88 \times 400 \times 539 - \frac{29.8}{2}$
 - $M_{nb+} : 143371118.9 \text{ Nmm}$
 - $M_{nb+} : 143.37 \text{ kNm}$
- Menentukan M_{nb-} :
 - a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
 - a : $\frac{1519.76 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400}$
 - a : 59.6
 - $M_{nb-} : 0.9 \times 1519.76 \times 400 \times 539 - \frac{59.6}{2}$
 - $M_{nb-} : 278590245.1 \text{ Nmm}$
 - $M_{nb-} : 278.59 \text{ kNm}$
- $\sum M_{nb} : 143.37 + 278.59$
- $\sum M_{nb} : 421.96 \text{ kNm}$
- Dari analisis software PC Colum untuk $\sum Me$:
 - $\sum Me : 437.9 + 284$

- $\sum M_e : 721.9 \text{ kNm}$
- Kontrol untuk Strong Column Weak Beam
- $\sum M_e/\phi > 1.2\sum M_{nb}/\phi$
- $1110.62 > 562.61$ (Memenuhi)

Maka kolom dengan dimensi 500x500mm, dapat disyaratkan sebagai *strong column weak beam*.

4. Menentukan daerah L_0 sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal

21.6.4.1

- $h : 500 \text{ mm}$
- $1/6 L_n : \frac{1}{6} \times 3500$
- $1/6 L_n : 583 \text{ mm}$
- digunakan : 583 mm
- dibulatkan : 650 mm

5. Menentukan spasi transversal pada daerah L_0 sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal 21.6.4.3

- $1/4 \text{ bterkecil} : \frac{1}{4} \times 500$
- $1/4 \text{ bterkecil} : 125 \text{ mm}$
- 6 db : 6x22
- 6 db : 132 mm
- $h_x : 0.5 \left(b - 2 \left(40 + \frac{\phi}{2} \right) \right)$
- $h_x : 0.5x \left(500 - 2x40 + \left(\frac{12}{2} \right) \right)$
- $h_x : 204 \text{ mm}$

$$- \text{sx} \quad : 100 + \frac{350 - hx}{3}$$

$$- \text{sx} \quad : 100 + 350 - \frac{204}{3}$$

$$- \text{sx} \quad : 148.66 \text{ mm}$$

$$- \text{digunakan} \quad : 125 \text{ mm}$$

$$- \text{dibulatkan} \quad : \mathbf{120} \text{ mm}$$

6. Menentukan pengekang pada kolom sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal 21.6.4.4(b)

$$- \text{hc} \quad : b - 2 \times \text{cover} - \emptyset$$

$$- \text{hc} \quad : 500 - 2 \times 40 - 12$$

$$- \text{hc} \quad : 408 \text{ mm}$$

$$- \text{Ach} \quad : (b - 2 \times \text{cover})^2$$

$$- \text{Ach} \quad : 500 - 2 \times 40^2$$

$$- \text{Ach} \quad : 176400 \text{ mm}^2$$

$$- \text{Ash} \quad : 0.3 \left(\frac{s \text{ hc fc}}{f_y} \right) \left(\left(\frac{A_g}{\text{Ach}} \right) - 1 \right)$$

$$- \text{Ash} \quad : 0.3 \times \left(\frac{(120 \times 408 \times 30)}{240} \right) \times \left(\left(\frac{500 \times 500}{176400} \right) - 1 \right)$$

$$- \text{Ash} \quad : 766.04 \text{ mm}^2$$

$$- \text{Ash} \quad : 0.9 \left(\frac{s \text{ hc fc}}{f_y} \right)$$

$$- \text{Ash} \quad : 0.09 \times \left(\frac{120 \times 408 \times 30}{240} \right)$$

$$- \text{Ash} \quad : 550.8 \text{ mm}^2$$

- Ash perlu : 550.8 mm² (digunakan yang terkecil)

- sengkang : Ø12 - 120

- n tul : $\frac{Ash}{As}$
- n tul : $\frac{550.8}{113.04}$
- n tul : 4.87 buah
- n tul : **5** buah
- Ash pakai : 565.2 mm²

7. Menentukan kebutuhan tulangan geser pada kolom.

- d bawah : $h - cover - \emptyset - \frac{D}{2}$
- d bawah : $500 - 40 - 12 - \frac{22}{2}$
- d bawah : 437 mm
- d atas : $500 - 78.23$
- d atas : 421.77 mm
- Untuk As' : 759.88 mm²
- a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
- a : $\frac{759.88 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400}$
- a : 29.8
- Mpr + : $0.9 \times 759.88 \times 400 \times 437 - \frac{29.8}{2}$
- Mpr + : 115468325.3 Nmm
- Mpr + : 115.47 kNm
- Untuk As : 1519.76 mm²
- a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
- a : $1 \frac{1519.76 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400}$

- a : 59.6 mm
- Mpr - : $0.9 \times 1519.76 \times 400 \times 421.77 - \frac{59.6}{2}$
- Mpr - : 214452117.8 Nmm
- Mpr - : 214.45 mm
- $\sum Mpr$: 115.47 + 214.45
- $\sum Mpr$: 329.92 kNm
- Vu : $\sum Mpr/Ln$
- Vu : 329.92/4.5
- Vu : 73.31555556 kN
- Ve : 2 Mpr/ Ln
- Ve : $2 \times 329.92/4.5$
- Ve : 146.6311111 kN
- 50% Ve > Vu : 73.31 < 73.31 (Tidak Memenuhi)
- Pu < (Ag fc)/20 : 1844 > 375 (Tidak Memenuhi)
- d kolom : 500 – 40 – 22
- d kolom : 438 mm
- Vc : $\left(1 + \left(\frac{Nu}{14Ag}\right)\right) \left(\frac{fc^{0.5}}{6}\right) bw d$
- Vc : $\left(1 + \left(\frac{1844}{(14 \times 202500)}\right)\right) \times \left(\frac{5.47}{6400}\right) \times 438$
- Vc : 105.03 kN
- Ash terpasang : 565.2 mm²
- Vs : $\frac{Ash fy d}{s}$

- V_s : $\frac{565.2 \times 400 \times 438}{120}$
- V_s : 825.19 kN
- $\phi(V_c + V_s) : 0.9 \times 105.03 + 825.19$
- $\phi(V_c + V_s) : 837.198$ kN
- $\phi(V_c + V_s) > V_u : 837.198 > 73.31$ (Memenuhi)

8. Penentuan penyaluran sambungan vertikal pada kolom, dan panjang minimum sambungan untuk lewatan tarik harus sesuai dengan syarat SNI 2847-2013 pasal 12.2.3 dan pasal

12.5.1

- Ψ_t : 1
- Ψ_s : 1
- Ψ_e : 1
- λ : 1
- K_{tr} : 0 (untuk penyederhanaan desain)
- c : 63 mm
- c : 40.5 mm
- $\frac{c + K_{tr}}{db} < 2.5 : 1.84 < 2.5$ (Memenuhi)
- l_d : $\left(\frac{f_y}{1.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \times \left(\frac{(\Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_s)}{\frac{(c + K_{tr})}{db}} \right) \right) \times db$
- $l_{d \text{ Sambungan A}} : \left(\frac{400}{1.1 \cdot 1 \cdot 5.47} \times \left(\frac{1 \times 1 \times 1}{1.84} \right) \right) \times 22$
- $l_{d \text{ Sambungan A}} : 793.8$ mm
- $l_{d \text{ sambungan B}} : 1.3 \times 793.8$
- $l_{d \text{ sambungan B}} : 1031.94$ mm

- digunakan : 793.8 mm
- digunakan : 790 mm
- As sengkang : 0.5 Ash
- As sengkang : 0.5x550.8
- As sengkang : 275.4
- dengan spasi = pada daerah l_0
- digunakan : **120** mm
- Sisa panjang kolom diluar l_0 , tetap menggunakan tulangan transversal dengan sapasi :

