

## BAB VII

### PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

Struktur primer merupakan elemen utama dalam sebuah bangunan yang terdiri dari kolom dan balok induk. Kekakuan dari komponen struktur dapat mempengaruhi perilaku bangunan, struktur primer direncanakan sebagai mempertimbangan kemungkinan terjadinya keruntuhan karena gaya gempa dapat diperkecil. Pada tugas akhir ini, gaya-gaya yang bekerja pada struktur gedung akan dianalisa dengan program bantu komputer berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019, SNI 2847-2019 dan SNI 1727-2020.

#### 7.1. Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan struktur Hotel Velins balok induk akan direncanakan sebagai struktur komposit, dimana balok akan menggunakan beton bertulang sehingga menghasilkan sifat gabungan antara beton dan baja untuk memikul beban tekan dan lentur. Momen – momen yang terjadi pada balok induk akan diperiksa dengan bantuan program komputer dengan mengambil momen terbesar yang terjadi pada balok.

##### 7.1.1. Perencanaan Balok Induk (B1)

Syarat batas penulangan pada balok penggantung lift rencana harus sesuai dengan SNI 2847-2019 tabel 22.2.2.4.3 karena  $f_c' = 35$  MPa, maka menggunakan  $28 < f_c' < 55$ . Sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f_c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03 = 0,023$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk  $f_y = 420$  MPa, maka menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

### 7.1.2. Penulangan Lentur Balok Induk (B1)

Tulangan lentur balok induk yang perlu dihitung yaitu ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang diperlukan serta kontrol sesuai SRPMK dengan data sebagai berikut:

Bentang balok induk (L) = 5000 mm

Lebar balok induk (b) = 400 mm

Tinggi balok induk (h) = 600 mm

Selimit beton (s) = 40 mm

Diameter tulangan utama = D22

Diameter tulangan sengkang = Ø14

Mencari tinggi efektif (dx) =  $600 - 40 - 14 - \frac{1}{2} \times 22 = 535$  mm

**Tabel 7.1** Momen Terbesar pada Balok Induk

Lokasi	Nilai
Momen Tumpuan	Mu = 20974,55 Kgm
Momen Lapangan	Mu = 5115,11 Kgm
Geser Tumpuan	Vu = 24518,54 Kgm

Momen<sub>tumpuan</sub> = 20974,55 kgm = 209745500 Nmm 245185,4 N

$$M_n = \frac{209745500}{0,8} = 262181875 \text{ Nmm}$$

$$X_{min} = d' = s + \text{Ø tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \text{Ø tulangan utama}$$

$$= 40 + 14 + \frac{1}{2} \cdot 22 = 65 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 0,75 \frac{600 \cdot 535}{600 + 420} = 236,03 \text{ mm}$$

$$X_{pakai} = 65 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 400 \cdot 65}{420} = 1565,42 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1565,42 \times 420 \times \left( 535 - \frac{0,85 \cdot 65}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 333587088,45 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 262181875 - 333587088,45 = -71405213,45 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$  (tidak perlu tulangan tekan)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{262181875}{400 \cdot 535^2} = 2,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 2,3}{420}} \right) = 0,006$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 < 0,006 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,006$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,006 \times 400 \times 535 = 1284 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **5D22** ( $A_s = 1901 \text{ mm}^2$ )

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1901 = 950,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D22** ( $A_s = 1521 \text{ mm}^2$ )

### Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1901}{400 \times 535} = 0,0089$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1901 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 67,09 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1901 \cdot 420 \left( 535 - \frac{67,09}{2} \right) = 400371701,1 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n$  yang bekerja =  $400371701,1 \text{ Nmm} > 262181875 \text{ Nmm}$  (OK)

### Daerah Lapangan

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = 5115,11 \text{ kgm} = 51151100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{51151100}{0,8} = 63938875 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 14 + \frac{1}{2} \cdot 22 = 65 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \frac{600 \cdot 535}{600+420} = 236,03 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 65 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 400 \cdot 65}{420} = 1565,42 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1565,42 \times 420 \times \left( 535 - \frac{0,85 \cdot 65}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 333587088,45 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 63938875 - 333587088,45 = -269648213,5 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$  (tidak perlu tulangan tekan)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{63938875}{400 \cdot 535^2} = 0,558$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,558}{420}} \right) = 0,0013$$

$\rho < \rho_{\min} = 0,0013 < 0,0018$ , maka pakai  $\rho = 0,0018$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 400 \times 535 = 385,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D22** ( $A_s = 1521 \text{ mm}^2$ )

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1521 = 760,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D22** ( $A_s = 1140 \text{ mm}^2$ )

### Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1521}{400 \times 535} = 0,0071$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1521 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 53,68 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1521 \cdot 420 \left( 535 - \frac{53,68}{2} \right) = 324622771,2 \text{ Nmm}$$

$$M_n > M_n \text{ yang bekerja} = 324622771,2 \text{ Nmm} > 63938875 \text{ Nmm (OK)}$$

### 7.1.3. Persyaratan Detail Komponen Lentur

Berdasarkan SNI 2847-2019 untuk memenuhi persyaratan SRPMK, yang membentuk sistem penahan gaya gempa yang diproporsikan untuk menahan lentur harus memenuhi syarat pendetailan sebagai berikut:

#### SNI 2847-2019 pasal 18.6.1

- 1) Bentang bersih  $\ell_n \geq 4 \times$  tinggi efektif

$$5000 - 2 \times (0,5 \times 600) \geq 4 \times 535 \text{ mm}$$

$$4400 \geq 2140 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- 2) Perbandingan lebar/tinggi balok

$$b_w \geq 0,3h$$

$$400 \geq 0,3 \times 600$$

$$400 \geq 180 \quad (\text{OK})$$

$$b_w \geq 250 \text{ mm}$$

$$400 \geq 250 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- 3) Jarak pada masing-masing sisi komponen struktur yang sama atau lebih kecil dari:

- a. Lebar komponen struktur  $C_2 = 600 \text{ mm}$

- b.  $0,75 \times C_2 = 0,75 \times 600 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$  (dipakai)

#### SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1

- 1) Luas tulangan  $A_{s_{\min}}$  tidak boleh kurang dari (SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2):

$$a. A_{s_{\min}} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35}}{420} \cdot 400 \cdot 535 = 753,60 \text{ mm}^2$$

$$b. A_{s_{\min}} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{1,4}{420} \cdot 400 \cdot 535 = 713,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Luas tulangan yang dipakai yaitu  $A_s = 1901 \text{ mm}^2$  maka syarat ini dapat terpenuhi

- 2) Syarat batas rasio penulangan  $\rho < 0,025$

Syarat ini terpenuhi karena menggunakan  $\rho = 0,005$ , tidak lebih kecil dari  $\rho_{\min}$  dan tidak melebihi  $\rho_{\max} = 0,025$  (OK)

- 3) Harus disediakan paling sedikit 2 tulangan menerus pada sisi atas dan bawah. Syarat ini terpenuhi dengan jumlah tulangan pada daerah lapangan dan tumpuan sesuai dan melebihi syarat minimal. (OK)

#### **SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.2**

- 1) Momen positif pada muka *joint* harus lebih besar atau sama dengan  $\frac{1}{2}$  momen negatif.

$$209745500 \text{ Nmm} \geq \frac{1}{2} (-209745500) \text{ Nmm}$$

$$209745500 \text{ Nmm} \geq -104872750 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

- 2) Momen positif atau negatif  $\geq \frac{1}{4}$  momen maksimum pada *joint*, untuk syarat ini diambil momen terkecil pada tengah bentang.

$$186101500 \text{ Nmm} \geq \frac{1}{4} (51151100) \text{ Nmm}$$

$$186101500 \text{ Nmm} \geq 12787775 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

- 3) Jika tulangan longitudinal balok melewati *joint* balok-kolom, dengan itu dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok harus  $> 20 \times$  diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

Tinggi efektif balok induk  $> 20$  tulangan longitudinal balok terbesar

$$535 \text{ mm} > 20 \times 22 \text{ mm}$$

$$535 \text{ mm} > 440 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- 4) Penyusunan tulangan balok induk (B1)

Jarak minimum antar 2 batang tulangan 22 mm, dengan minimum lebar balok yang diperlukan sebagai berikut:

$$\text{Lebar balok sengkang: } b_w - (2.S) - (2. \phi_{\text{sengkang}}) = 400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 14)$$

$$\text{Lebar balok sengkang} = 400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 14) = 292 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan 5D22 yang terdapat pada 1 lapis dipasang 5 buah tulangan:

$$\text{Jarak dibutuhkan: } (5 \times 22) + (4 \times 22) = 198 \text{ mm} < 292 \text{ mm}$$

Dengan itu 1 lapis dapat dipasang 5 tulangan

#### **7.1.4. Penulangan Geser Balok Induk (B1)**

Nilai gaya geser ( $V_u$ ) yang dihitung dengan perhitungan manual akan dibandingkan dengan hasil *output* program bantu komputer. Nilai  $V_u$  SAP 2000 berdasarkan pada gaya-gaya yang terjadi dibandingkan dengan nilai  $V_u$  yang sesuai peraturan berdasarkan tulangan terpasang yang telah di detail dengan SNI 2847-2019.

**a. Gaya geser hasil *output* program bantu komputer**

Gaya geser pada program bantu komputer diperoleh dari gaya gempa yang dihitung dengan statik ekuivalen dikali 2 sehingga didapatkan hasil ( $V_u$ ) = 245185,4 N

**b. Gaya geser pada SNI 2847-2019**

Gaya geser desain ( $V_e$ ) ditentukan dari evaluasi gaya statis pada bagian komponen struktur antar muka-muka *joint*. Oleh karena itu dapat diasumsikan bahwa momen reaksi berhubungan dengan gaya lentur yang dapat mempengaruhi permukaan sambungan ( $M_{pr}$ ). Komponen tersebut dikenai beban gravitasi lateral terfaktor sepanjang bentangnya.