- $s < 6db$: 132 mm
- $s < 150$: 150 mm
- digunakan : 132 mm
- digunakan : **130** mm

9. Menentukan hubungan balok dan kolom

- b_w : 400 mm
- $3/4 b_w$ kolom : 375 mm
- V_{x-x} : $T1 + T2 - Vh$
- T1 : $A_{s_{balok}} \times 1.25 \times f_y$
- T1 : $1519.76 \times 1.25 \times 400$
- T1 : 759.88 kN
- T2 : $A_{s'_{balok}} \times 1.25 \times f_y$
- T2 : $759.88 \times 1.25 \times 400$
- T2 : 379.94 kN

- ΣMg : 421.96
- Mu : $\frac{\Sigma Mg}{2}$
- Mu : $\frac{421.96}{2}$
- Mu : 210.98 kNm
- Vh : $\frac{2Mu}{Ln}$
- Vh : $\frac{2 \times 421.96}{4.5}$
- Vh : 187.53 kN
- V_{x-x} : 759.88 + 379.94 – 187.53
- V_{x-x} : 952.28 kN
- ϕV_c : $\phi (1.7 f_c^{0.5} A_j)$
- ϕV_c : $0.9 \times 1.7 \times 30^{0.5} \times 250000$
- ϕV_c : 2095.03 kN
- $\phi V_c < V_{x-x}$: 2095.03 > 952.28

Karena $\phi V_c < V_{x-x}$: 2095.03 > 952.28 tidak perlu dilakukan perhitungan tulangan geser untuk hubungan kolom balok.

4.3.3.2 Penulangan kolom eksterior

Pada kolom eksterior telah didapatkan dimensi pada desain rencana yaitu ukuran kolom 600x600mm, maka perhitungan penulangannya dapat dihitung seperti dibawah ini.

1. Data yang dibutuhkan antara lain :

- H kolom : 4.5 m
- h : 600 mm
- b : 600 mm
- f_c : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- f_{ys} : 240 Mpa
- D tul. Long : 22 mm
- \varnothing tul. Seng : 12 mm
- selimut : 40 mm
- As balok : 2279.64 mm²
- As' balok : 1139.82 mm²

2. Menentukan tulangan longitudinal dengan software PC Column.

- Kolom bawah :

- Pu : 1856.6 kN (Hasil analisis ETABS)
- f_{Mnx} : 655.6 kNm
- f_{Mny} : 257.1 kNm
- Tul pakai : **12D22**

- Kolom atas :

- Pu : 3714.2 kN (Hasil analisis ETABS)
- f_{Mnx} : 566.3 kNm
- f_{Mny} : 215 kNm

- Tul pakai : **12D22**

3. Cek syarat untuk *Strong Column Weak Beam*

- Data Balok :

- P balok : 6.9 m
- bw : 400 mm
- h balok : 700 mm
- D tul. lentur : 22 mm
- Ø tul. Seng : 10 mm
- cover : 40 mm

- tebal pelat : 110 mm

- tul. Pelat : 10 mm

- sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal 8.12.2 kontrol penulangan positif dengan balok T, dan lebar *flens*.

- be 1 : $\frac{1}{4} lb$

- be 1 : $\frac{1}{4} \times 6900$

- be 1 : 1725 mm

- be 2 : $bw + (8t)$

- be 2 : $400 + 8 \times 110$

- be 2 : 1280 mm

- be 3 : $0.5 (lb - bw)$

- be 3 : $0.5 \times 6900 - 400$

- be 3 : 3250 mm

- be : 1280 mm (diambil yang terkecil)

- As balok : $As + (2 n_{tulpelet} As_{pelat})$
- As balok : 3064.64 mm^2
- y : $Asbalok (40 + \emptyset + D + \frac{D}{2}) + (5 \times 3.14 \times \emptyset^2) \times (20 + \frac{\emptyset}{2})$
 $+ (2 \times (\frac{3.14}{4}) \times \emptyset^2) \times (120 - 20 - \frac{\emptyset}{2})$
- y : 79.41 mm
- d atas : $700 - 79.41$
- d atas : 620.58 mm
- d bawah : $700 - 40 - 10 - 22/2$
- d bawah : 639 mm
- Menentukan M_{nb+} :
 - \emptyset : 0.9
 - a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
 - a : 44.7 mm
 - M_{nb+} : $0.9 \times 1139.82 \times 400 \times 639 - \frac{44.7}{2}$
 - M_{nb+} : 253033201 Nmm
 - M_{nb+} : 253.03 kNm
- Menentukan M_{nb-} :
 - a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
 - a : $\frac{2279.64 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400}$
 - a : 89.4
 - M_{nb-} : $0.9 \times 2279.64 \times 400 \times 639 - \frac{89.4}{2}$
 - M_{nb-} : 487724419 Nmm

- $M_{nb} - : 487.724 \text{ kNm}$
- $\sum M_{nb} : 253.03 + 487.724$
- $\sum M_{nb} : 740.754 \text{ kNm}$
- Dari analisis software PC Colum untuk $\sum Me :$
 - $\sum Me : 912.7 + 781.3$
 - $\sum Me : 1694 \text{ kNm}$
- Kontrol untuk *Strong Column Weak Beam*
 - $\sum Me/\emptyset > 1.2\sum Mnb/\emptyset$
 - $2606.15 > 987.67$ (Memenuhi)

Maka kolom dengan dimensi 600x600mm, dapat disyaratkan sebagai strong column weak beam.

4. Menentukan daerah L_0 sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal

21.6.4.1

- $h : 600 \text{ mm}$
- $1/6 L_n : \frac{1}{6} \times 3500$
- $1/6 L_n : 583 \text{ mm}$
- digunakan : 600 mm

5. Menentukan spasi transversal pada daerah L_0 sesuai syarat

SNI 2847 2013 pasal 21.6.4.3

- $1/4 \text{ bterkecil} : \frac{1}{4} \times 600$
- $1/4 \text{ bterkecil} : 150 \text{ mm}$
- $6 \text{ db} : 6 \times 22$

- 6 db : 132 mm
- hx : $0.5 \left(b - 2 \left(40 + \frac{\emptyset}{2} \right) \right)$
- hx : $0.5x \left(600 - 2x40 + \left(\frac{12}{2} \right) \right)$
- hx : 254 mm
- sx : $100 + \frac{350 - hx}{3}$
- sx : $100 + 350 - \frac{254}{3}$
- sx : 132 mm
- digunakan : 135 mm
- dibulatkan : **130 mm**

6. Menentukan pengekang pada kolom sesuai syarat SNI 2847 2013 pasal 21.6.4.4(b)

- hc : $b - 2 x cover - \emptyset$
- hc : $600 - 2x40 - 12$
- hc : 508 mm
- Ach : $(b - 2 x cover)^2$
- Ach : $600 - 2x40^2$
- Ach : 270400 mm²
- Ash : $0.3 \left(\frac{s hc fc}{fy} \right) \left(\left(\frac{Ag}{Ach} \right) - 1 \right)$
- Ash : $0.3x \left(\frac{(130x508x30)}{240} \right) x \left(\left(\frac{600x600}{270400} \right) - 1 \right)$
- Ash : 742.95 mm²
- Ash : $0.9 \left(\frac{s hc fc}{fy} \right)$

- Ash : $0.09x \left(\frac{130x508x30}{240} \right)$
- Ash : 742.95 mm²
- Ash perlu : 742.95 mm² (digunakan yang terkecil)
- sengkang : Ø12 - 130
- n tul : $\frac{Ash}{As}$
- n tul : $\frac{742.95}{113.04}$
- n tul : 6.57 buah
- n tul : 7 buah
- Ash pakai : 791.28 mm²