Kuat geser balok induk pada beban rencana harus sesuai dengan syarat SNI 2847-2019 tidak boleh kurang dari:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{V_u \cdot l_n}{2}$$

Keterangan:

$M_{pr}$  = momen nominal diujung balok

$l_n$  = bentang bersih balok

$V_u$  = beban gravitasi triburary terfaktor

**Perhitungan  $M_{pr}^+$**

Mencari nilai  $M_{pr1.2}^+$  (atas)

Tulangan pada ujung kiri balok  $A_s = 5D22 = 1901 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25 f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1901 \cdot 1,25 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 83,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1.2}^+ &= A_s \cdot 1,25 f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1901 \times 1,25 \times 420 \left( 535 - \frac{83,87}{2} \right) \\ &= 492091196,63 \text{ Nmm} = \mathbf{492,091 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Mencari nilai  $M_{pr}^-$  (bawah)

Tulangan pada ujung kiri balok  $A_s = 4D22 = 1521 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25 f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1521 \cdot 1,25 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 67,10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_s \cdot 1,25 f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1521 \times 1,25 \times 420 \left( 535 - \frac{67,10}{2} \right) \\ &= 400420361,25 \text{ Nmm} = \mathbf{400,420 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

### Mencari nilai beban terfaktor (Wu)

(Wu) adalah beban yang telah diekuivalenkan seperti pada perhitungan beban balok anak lantai:

Beban mati

Beban mati (DL) = 402 kg/m<sup>2</sup>

Q ekuivalen = DL x bentang balok terlebar x  $\frac{2}{3}$  x 2

$$= 402 \times 5 \times \frac{2}{3} \times 2$$

$$= 2680 \text{ kg/m}$$

Berat balok (B1) = 0,4 x 0,6 x 2400

$$= 576 \text{ kg/m}$$

W beban mati = **2680 + 576 = 3256 kg/m**

Beban hidup

Beban hidup (LL) = 250 kg/m<sup>2</sup>

Q ekuivalen = LL x bentang balok terlebar x  $\frac{2}{3}$  x 2

$$= 250 \times 5 \times \frac{2}{3} \times 2$$

$$= \mathbf{1666,7 \text{ kg/m}}$$

Kombinasi beban

Wu = 1,2DL + 1,0LL

$$= 1,2(3256) + 1,0(1666,7)$$

$$= 5573,9 \text{ kg/m}$$

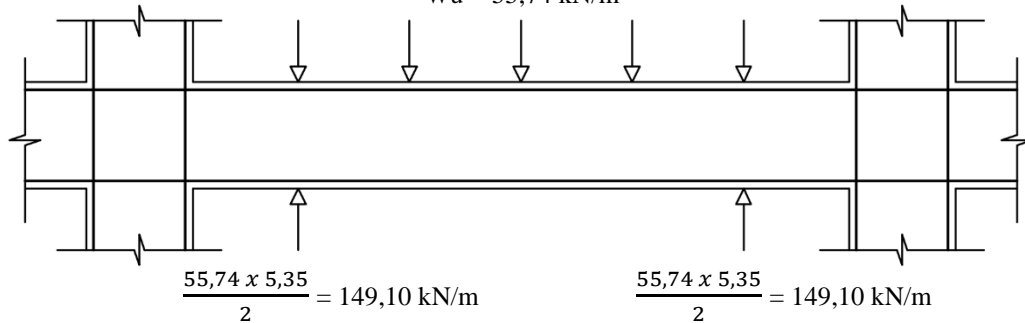
$$= \mathbf{55,74 \text{ kN/m}}$$



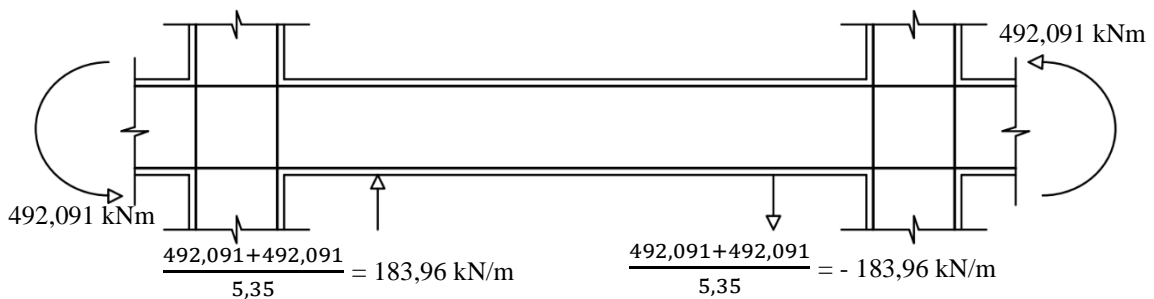
### Gaya Geser Gravitasi

$$W_u = 1,2DL + 1,0LL$$

$$W_u = 55,74 \text{ kN/m}$$



### Gaya Geser Gempa



### Gaya Geser Gravitasi + Geser Gempa



**Gambar 7.1** Gaya Geser Gravitasi dan Geser Gempa Balok Induk

Nilai gaya geser rencana terbesar dapat diambil dari Gambar 7.1 diatas yaitu  $V_u = 333,06 \text{ kN}$ , gaya geser dapat diambil tanpa harus memperhatikan arah yang terjadi.

#### c. Gaya geser Rencana Digunakan

Gaya geser yang digunakan merupakan hasil dari nilai terbesar gaya geser desain dalam SAP 2000 dan gaya geser menurut SNI 2847-2019.

Gaya geser rencana pada SAP 2000 : Gaya geser rencana sesuai dengan SNI 2847-2019

$$245185,4 \text{ N} < 333060 \text{ N}$$

Dengan itu gaya geser rencana yang digunakan yaitu gaya geser rencana sesuai dengan SNI 2847-2019  $V_u = 333060 \text{ N}$

Pada SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 tulangan transversal harus didesain untuk menahan gaya geser dengan asumsi  $V_c = 0$ , jika:

- 1) Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.

Gempa pada sisi kiri  $> \frac{1}{2} \times$  (beban gravitasi + gempa)

$$492,091 \text{ kN} > \frac{1}{2} \times 333,06 \text{ kN}$$

$$492,091 \text{ kN} > 166,53 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- 2) Gaya tekan aksial terfaktor ( $P_u$ ), termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 20$ , sehingga diperoleh sebagai berikut:

$$P_u < A_g f_c' / 20$$

$$7509,6 \text{ N} < (600 \times 400) (35) / 20$$

$$7509,6 \text{ N} < 420.000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Kedua syarat sudah dipenuhi maka  $V_c$  dapat diasumsikan  $= 0$ . Perhitungan penulangan geser pada balok sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 11.5.1.1

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

Keterangan:

$$\phi = 0,75 \text{ (faktor reduksi kuat geser SNI 2847-2019 pasal 21.2.1)}$$

$$V_n = \text{kuat geser nominal}$$

$$V_c = \text{kuat geser nominal oleh beton}$$

$$V_s = \text{kuat geser nominal oleh tulangan geser}$$

$$V_u = \text{gaya geser terfaktor}$$

Perhitungan  $V_s$

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{333060}{0,75} - 0 = 444080 \text{ N}$$

Jarak spasi maksimum harus sesuai SNI 2847-2019 pasal 10.7.6.5.2

$$V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$444080 \text{ N} \leq 0,33 \sqrt{35} \times 400 \times 535$$

$$444080 \text{ N} > 417793,55 \text{ N}$$

Syarat:

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

$$0,75 (0 + 444080 \text{ N}) \geq 333060 \text{ N}$$

$$333060 \geq 333060 \text{ N} \quad (\text{Dibutuhkan tulangan geser})$$

Pada perencanaan balok induk ini perlu diberi tulangan geser tegak lurus dengan sumbu komponen struktur sesuai SNI 2847-2019 pasal 11.5.4.8, menggunakan persamaan berikut:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s}$$

Jarak sengkang perlu ( $s$ ) dihitung dengan:

$$s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_s}$$

Diameter sengkang menggunakan D14 dan menggunakan 2 kaki, sehingga nilai  $A_v$ :

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 14^2 = 307,72 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{307,72 \cdot 420 \cdot 535}{444080} = 155,70 \text{ mm}$$

### 7.1.5. Syarat Detail Komponen Lentur

Syarat pendetailan sengkang harus dilakukan sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.1, sebagai berikut:

a. Sengkang pengekang harus dipasang:

- 1) 2 x tinggi komponen struktur dari muka penumpu ke arah tengah bentang di kedua ujung komponen lentur :  $2 \times h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$

Jarak wajib pemberian sengkang dari muka tumpuan sepanjang 120 cm pada masing-masing ujung.

- 2) 2 x tinggi komponen struktur pada kedua sisi penampang, dimana pelelehan lentur terjadi didalam hubungan akibat perpindahan inelastisitas rangka.

$$2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$$

Jarak wajib pemberian sengkang dari muka tumpuan sepanjang 120 cm pada masing -masing ujung. Sengkang tertutup maupun sengkang terbuka boleh digunakan selama tiap sisi penampang terlindungi oleh sengkang.

- b. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak boleh melebihi 50 mm dari muka penumpu, diambil jarak 50 mm. oleh karena itu spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1)  $\frac{d}{4} = \frac{535}{4} = 133,75 \text{ mm}$

2)  $6 \times \text{diameter tulangan longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$

3) 150 mm

- c. Jika sengkang tertutup diperlukan, maka spasi batang tulangan lentur yang tertumpu secara transversal  $\leq 350 \text{ mm}$ .

Digunakan sengkang tertutup, jadi jarak sengkang  $\leq 350 \text{ mm}$ .