7. Menentukan kebutuhan tulangan geser pada kolom.

- d bawah : $h - cover - \emptyset - \frac{D}{2}$
- d bawah : $600 - 40 - 12 - \frac{22}{2}$
- d bawah : 537 mm
- d atas : 600 - 79.41
- d atas : 520.59 mm
- Untuk As' : 1139.82 mm²
- a : $\frac{As fy}{0.85 f c b}$
- a : $\frac{1139.82x400}{0.85x30x400}$
- a : 44.7
- Mpr + : $0.9x1139.82x400x537 - \frac{44.7}{2}$
- Mpr + : 211179011 Nmm

- Mpr + : 211.18 kNm
- Untuk As : 2279.64 mm²
- a : $\frac{As fy}{0.85 fc b}$
- a : $\frac{2279.64 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400}$
- a : 89.4 mm
- Mpr - : $0.9 \times 2279.64 \times 400 \times 520.59 - \frac{89.4}{2}$
- Mpr - : 390548837 Nmm
- Mpr - : 390.55 mm
- Σ Mpr : 211.18 + 390.55
- Σ Mpr : 601.73 kNm
- Vu : $\frac{\Sigma Mpr}{Ln}$
- Vu : $\frac{601.73}{4.5}$
- Vu : 133.71 kN
- Ve : $\frac{2 Mpr}{Ln}$
- Ve : $\frac{(2 \times 601.73)}{4.5}$
- Ve : 267.43 kN
- 50% Ve > Vu : 133.71 < 133.71 (Tidak Memenuhi)
- Pu < (Ag fc)/20 : 1856.6 > 540 (Tidak Memenuhi)
- d kolom : 600 – 40 – 22
- d kolom : 538 mm
- Vc : $\left(1 + \left(\frac{Nu}{14Ag}\right)\right) \left(\frac{fc^{0.5}}{6}\right) bw d$

$$- V_c : \left(1 + \left(\frac{1854}{(14 \times 36000)} \right) \right) \times \left(\frac{5.47}{6 \times 400} \right) \times 538$$

$$- V_c : 129.65 \text{ kN}$$

$$- A_{sh} \text{ terpasang} : 791.28 \text{ mm}^2$$

$$- V_s : \frac{A_{sh} f_y d}{s}$$

$$- V_s : \frac{791.28 \times 400 \times 538}{130}$$

$$- V_s : 1309.87 \text{ kN}$$

$$- \phi(V_c + V_s) : 0.9 \times 129.65 + 1309.87$$

$$- \phi(V_c + V_s) : 1295.568 \text{ kN}$$

$$- \phi(V_c + V_s) > V_u : 1295.568 > 133.71 \text{ (Memenuhi)}$$

8. Penentuan penyaluran sambungan vertikal pada kolom, dan panjang minimum sambungan untuk lewatan tarik harus sesuai dengan syarat SNI 2847-2013 pasal 12.2.3 dan pasal

12.5.1

$$- \Psi_t : 1$$

$$- \Psi_s : 1$$

$$- \Psi_e : 1$$

$$- \lambda : 1$$

$$- K_{tr} : 0 \text{ (untuk penyederhanaan desain)}$$

$$- c : 63 \text{ mm}$$

$$- c : 40.5 \text{ mm}$$

$$- \frac{c + K_{tr}}{d_b} < 2.5 : 1.84 < 2.5 \text{ (Memenuhi)}$$

- $l_d : \left(\frac{f_y}{1.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \times \left(\frac{(\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s)}{(c + k_{tr})}{d_b} \right) \right) \times d_b$

- $l_{d \text{ Sambungan A}} : \left(\frac{400}{1.1 \cdot 1 \cdot 5.47} \times \left(\frac{1 \times 1 \times 1}{1.84} \right) \right) \times 22$

- $l_d \text{ Sambungan A} : 793.8 \text{ mm}$

- $l_d \text{ sambungan B} : 1.3 \times 793.8$

- $l_d \text{ sambungan B} : 1031.94 \text{ mm}$

- digunakan : 793.8 mm

- digunakan : 790 mm

- As sengkang : 0.5 Ash

- As sengkang : 0.5×742.95

- As sengkang : 371.475

- dengan spasi = pada daerah l_0

- digunakan : **130 mm**

- Sisa panjang kolom diluar l_0 , tetap menggunakan tulangan transversal dengan sapasi :