- 1) Jarak sengkang tumpuan

$$133,75 < s = 155,70 \text{ mm}$$

Ambil jarak sengkang tumpuan 100 mm

- 2) Sengkang tumpuan

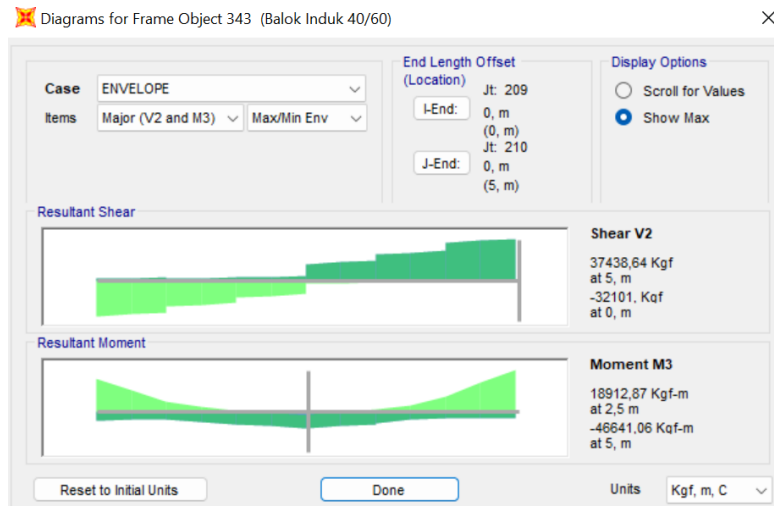
a) Pakai sengkang Ø14-100mm (sengkang sendi plastis)

b) Menggunakan sengkang 2 kaki

c) Dipasang sejauh 1200 mm dari muka tumpuan, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan pada 50 mm dari muka tumpuan.

d) Jumlah sengkang =  $\frac{1200-50}{120} + 1 = 10,6 \approx 11$  buah, pada masing – masing ujung.

Untuk mengetahui sengkang lapangan bentang  $> 1200\text{mm}$ , diambil nilai  $V_u$  terbesar dari *output* SAP 2000 yaitu  $V_u = 37438,64 \text{ kg} = 374,386 \text{ kN}$  seperti pada Gambar 7.2.



**Gambar 7.2** Gaya Dalam pada SAP 2000

Mencari nilai  $V_c$

$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$ , maka:

$$V_c = \left( 0,16 \lambda \sqrt{f_c'} + 17 \cdot p_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b_w \cdot d$$

$$V_c = \left( 0,16 \lambda \sqrt{f_c'} + 17 \cdot \frac{A_s}{b_w \cdot d} \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b_w \cdot d$$

$$V_c = \left( 0,16 \times 1 \sqrt{35} + 17 \cdot \frac{1521}{400 \cdot 535} \cdot \frac{374386,4 \cdot 535}{189128700} \right) 400 \cdot 535$$

$$V_c = 229950,42 \text{ N}$$

Mencari nilai  $V_s$

$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$ , maka:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{374386,4}{0,75} - 229950,42 = 269231,45 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 11.5.4.8 menyatakan bahwa perencanaan balok induk ini perlu diberi tulangan geser tegak lurus dengan sumbu komponen struktur, dengan persamaan berikut:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s}$$

Jarak sengkang perlu (s) dihitung dengan:

$$s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_s}$$

Diameter sengkang menggunakan  $\emptyset 14$  dan menggunakan 2 kaki, sehingga nilai  $A_v$ :

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 14^2 = 307,72 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{307,72 \cdot 420 \cdot 535}{269231,45} = 256,82 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.6 menyatakan sengkang harus dipasang sepanjang bentang balok dengan spasi tidak boleh melebihi  $d/2 = 535/2 = 267,5 \text{ mm}$ , maka:

1) Jarak sengkang lapangan

$$267,5 \text{ mm} < s = 256,82 \text{ mm}$$

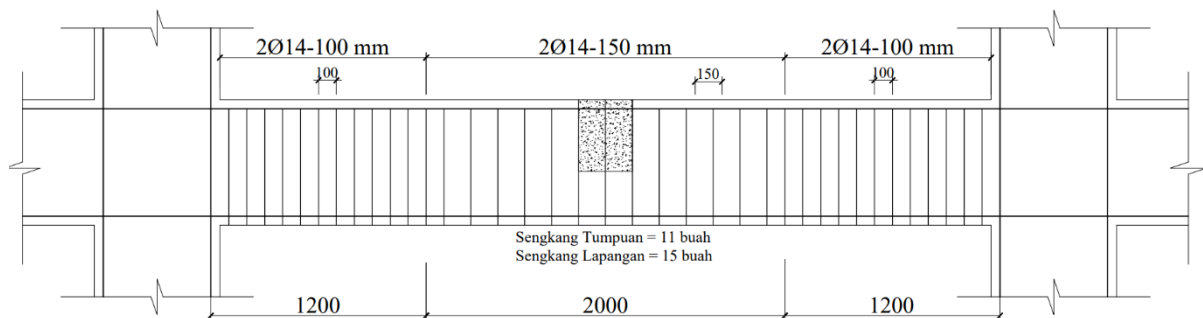
Ambil jarak sengkang lapangan 150 mm

2) Sengkang lapangan

a. Pakai sengkang  $\emptyset 14$ -150 mm

b. Menggunakan sengkang 2 kaki

c. Jumlah sengkang =  $\frac{4400 - (2 \times 1200)}{150} + 1 = 14,3 \approx 15$  buah sengkang