- $s < 6d_b$: 132 mm

- $s < 150$: 150 mm

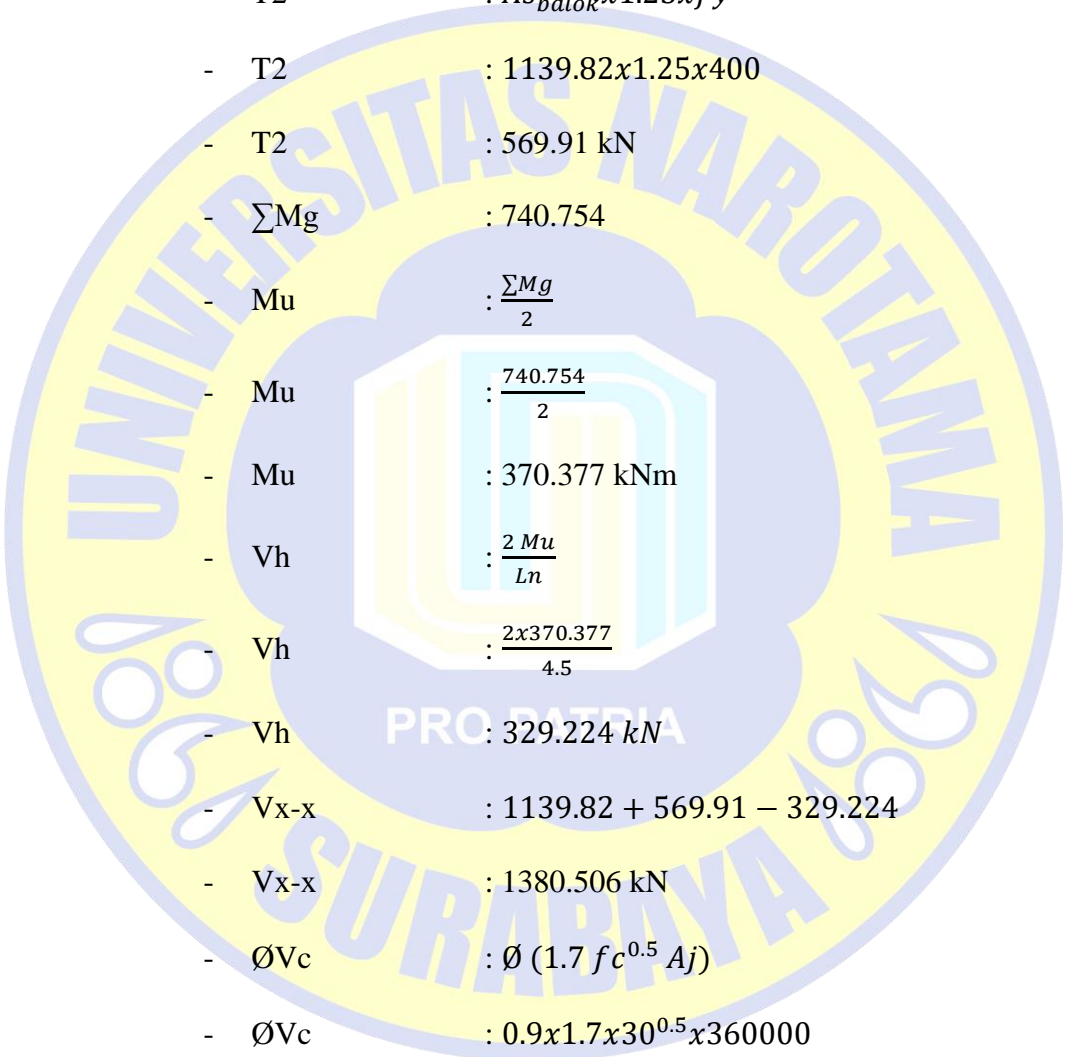
- digunakan : 132 mm

- digunakan : **130 mm**

9. Menentukan hubungan balok dan kolom

- b_w : 400 mm

- $3/4 b_w \text{ kolom}$: 450 mm



- $V_{x-x} : T1 + T2 - Vh$
 - $T1 : As_{balok} \times 1.25 \times fy$
 - $T1 : 2279.64 \times 1.25 \times 400$
 - $T1 : 1139.82 \text{ kN}$
 - $T2 : As'_{balok} \times 1.25 \times fy$
 - $T2 : 1139.82 \times 1.25 \times 400$
 - $T2 : 569.91 \text{ kN}$
 - $\sum Mg : 740.754$
 - $Mu : \frac{\sum Mg}{2}$
 - $Mu : \frac{740.754}{2}$
 - $Mu : 370.377 \text{ kNm}$
 - $Vh : \frac{2 Mu}{Ln}$
 - $Vh : \frac{2 \times 370.377}{4.5}$
 - $Vh : 329.224 \text{ kN}$
 - $V_{x-x} : 1139.82 + 569.91 - 329.224$
 - $V_{x-x} : 1380.506 \text{ kN}$
 - $\emptyset Vc : \emptyset (1.7 f_c^{0.5} A_j)$
 - $\emptyset Vc : 0.9 \times 1.7 \times 30^{0.5} \times 360000$
 - $\emptyset Vc : 3016.85 \text{ kN}$
 - $\emptyset Vc < V_{x-x} : 3016.85 > 1380.506$

Karena $\phi V_c < V_{x-x} : 3016.85 > 1380.506$ tidak perlu dilakukan perhitungan tulangan geser untuk hubungan kolom balok.

Dari perhitungan diatas maka dapat disimpulkan untuk kebutuhan besi tulangan pada kolom interior ukuran 500x500mm dan kolom eksterior dengan ukuran 600x600mm, dapat dilihat pada table dibawah ini.

| Posisi : | Pada Lo | Luar Lo | HBK |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Dimensi : | 500x500 | 500x500 | 500x500 |
| Tul. Lentur | 8D22 | 8D22 | 8D22 |
| Tul. Geser : | $\phi 12 - 120$ | $\phi 12 - 120$ | $\phi 12 - 120$ |

Tabel 4.5 : Kebutuhan besi tulangan kolom 500x500mm

| Posisi : | Pada Lo | Luar Lo | HBK |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Dimensi : | 600x600 | 600x600 | 600x600 |
| Tul. Lentur | 12D22 | 12D22 | 12D22 |
| Tul. Geser : | $\phi 12 - 130$ | $\phi 12 - 130$ | $\phi 12 - 130$ |

Tabel 4.6 : Kebutuhan besi tulangan kolom 600x600mm

4.3.4 Analisis penulangan *Shearwall*

Shearwall atau biasa disebut dengan dinding geser, pada pembahasan ini diposisikan atau diletakkan di dua area yaitu di area lift dan area tangga yang posisinya berseberangan agar dapat menahan gaya gempa yang terjadi. Untuk perhitungan penulangan yang dibutuhkan pada *shearwall* ini adalah sebagai berikut.

1. Data awal :

- f_c : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- h : 200 mm

- hw : 28.7 m (tinggi keseluruhan dinding)
- lw : 15 m (panjang keseluruhan dinding)
- V_u : 3754 kN
- N_u : 0 kN
- d : $0.8 lw$
- d : $0.8 * 15000$
- d : 12000 mm
- hw : 28700 mm
- lw : 15000 mm
- $hw/2$: $\frac{28700}{2}$
- $hw/2$: 14350 mm
- $lw/2$: $\frac{15000}{2}$
- $lw/2$: 7500 mm
- L : 7500 mm
- z : $\frac{hw - lw}{2}$
- z : 28700 - 7500
- z : 21200 mm
- \emptyset : 0.75
- M_u : 3754×21.2
- M_u : 79584.8 kNm

2. Kontrol nilai V_u sesuai syarat SNI 2847-2013 pasal 11.9.3

- $V_u : \phi \left(\frac{5}{6} \right) \sqrt{f_c} h d$
- $V_u : 0.75 \times \left(\frac{5}{6} \right) \times 5.47 \times 200 \times 1200$
- $V_u : 8215838.363 \text{ N}$
- $V_u : 8215.83 \text{ kN}$
- $V_{c1} : 0.27 \lambda \sqrt{f_c} h d + \left(\frac{N_u d}{4 l w} \right)$
- $V_{c1} : 0.27 \times 1 \times 5.47 \times 200 \times 12000 + \left(\frac{0 \times 12000}{4 \times 15000} \right)$
- $V_{c1} : 3549242.173 \text{ N}$
- $V_{c2} : \left(\frac{P+Q}{R} \right) (h d)$
- $P : 0.05 \lambda \sqrt{f_c}$
- $P : 0.05 \times 1 \times 5.47$
- $P : 0.273$
- $Q : l w \left(0.1 \lambda \sqrt{f_c} + \left(0.2 \left(\frac{N_u}{l w h} \right) \right) \right)$
- $Q : 15000 \times 0.1 \times 1 \times \sqrt{30} + 0.2 \times \left(\left(\frac{0}{15000} \right) \times 200 \right)$
- $Q : 8215.83$
- $R : \left(\frac{M_u}{V_u} \right) - \left(\frac{l w}{2} \right)$
- $R : \frac{79584.8000}{3754} - 7500$
- $R : 13700$
- $V_{c2} : \left(\frac{0.273 + 8215.83}{13700} \right) \times 200 \times 12000$
- $V_{c2} : 2096538.023 \text{ N}$
- $V_c : 2096538.02 \text{ N}$

- $\phi V_c/2 : \frac{0.75 \times 2096538.02}{2}$
- $\phi V_c/2 : 786201.75 \text{ N}$
- $\phi V_c/2 : 786.20 \text{ kN} < 3754 \text{ kN}$

Karena nilai V_u melebihi dari ϕV_c , maka sesuai syarat SNI 2847-2013 pasal 19.9.9.1 maka harus dihitung untuk kebutuhan tulangan gesernya. Untuk perhitungan tulangan geser horizontal dapat disajikan seperti dibawah.

3. Menentukan tulangan geser horizontal

- $V_u : \phi V_c + \phi V_s$
- $V_s : (A_v f_y d)/s$
- $A_v/s : (V_u - \phi V_c) / (\phi f_y d)$
- $A_v/s : \frac{3754000 - 0.75 \times 2096538.02}{0.75 \times 400 \times 12000}$
- $A_v/s : 0.606$
- Digunakan besi dengan diameter :
- $D : 13 \text{ mm}$
- $A_v : 132.665 \text{ mm}^2$
- $s : \frac{2 \times 132.665}{0.606}$
- $s : 437.838 \text{ mm}$
- $s : 400 \text{ (dibulatkan)}$
- Jarak maksimum spasi vertikal pada tulangan horizontal
- $l_w/5 : \frac{15000}{5}$
- $l_w/5 : 3000 \text{ mm}$

- 3h : 3 * 200
- 3h : 600 mm
- 450 mm : 450 mm
- s max : 450 mm
- digunakan : **2D13 – 400**
- Kontrol terhadap rasio penulangan
 - Ag : h x s
 - Ag : 200 x 400
 - Ag : 80000 mm²
 - $\rho_h : \frac{A_v}{A_s}$
 - $\rho_h : \frac{2 \times 132.665}{80000}$
 - $\rho_h : 0.0033$
 - menurut SNI 2847-2013 ps 11.9.9.2 rasio tulangan geser horizontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal, tidak boleh kurang dari 0.0025
 - $\rho_h > \rho_h \text{ min} : 0.0033 > 0.0025$ (Memenuhi)