**Gambar 7.3** Pemasangan Sengkang Balok Induk (B1)

### 7.1.6. Penulangan Torsi Balok Induk (B1)

Subbab ini akan membahas terkait penulangan torsi balok induk, dengan perencanaan sebagai berikut:

$$T_u = 950,57 \text{ kgm} = 9505700 \text{ Nmm (output SAP 2000)}$$

$$V_u = 333060 \text{ N}$$

$$A_{cp} = 400 \times 600 = 240000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (400 + 600) = 2000 \text{ mm}$$

$$X_1 = 400 - 2(40 + 14/2) = 306 \text{ mm}$$

$$X_2 = 600 - 2(40 + 14/2) = 506 \text{ mm}$$

$$P_h = 2 \times (306 + 506) = 1624 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = 306 \times 506 = 154836 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 154836 = 131610,6 \text{ mm}^2$$

Pakai  $\theta = 45^\circ$ ,  $\cot \theta = 1$

$$d = 535 \text{ mm}$$

### Cek Keperluan Torsi

Tulangan torsi harus dicek menggunakan persyaratan pada SNI 2847-2019 pasal 22.7.4.1.

$$T_n = 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_n = 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$T_n = 14141797,11 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen torsi terfaktor } \phi T_n = 0,75 \times 14141797,11 = 10606347,83 \text{ Nmm}$$

Karena  $\phi T_n > T_u = 10606347,83 \text{ Nmm} > 9505700 \text{ Nmm}$ , maka torsi pada balok diabaikan.

### Cek Penampang Balok

Pengecekan penampang balok dapat dilakukan sesuai dengan persyaratan SNI 2847-2019 pasal 22.5.5.1

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 535 = 215226,98 \text{ N, maka:}$$

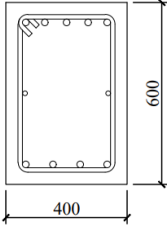
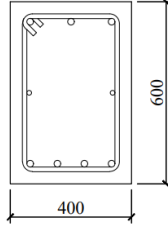
$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left( \frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f_c'} \right)$$

$$\sqrt{\left( \frac{333060}{400 \times 535} \right)^2 + \left( \frac{9505700 \times 1624}{1,7 \times 154836^2} \right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{215226,98}{400 \times 535} + 0,66 \sqrt{35} \right)$$

$$0,38 \text{ MPa} \leq 3,68 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

## Pasang Tulangan Torsi Minimum

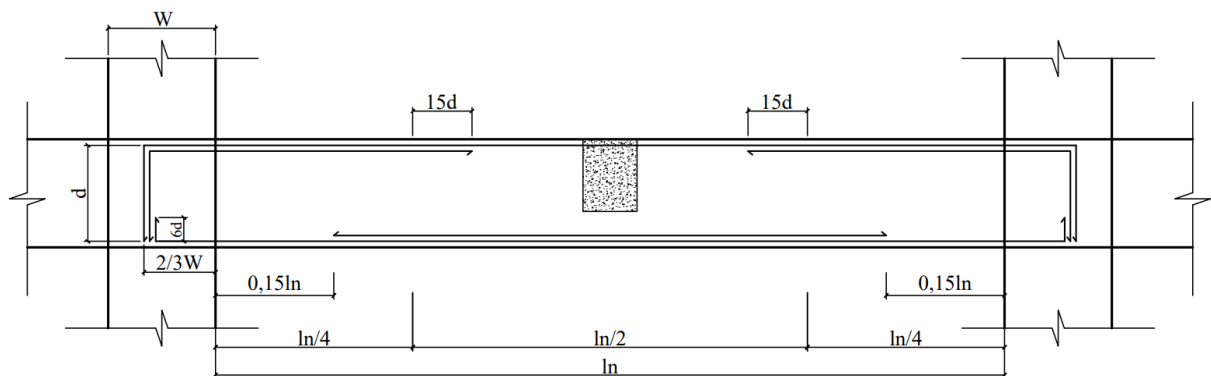
Dikarenakan perhitungan tulangan torsi diabaikan sehingga digunakan tulangan torsi praktis sebagai tulangan susut. Gunakan 2D12 di setiap sisi samping kiri dan kanan balok di bentang balok induk.

Tipe	Balok Induk 40/60	
	Tumpuan	Lapangan
Letak		
Sketsa		
Tulangan Atas	5D22	3D22
Tulangan Tengah	2D12	2D12
Tulangan Bawah	4D22	4D22
Sengkang	2Ø14-100	2Ø14-150

**Gambar 7.4** Detail Penulangan Balok Induk

### 7.1.7. Pemutusan Tulangan Balok Induk (B1)

Pada saat pemutusan tulangan balok, perlu diperhitungkan jarak tulangan yang harus diputuskan sehingga dapat mentransfer momen positif ke momen negatif atau sebaliknya.