4. Menentukan tulangan geser vertikal

- min pl : $0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{hw}{lw} \right) (\rho_h - 0.0025)$
- min pl : $0.0025 + 0.5 \times \left(2.5 - \left(\frac{28700}{15000} \right) \right) \times 0.0033 - 0.0025$
- min pl : 0.0027
- Asumsi digunakan tulangan diameter :
 - D : 13 mm

- A_v : 132.665 mm²

- s : $\frac{2 \times 132.665}{200 \times 0.0027}$

- s : 484.25

- s : 480 mm

- $lw/5$: $\frac{15000}{5}$

- $lw/5$: 3000 mm

- $3h$: 3 x 200

- $3h$: 600 mm

- 450mm : 450 mm

- s_{max} : 450 mm

- digunakan : **2D13 – 480**

5. Desain penguat lentur vertikal

- M_u : $V_u \times h_w$

- M_u : 3754 x 28700

- M_u : 107739800 kNm

- Apabila b adalah tebal dinding dan nilai d mendekati $0.8lw$, maka :

- F_c : 30 Mpa

- f_y : 400 Mpa

- b : 200 mm

- d : 12000 mm

- A : $\frac{f_y}{1.7 f_c b}$

- A : $\frac{400}{1.7 \times 30 \times 200}$

- A : 0.039
- B : -12000
- C : $\frac{Mu}{0.9 \times fy}$
- C : $\frac{107739800000}{0.9 \times 400}$
- C : 299277222
- As : 27397.76 mm²
- Digunakan :
- D : 29 mm
- As : 660.185 mm²
- n : $\frac{27391.76}{660.185}$
- n : 41.49 buah
- n : 42 buah
- digunakan : **42D29**

4.3.5 Analisis penulangan tangga

Pada analisis tangga gedung ini diasumsikan dengan bentuk model yang sama, sehingga perhitungan tulangan tangga dapat direncanakan sebagai berikut.

1. Data yang dibutuhkan :

- fc' : 30 Mpa
- fy : 400 Mpa
- Tinggi : 320 cm
- Tinggi Optrade : 18 cm

- Jumlah Optrade : $\frac{320}{18}$
- Jumlah Optrade : 17.77777778
- Jumlah Optrade : 18 buah
- Bagian bawah : $9 \times 18 = 162$ cm
- Bagian atas : $9 \times 18 = 162$ cm

2. Cek syarat tangga :

- $2 O + 1 A$: 65 cm
- $2 * 18 + A$: 65 cm
- A : $65 - 2 \times 18$
- A : 29 cm
- Panjang antrede : 261
- a : $31.51 < 45$ (Memenuhi)
- Lebar tangga : 120 cm
- $\sin a$: 0.52
- $\cos a$: 0.85

3. Penulangan pada tangga :

a. Penulangan pelat tangga :

- Tebal plat : 120 mm
- Penutup beton : 20 mm
- tulangan : 12 mm
- f_c : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- β : 0.84

- d : 120 – 20 – 0,5x12

- d : 94 mm

- Tulangan Tumpuan A

- Mu : 12.90 kNm

- Mu : 1289669 Nmm

- ρ_b : $\left(\frac{0,85 f_c \beta}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

- ρ_b : $\left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,84}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right)$

- ρ_b : 0.032

- ρ_{min} : $\frac{1,4}{f_y}$

- ρ_{min} : $\frac{1,4}{400}$

- ρ_{min} : 0.0035

- ρ_{max} : $0,75 \times \rho_b$

- ρ_{max} : $0,75 \times 0,032$

- ρ_{max} : 0.024

- m : $\frac{f_y}{0,85 f_c}$

- m : $\frac{400}{0,85 \times 30}$

- m : 15.69

- Mn : $\frac{Mu}{\phi}$

- Mn : $\frac{1289669}{0,8}$

- Mn : 1612086.25

- Rn : $\frac{Mn}{b d^2}$

- Rn : $\frac{1612086.25}{1000 \times 94^2}$
- Rn : 0.18
- ρ : $\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2m Rn}{f_y}} \right)$
- ρ : $\left(\frac{1}{15.69} \right) \times (1 - 0.99)$
- ρ : 0.00045
- ρ min : 0.0035
- As : $0.0035 \times 1000 \times 94$
- As : 329 mm²
- digunakan : **Ø12 – 100 mm**
- Tulangan tumpuan B
- Mu : 9.19 kNm
- Mu : 918662 Nmm
- ρ_b : $\left(\frac{0.85 f_c \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
- ρ_b : $\left(\frac{0.85 \times 30 \times 0.84}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$
- ρ_b : 0.032
- ρ_{min} : $\frac{1.4}{f_y}$
- ρ_{min} : $\frac{1.4}{400}$
- ρ_{min} : 0.0035
- ρ_{max} : $0.75 \times \rho_b$
- ρ_{max} : 0.75×0.032
- ρ_{max} : 0.024

- m : $\frac{fy}{0,85 fc}$
- m : $\frac{400}{0,85 \times 30}$
- m : 15.69
- Mn : $\frac{Mu}{\emptyset}$
- Mn : $\frac{918662}{0.8}$
- Mn : 1148327.5
- Rn : $\frac{Mn}{b d^2}$
- Rn : $\frac{1148327.5}{1000 \times 94^2}$
- Rn : 0.13
- ρ : $\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2m Rn}{fy}} \right)$
- ρ : $\left(\frac{1}{15.69} \right) \times (1 - 0.99)$
- ρ : 0.00033
- ρ min : 0.0035
- As : $0.0035 \times 1000 \times 94$
- As : 329 mm²
- digunakan : **Ø12 – 150 mm**
- Tulangan pembagi
 - As : 0,002xbxh
 - As : 0.002x1500x120
 - As : 360
 - digunakan : **Ø10 – 150 mm**

b. Penulangan pelat bordes :

- f_c : 25 Mpa
- f_y : 350 Mpa
- tulangan : 12 mm
- tebal pelat : 120 mm
- selimut : 20 mm

- d : $120 - 20 - 0.5 \times 12$

- d : 94 mm

- Tulangan tumpuan C :

- M_u : 2.96 kNm

- M_u : 295831 Nmm

- k : $\frac{M_u}{\phi b d^2}$

- k : $\frac{295831}{0.8 \times 1000 \times 1279161}$

- k : 0

- ρ_{min} : $\frac{1.4}{f_y}$

- ρ_{min} : $\frac{1.4}{350}$

- ρ_{min} : 0.004

- ρ_{max} : $0.75 \times \rho_b$

- ρ_{max} : 0.75×0

- ρ_{max} : 0

- m : $\frac{f_y}{0.85 f_c}$

- m : $\frac{350}{0.85 \times 25}$

- m : 16.47

- Mn : $\frac{Mu}{\phi}$

- Mn : $\frac{295831}{0.8}$

- Mn : 369788.75

- Rn : $\frac{Mn}{b d^2}$

- Rn : $\frac{369788.75}{1000 \times 94^2}$

- Rn : 0.04

- ρ : $\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m Rn}{f_y}} \right)$

- ρ : $\left(\frac{1}{16.47} \right) \times (1 - 0.998)$

- ρ : 0.00011

- ρ_{min} : 0.004

- As : $0.004 \times 1000 \times 94$

- As : 376

- digunakan : $\text{Ø}12 - 150 \text{ mm}$

- Tulangan lapangan :

- Mu : 7.78 kNm

- Mu : 778000 Nmm

- ρ_b : $\left(\frac{0.85 f_c \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$

- ρ_b : $\left(\frac{(0.85 \times 30 \times 0.84)}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$

- ρ_b : 0.032

- ρ_{min} : $\frac{1.4}{f_y}$

- ρ_{min} : $\frac{1.4}{400}$
- ρ_{min} : 0.0035
- ρ_{max} : $0,75 \times \rho_b$
- ρ_{max} : 0.75×0.032
- ρ_{max} : 0.024
- m : $\frac{f_y}{0,85 f_c}$
- m : $\frac{400}{0.85 \times 30}$
- m : 15.69
- M_n : $\frac{M_u}{\phi}$
- M_n : $\frac{778000}{0.8}$
- M_n : 972500
- R_n : $\frac{M_n}{b d^2}$
- R_n : $\frac{972500}{1000 \times 94^2}$
- R_n : 0.11
- ρ : $\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$
- ρ : $\left(\frac{1}{15.69} \right) \times (1 - 0.99)$
- ρ : 0.00028
- ρ_{min} : 0.0035
- A_s : $0.0035 \times 1000 \times 94$
- A_s : 329 mm^2
- digunakan : **Ø120 – 150 mm**

- Tulangan pembagi
- A_s : $0,002xbxh$
- A_s : $0.002x1500x120$
- A_s : 360
- digunakan : $\text{Ø}10 - 150$ mm

c. Penulangan balok bordes :

- f_c : 30 Mpa
- f_y : 400 Mpa
- Dimensi : 500x300 mm
- Tulangan : 22 mm
- Sengkang : 12 mm
- Selimut : 40 mm
- D : 500 – 40 – 12 – 11
- D : 437 mm
- Penulangan *longitudinal* :
- W_u : 35.60 kN
- M_u : 38.66 kNm
- k : $\frac{M_u}{\phi b d^2}$
- k : $\frac{3866600}{0.8x300x190969}$
- k : 0.084
- ρ_{min} : $\frac{1,4}{f_y}$
- ρ_{min} : $\frac{1,4}{400}$

- ρ_{min} : 0.0035
- ρ_{max} : $0,75 \times \rho_b$
- ρ_{max} : 0.75×0.084
- ρ_{max} : 0.063
- m : $\frac{f_y}{0,85 f_c}$

- m : $\frac{400}{0,85 \times 30}$

- m : 15.69

- M_n : $\frac{M_u}{\phi}$

- M_n : $\frac{3866600}{0.8}$

- M_n : 4833250

- R_n : $\frac{M_n}{b d^2}$

- R_n : $\frac{4833250}{1000 \times 437^2}$

- R_n : 0.03

- ρ : $\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$

- ρ : $\left(\frac{1}{15.69} \right) \times (1 - 0.998)$

- ρ : 0.00008

- ρ_{min} : 0.0035

- A_s : $0.0035 \times 1000 \times 437$

- A_s : 1529.5 mm^2

- n : $\frac{A_s}{0,25 \times 3,14 \times d^2}$

- n : 4

- digunakan : **4D22**

- Penulangan geser :

- D : 435 mm

- A_v : $2 \times 0.25 \times 3.14 \times (12^2)$

- A_v : 227 mm^2

- \emptyset : 0.75

- V_u : 268

- V_n : V_u / \emptyset

- V_n : $268000 / 0.75$

- V_n : 357,333.33

- Kapasitas beton

- V_c : $\frac{f_c^{0.5}}{6 \times b \times d}$

- V_c : $\frac{30^{0.5}}{6 \times 300 \times 435}$

- V_c : 119130 kN

- V_c : 119.13 N

- V_s : $V_n - V_c$

- V_s : $357333.33 - 119130$

- V_s : 238203.3333 kN

- V_s : 238.2033333 N

- $0.5 V_c$: $\frac{119130}{2}$

- $0.5 V_c$: 59565

- V_c : 119130

- $3 V_c$: 3×119130
- $3 V_c$: 357390
- $5 V_c$: 5×119130
- $5 V_c$: 595650
- Cek zona jarak sengkang :
 - V_n : 357,333 N
 - Zona (3) : $V_c < V_n \leq 3V_c$
 - Batasan Sengkang : $s \leq (A_v f_y d)/V_s$ $s_{max} = d/2 \leq 600$
 - Zona (3) = $119130 < 357333.33 < 357390$
 - $s \leq (A_v f_y d)/V_s$: 99
 - $s_{max} = d/2 \leq 600$: 217.5
 - $s \leq 600$
 - s perlu : 99
 - digunakan : 100
 - Gunakan Sengkang : $\text{Ø}12 - 100$ mm

4.3.6 Analisis penulangan pondasi dan tiang pancang

4.3.6.1 Analisis penulangan *poer* atau *pilecap*

Data yang dibutuhkan dalam analisis penulangan *poer* atau *pilecap*, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Data awal

- Kedalaman rencana tiang pancang 12m
- Diameter tiang pancang 50 cm
- Keliling tiang pancang 157 cm
- Luas tiang pancang 1956.5 cm^2
- Selimut beton 65 mm
- $f_c' : 30 \text{ Mpa}$
- $f_y : 400 \text{ Mpa}$

2. Menghitung daya dukung ijin pondasi

- $P : \left(\frac{Q_u + Q_{si}}{3} \right)$

- $P : \frac{(40 \times N \times A_p) + (q_{si} \times A_{si})}{3}$

- $Q_u : (40 \times N_b \times A_p)$

- $N_b : \frac{N_1 + N_2}{2}$

- $N_{b1} : \frac{20 + 51}{2}$

- $N_{b1} : 35.5$

- $N_{b2} : \frac{51 + 25}{2}$

- $N_{b2} : 38$

- $N_b : \frac{35.5 + 38}{2}$

- $N_b : 36.75$

- $A_p : \frac{1}{4} \times 3.14 \times d^2$

- $A_p : \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.5^2$
- $A_p : 0.19625$
- $Q_u : (40 \times N_b \times A_p)$
- $Q_u : 40 \times 36.75 \times 0.19625$
- $Q_u : 288.487 \text{ ton}$
- Daya dukung satu tiang pancang berdasarkan SPT
 - $P : \left(\frac{Q_u + Q_{si}}{3} \right)$
 - $P : \frac{288.4875 + 253.869}{3}$
 - $P : 180.79 \text{ ton}$
 - $Q_b : 183,5 \text{ ton}$
 - $Q_{bahan} > Q_{ijin}$
 - $183.5 > 180.79 \text{ (Memenuhi)}$

3. Desain pondasi *poer* atau *pilecap*

- Akibat beban 1.2DL + 1.6LL
 - $P : 493673.65 \text{ kg}$
 - $M_x : 1220 \text{ kgm}$
 - $M_y : 134.25 \text{ kgm}$
- Akibat beban 1DL + 1 LL + 1 RspX
 - $P : 385854 \text{ kg}$

- M_x : 954 kgm
- M_y : 3.7 kgm
- Akibat 1DL + 1 LL + 1 RspY
 - P : 385858 kg
 - M_x : 954 kgm
 - M_y : 113 kgm
- Diasumsikan bahwa dalam 1 pilecap terdapat 4 tiang pancang
 - nilai efisiensi :
 - $n : 1 - \theta \frac{((n-1)m + (m-1)n)}{90 m n}$
 - $n : 1 - 37.56 x \frac{(1 x 2) + (2 - 1) x 2}{90 x 2 x 2}$
 - $n : 0.58$
 - Pijin tanah : $0.625 \times \text{Pijin tanah} < \text{P ijin bahan}$
 - Pijin tanah : $0.625 \times 180790 < \text{Pijin bahan}$
 - Pijin tanah : $112993.75 < 183500$ Memenuhi
 - Beban nominal yang bekerja :
 - $B_s \text{ poer} : 3 \times 3 \times 1 \times 2400 : 21600 \text{ kg}$
 - Aksial kolom : $\frac{385854 \text{ kg} + 407454 \text{ kg}}{4}$
 - $n : \frac{\sum P}{P_{ijin}}$
 - $n : \frac{407454}{112993.75} : 3.61 \text{ buah}$
 - $n : 4 \text{ buah}$
 - diameter tiang pancang : 50 cm