**Sumber:** Soerjandani, *Hand Out Struktur Beton II*

**Gambar 7.5** Pemutusan Tulangan Balok Induk



Menghitung nilai – nilai untuk pemasangan balok induk:

$$d = \text{Lebar efektif balok} = 535 \text{ mm}$$

$$6d = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{2}{3} W = \frac{2}{3} \times 600 = 400 \text{ mm}$$

$$\ell n/4 = 4400/4 = 1100 \text{ mm}$$

$$15d = 15 \times 22 = 330 \text{ mm}$$

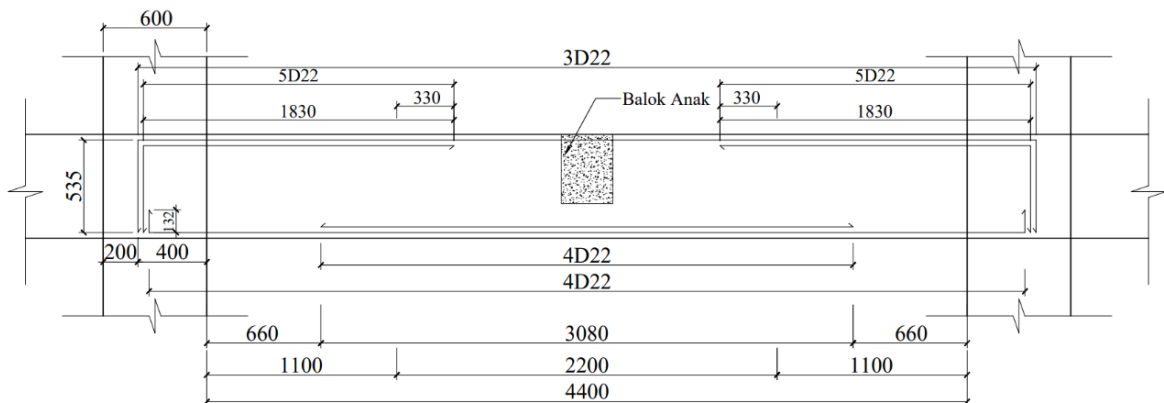
$$0,15 \ell n = 0,15 \times 4400 = 660 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tumpuan dari penjangkaran:

$$400 + 1100 + 330 = 1830 \text{ mm (dipasang pada jarak 200 mm dari muka kolom)}$$

Panjang tulangan bawah pada lapangan:

$$4400 - (660 \times 2) = 3080 \text{ mm (ditengah bentang)}$$



**Gambar 7.6** Pemutusan Tulangan Balok Induk (B1)

## 7.2. Perencanaan Kolom

Perencanaan kolom pada gedung Hotel Velins ini akan dibahas mengenai desain penulangan kolom, kontrol kekuatan kolom menggunakan SP *Column* dan juga pendetailan kolom sesuai dengan peraturan. Data perencanaan kolom dapat dilihat sebagai berikut:

### **Kolom dimensi 600 x 600 mm**

$$\text{Bentang antar kolom} = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom} = 4000 \text{ mm}$$

Selimut beton = 40 mm

Diameter tulangan utama = D25

Diameter sengkang = Ø16

$$d = 600 - 40 - 16 - \frac{1}{2} \times 25 = 531,3 \text{ mm}$$

**Balok dimensi 400 x 600 mm**

Bentang As ke As = 5000 mm

Selimut beton = 40 mm

Diameter tulangan utama = D22

Diameter sengkang = Ø14

$$D = 600 - 40 - 14 - \frac{1}{2} \times 22 = 535 \text{ mm}$$

Tulangan atas terpasang = 5D22 (As = 1901 mm<sup>2</sup>)

Tulangan bawah terpasang = 4D22 (As = 1521 mm<sup>2</sup>)

**Menentukan kolom *sway* atau *non sway***

$P_u = 208131,69 \text{ kg} = 2081317 \text{ N}$

$V_u = 12990,49 \text{ kg} = 129905 \text{ N}$

$M_2 = 34928,8 \text{ kg} = 349288 \text{ N}$

$M_1 = 12879,79 \text{ kg} = 128798 \text{ N}$

$\Delta_o = 0,006719 \text{ m} = 6,720 \text{ mm}$

$$Q = \frac{P_u \times \Delta_o}{V_u \times L_c} < 0,05$$

$$Q = \frac{2081317 \times 6,720}{129905 \times 4000} < 0,05$$

$Q = 0,027 < 0,05$  maka termasuk kolom *non sway*

**Menentukan Panjang tekuk**

Pada kolom:

$$I_g = \frac{1}{12} \times 600 \times 600^3 = 10.800.000.000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{35} = 27.805,57 \text{ Nmm}^2$$

Pada balok:

$$I_g = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 7.200.000.000 \text{ mm}^4$$

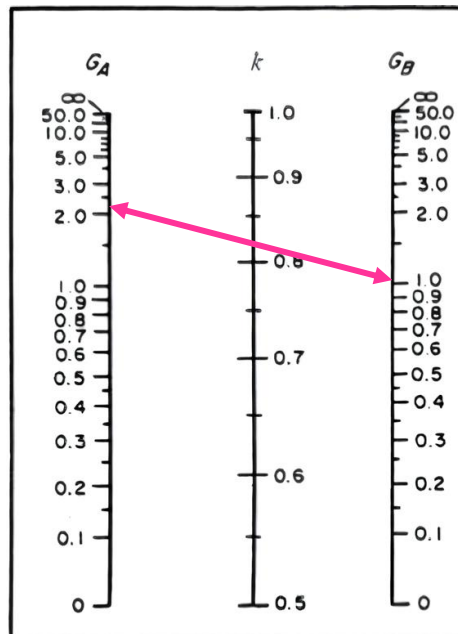
$$E_c = 4700 \times \sqrt{35} = 27.805,57 \text{ Nmm}^2$$