- Syarat jarak antar tiang pancang (s) :

- s1 : 2.5 x 50
: 125 cm

- s2 : 3 x 50
: 150 cm

- s : 150 cm

- Syarat jarak tepi poer ke tiang (s')

- s1' : 1.5 x 50
: 75 cm

- s2' : 2 x 50
: 100 cm

- s' : 75 cm

- Perencanaan tebal poer

- Ld' : $0.07 \times \left(\frac{A \times \sigma_{au} \times f_y}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \right) > 0.0065 \times d \times \sigma_{au}$

- Ld' :

$$0.07 \times \left(\frac{4.9107 \times 0.87 \times 4000}{17.32} \right) > 0.0065 \times 2.5 \times 0.87 \times 4000$$

- Ld' : 69.07 > 56.55

: 69.07 = 70 cm

- Panjang penyaluran :

- Ld : 70 x 1.4 x 0.8

- Ld : 78.4 cm

: 80 cm

- σ_{kait} : $K \times \sqrt{\sigma'_{bk}}$
- K : $0.035 \times \sigma_{au} < 100$
: $0.035 \times 0.87 \times 4000 < 100$
: $121.8 > 100$
- K : 100 (digunakan yang terkecil)
- σ_{kait} : 100×17.32
: 1732.05 kg/cm^2
- Panjang penyalur ekivalen Ld'_{ek} :
- Ld'_{ek} : $0.07 \times \left(\frac{A \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \right) > 0.0065 \times d \times \sigma_{au}$
- Ld'_{ek} :
 $0.07 \times \left(\frac{4.9107 \times 1732.05}{17.32} \right) > 0.0065 \times 2.5 \times 0.87 \times 4000$
- Ld'_{ek} : $34.37 < 69.07$
- Ld'_{ek} : 34.37 cm
: 35 cm
- Panjang penjangkaran :
- L jangkar : $Ld - Ld'_{ek}$
: $80 - 35$
: 45 cm
- tebal poer : $45 \times 2 = 90 \text{ cm}$
- Perencanaan tulangan lentur poer :

- Dimensi rencana : $2 \times 2 \times 0.9$ m

- n tiang : 4 buah

- f_c : 30 Mpa

- f_y : 4000 Mpa

- D : 25 mm

- d' : 65 mm

- h : 1000 mm

- d_x : 922.5 mm

- d_y : 897.5 mm

- \emptyset : 0.9

- Penulangan poer arah X :

- q_u : $2 \times 1 \times 2400$

: 4800 kg/m

- P1 : 385854 kg

- Momen yang terjadi pada poer :

- M_u : $-M_q + M_p$

- M_u : $-\left(\frac{1}{2} \times q_u \times l^2\right) + (P \times \text{jarak tiang ke tepi})$

: $-\left(\frac{1}{2} \times 4800 \times 1.5^2\right) + (385854 \times 0.75)$

- M_u : 283990.5 kgm

: 2839905000 Nmm

- M_n : $\frac{M_u}{\emptyset}$

- M_n : $\frac{2839905000}{0.9}$

$$: 3155450000 \text{ Nmm}$$

$$- R_n : \frac{M_n}{b d^2}$$

$$: \frac{3155450000}{2000 \times 922.5^2}$$

$$: 1.85$$

$$- m : \frac{f_y}{0.85 f_c}$$

$$: \frac{400}{0.85 \times 30}$$

$$: 15.69$$

$$- \rho \text{ perlu} : \frac{1}{m} \left(1 - \left(\sqrt{1 - \left(\frac{2m R_n}{f_y} \right)} \right) \right)$$

$$: \left(\frac{1}{15.69} \right) \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 1.85}{4000}} \right) \right)$$

$$- \rho \text{ perlu} : 0.00481$$

$$- \rho \text{ balance} : \left(\frac{0.85 \times f_c \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$: \left(\frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$: 0.032513$$

$$- \rho \text{ min} : \frac{1.4}{f_y}$$

$$: \frac{1.4}{400}$$

$$: 0.0035$$

$$- \rho \text{ max} : 0.6 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$: 0.0195078$$

$$- 0.0035 < 0.00481 < 0.0195078$$

$$- \rho \text{ min} : 0.00481$$

$$- A_s : \rho \times b \times d$$

$$: 0.00481 \times 2000 \times 922.5$$

$$- A_s : 8874.45 \text{ mm}^2$$

$$- A_s : 0.25 \times 3.14 \times 25^2$$

$$: 490.625 \text{ mm}^2$$

$$- S : \frac{0.25 \times 3.14 \times D^2 \times b}{A_s}$$

$$: \frac{0.25 \times 3.14 \times 25^2 \times 2000}{8874.45}$$

$$: 110.57 \text{ mm}$$

$$- S : 110 \text{ mm}$$

$$- \text{dipasang} : \mathbf{D25 - 110 \text{ mm}}$$

- Penulangan poer arah Y

$$- q_u : 2 \times 1 \times 2400$$

$$: 4800 \text{ kg/m}$$

$$- P_1 : 385858 \text{ kg}$$

- Momen yang terjadi pada poer :

$$- M_u : -M_q + M_p$$

$$: -\left(\frac{1}{2} \times q_u \times l^2\right) + (P \times \text{jarak tiang ke tepi})$$

$$: -\left(\left(\frac{1}{2}\right) \times 4800 \times 1.5^2\right) + (385854 \times 0.75)$$

$$- M_u : 283990.5 \text{ kgm}$$

$$: 2839905000 \text{ Nmm}$$

$$- M_n : \frac{M_u}{\phi}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Mn} & : \frac{2839905000}{0.9} \\
 - \text{ Mn} & : 3155450000 \text{ Nmm} \\
 - \text{ Rn} & : \frac{Mn}{b d^2} \\
 & : \frac{3155450000}{2000 \times 922.5^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : 1.85 \\
 - \text{ m} & : \frac{fy}{0.85 fc} \\
 & : \frac{400}{0.85 \times 30} \\
 & : 15.69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \rho \text{ perlu} & : \left(\frac{1}{m} \right) \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{(2m Rn)}{fy}} \right) \right) \\
 & : \left(\frac{1}{15.69} \right) \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 1.85}{4000}} \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$- \rho \text{ perlu} : 0.00481$$

$$\begin{aligned}
 - \rho \text{ balance} & : \left(\frac{0.85 \times fc \times \beta}{fy} \right) \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\
 & : \left(\frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)
 \end{aligned}$$

$$- \rho \text{ balance} : 0.032513$$

$$- \rho \text{ min} : \frac{1.4}{fy}$$

$$: \frac{1.4}{400}$$

$$- \rho \text{ min} : 0.0035$$

$$- \rho \text{ max} : 0.6 \times \rho_{balance}$$

$$: 0.0195078$$

- $0.0035 < 0.00481 < 0.0195078$
- $\rho \text{ min} \quad : 0.00481$
- $A_s \quad : \rho \times b \times d$
 $\quad : 0.00481 \times 2000 \times 922.5$
- $A_s \quad : 8874.45 \text{ mm}^2$
- $A_s \quad : 0.25 \times 3.14 \times 25^2$
- $A_s \quad : 490.625 \text{ mm}^2$
- $S \quad : \frac{0.25 \times 3.14 \times D^2 \times b}{A_s}$
 $\quad : \frac{0.25 \times 3.14 \times 25^2 \times 2000}{8874.45}$
 $\quad : 110.57 \text{ mm}$
- $S \quad : 110 \text{ mm}$
- dipasang $\quad : \mathbf{D25 - 110 \text{ mm}}$

4.3.7 Analisis penulangan sloof

Sloof merupakan bagian dari struktur yang berfungsi sebagai sabuk untuk mengikat antar kolom agar kaku. Untuk mencari penulangan pada sloof, dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Penulangan pada :

- $f_c \quad : 30 \text{ Mpa}$
- $f_y \quad : 400 \text{ Mpa}$
- $h \quad : 600 \text{ mm}$
- $b \quad : 300 \text{ mm}$
- $d' \quad : 40 \text{ mm}$
- $\beta \quad : 0.84$

- Tulangan Tumpuan :

- Mu : 8956 kgm

- d : 600 – 40

: 560 mm

- ρ min : $\frac{1.4}{f_y}$

: 1.4/400

: 0.0035

- ρ balance : $\left(\frac{0.85 \times f_c \times \beta}{f_y}\right) \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

: $\left(\frac{0.85 \times 30 \times 0.84}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right)$

: 0.03213

- ρ max : 0.75 ρ_{balance}

: 0.75 x 0.03213

: 0.0240975

- Mn : $\frac{Mu}{\phi}$

: $\frac{89560000}{0.9}$

: 9951111.11 Nmm

- Rn : $\frac{Mu}{b d^2}$

: $\frac{(9951111.11)}{300 \times 560^2}$

: 0.11

$$\begin{aligned}
 - m &: \frac{f_y}{0.85 f_c} \\
 &: \frac{400}{0.85 \times 30} \\
 &: 15.68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \rho &: \left(\frac{1}{m} \right) \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \right) \\
 &: \left(\frac{1}{9.41} \right) \times 1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 15.68 \times 0.11}{400}} \right) \\
 &: 0.00027
 \end{aligned}$$

$$- \rho_{\min} : 0.00027$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As perlu} &: \rho_{\min} \times b \times d \\
 &: 0.00027 \times 300 \times 560 \\
 &: 46.30 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As} &: \frac{89560000}{0.9 \times 400 \times 560} \\
 &: 444.25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - n &: \frac{444.25}{0.25 \times 3.14 \times 13^2} \\
 &: 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- digunakan : **4D13** (tul atas)

$$\begin{aligned}
 - \text{As pasang} &: 4 \times 0.25 \times 3.14 \times 13^2 \\
 &: 530.66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As}' &: \frac{530.66}{2} \\
 &: 265.33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- n : $\frac{198.9975}{0.25 \times 3.14 \times 13^2}$
: 2 buah
- digunakan : **2D13** (tul bawah)
- As pasang : $2 \times 0.25 \times 3.14 \times 13^2$
: 265.33 mm^2

- Tulangan pada lapangan :

- Mu : 9565 kgm
- d : $600 - 40$
: 560 mm

- ρ_{\min} : $\frac{1.4}{f_y}$
: $1.4/400$
: 0.0035

- ρ_{balance} : $\left(\frac{0.85 \times f_c \times \beta}{f_y}\right) \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$
: $\left(\frac{0.85 \times 30 \times 0.84}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right)$
: 0.03213

- ρ_{\max} : $0.75 \rho_{\text{balance}}$
: 0.75×0.03213
: 0.0240975

- Mn : $\frac{Mu}{\phi}$
: $\frac{95650000}{0.9}$
: 11956250 Nmm

$$\begin{aligned}
 - R_n &: \frac{Mu}{b d^2} \\
 &: \frac{(11956250)}{300 \times 560^2} \\
 &: 0.13
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - m &: \frac{fy}{0.85 fc} \\
 &: \frac{400}{0.85 \times 30} \\
 &: 15.68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \rho &: \left(\frac{1}{m} \right) \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{fy}} \right) \right) \\
 &: \left(\frac{1}{9.41} \right) \times 1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 15.68 \times 0.13}{400}} \right) \\
 &: 0.00032
 \end{aligned}$$

$$- \rho_{\min} : 0.00032$$

$$- A_s : \frac{95650000}{0.9 \times 400 \times 560}$$

$$: 474.45 \text{ mm}^2$$

$$- n : \frac{444.25}{0.25 \times 3.14 \times 13^2}$$

$$: 4 \text{ buah}$$

- digunakan : **4D13** (tul atas)

$$- A_s \text{ pasang} : 4 \times 0.25 \times 3.14 \times 13^2$$

$$: 530.66 \text{ mm}^2$$

$$- A_s' : \frac{530.66}{2}$$

$$: 265.33 \text{ mm}^2$$

- n : $\frac{198.9975}{0.25 \times 3.14 \times 13^2}$
- : 2 buah
- digunakan : **2D13** (tul bawah)
- As pasang : $2 \times 0.25 \times 3.14 \times 13^2$
- : 265.33 mm^2

- Penulangan geser

- d : $600 - 65$
- : 535 mm

- Av : $2 \times 0.25 \times 3.14 \times (12^2)$
- : 227

- Geser tumpuan :

- Ø : 0.75

- Vu : 325

- Vn : $\frac{Vu}{\phi}$
- : $\frac{325000}{0.75}$

: 433333.33

- Kapasitas beton

- Vc : $\frac{f_c^{0.5}}{6 \times b \times d}$
- : $\frac{(30^{0.5})}{6 \times 300 \times 535}$

: 146516 kN

: 146.516 N

- $V_s : V_n - V_c$
 $: 433333.33 - 146516$
 $: 286817.33 \text{ kN}$
 $: 286.8173333 \text{ N}$
- $0.5 V_c : \frac{146516}{2}$
 $: 73258$
- $V_c : 146516$
- $3V_c : 3 \times 146516$
 $: 439548$
- $5 V_c : 5 \times 146516$
 $: 732580$
- $V_n : 433333 \text{ N}$
- Zona (3) : $V_c < V_n \leq 3V_c$
- Batasan Sengkang : $s \leq (A_v f_y d)/V_s$ $s_{max} = d/2 \leq 600$
- Zona (3) : $146516 < 433333.333333333 < 439548$
- $s \leq (A_v f_y d)/V_s : 102 \text{ mm}$
- $s_{max} : d/2 \leq 600 : 267.5 \text{ mm}$
- $s \leq 600$
- s perlu : 102 mm
- Gunakan Sengkan : $\text{Ø}12 - 100 \text{ mm}$.
- Geser lapangan :
 - $\text{Ø} : 0.75$
 - $V_u : 212.65$

$$\begin{aligned}
 - \quad V_n &: \frac{V_u}{\phi} \\
 &: \frac{212650}{0.75} \\
 &: 283533.33
 \end{aligned}$$

- Kapasitas beton

$$\begin{aligned}
 - \quad V_c &: \frac{f_c^{0.5}}{6x b x d} \\
 &: \frac{30^{0.5}}{6x300x535} \\
 &: 146516 \text{ kN} \\
 &: 146.516 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad V_s &: V_n - V_c \\
 &: 283533.33 - 146516 \\
 &: 13701733 \text{ kN} \\
 &: 137.017 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad 0.5 V_c &: \frac{146516}{2} \\
 &: 73258
 \end{aligned}$$

$$- \quad V_c : 146516$$

$$\begin{aligned}
 - \quad 3V_c &: 3 \times 146516 \\
 &: 439548
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad 5 V_c &: 5 \times 146516 \\
 &: 732580
 \end{aligned}$$

$$- \quad V_n : 283533 \text{ N}$$

$$- \quad \text{Zona (3)} : V_c < V_n \leq 3V_c$$

$$- \quad \text{Batasan Sengkang} : s \leq (A_v f_y d) / V_s \quad s_{\max} = d/2 \leq 600$$

- Zona (3) : $146516 < 433333.33 < 439548$
- $s \leq (A_v f_y d) / V_s : 213 \text{ mm}$
- $s_{\max} : d/2 \leq 600 : 267.5 \text{ mm}$
- $s \leq 600$
- s perlu : 213 mm
- Gunakan Sengkan : $\text{Ø}12 - 200 \text{ mm}$