Menentukan panjang tekuk dari kolom menggunakan nomogram panjang efektif kolom atas:

$$\Psi_A = \frac{\frac{10.800.000.000}{4000} + \frac{10.800.000.000}{4000}}{\frac{7.200.000.000}{6000} + \frac{7.200.000.000}{6000}} = 2,25$$

Kolom bawah:

$$\Psi_B = 1,0 \text{ (karena terjepit penuh)}$$



**Gambar 7.7** Nomogram Kolom *Non Sway*

Setelah di tarik garis pada nomogram diatas akan mendapatkan nilai panjang efektif,

$$(k) = 0,82 \leq 1,0$$

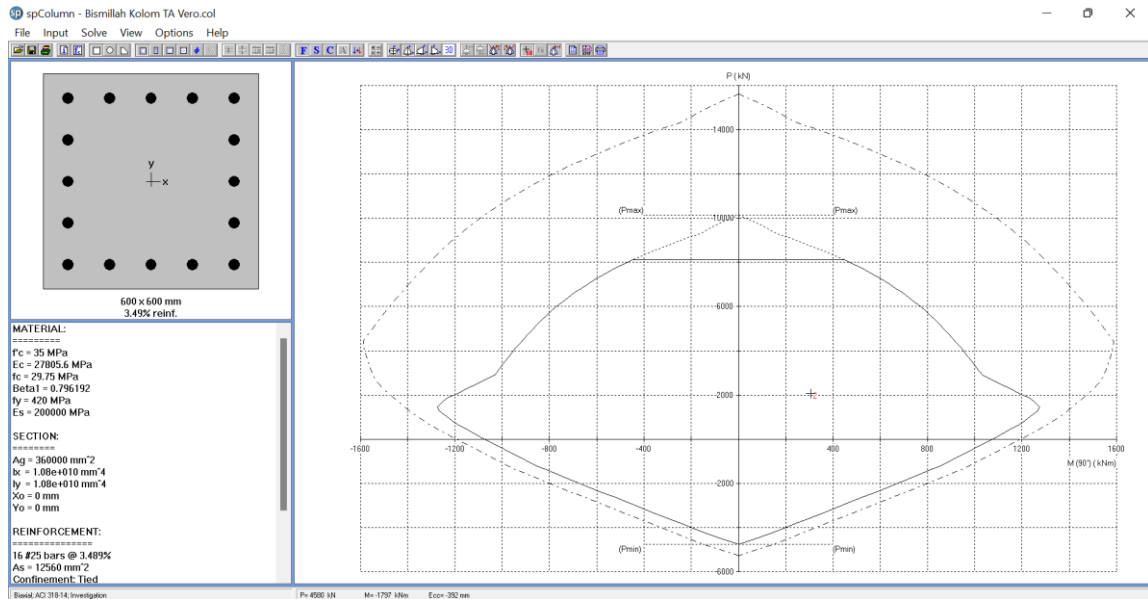
**Mencari kelangsingan kolom**

$$\frac{k \cdot lu}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M1}{M2} \right)$$

$$\frac{0,82 \cdot 4000}{0,6 \times 600} \leq 34 - 12 \left( \frac{128798}{349288} \right)$$

$$9,11 \leq 29,56$$

Dengan ini, tidak perlu memeriksa kelangsingan kolom.



**Gambar 7.8** Diagram Interaksi Gaya Aksial dan Momen Kolom dari *Output* SPCOL

Pada Gambar 7.8 didapatkan hasil program struktur dengan jumlah tulangan 16 buah diameter 25 mm, semua gaya yang diinputkan ke program struktur tersebar dan tidak ada yang melewati garis interaksi dan dari prosentase program struktur yaitu 3,49% telah memenuhi persyaratan 1% - 6%.

### 7.2.1. Kuat Maksimal Tekan Rencana pada Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 11.4.2.1 menyatakan bahwa komponen struktur non-prategang dengan tulangan sengkang pengikat, gaya aksial terfaktor ( $P_u$ ) tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} \phi P_n \text{ max} &= 0,80 \phi [0,85 f'c' (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \\ &= 0,80 \cdot 0,75 [0,85 \cdot 35 (360000 - 12560) + 420 \cdot 12560] = 9366924 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil  $\phi P_n \text{ max} = 9366924 \text{ N} > P_u = 2081317 \text{ N}$  (*Output* program struktur), sehingga dapat menggunakan gaya  $P_u$  hasil *output* program struktur.

### 7.2.2. Pendetailan Sesuai SNI 2847 – 2019

Komponen SRPMK yang dikenai beban aksial dan lentur harus memenuhi pasal 18.7.2.1 dan 18.7.5.6 sebagai berikut:

#### 1) Pasal 18.7.2.1

Penampang dengan dimensi terpendek > 300 mm

Syarat ini telah terpenuhi karena dimensi kolom pada gedung hotel ini lebih dari 300 mm yaitu 600 mm

#### 2) Pasal 18.7.5.6

Beban aksial terfaktor (Pu) >  $\frac{A_g f_c'}{10}$

$$(Pu) > \frac{(600 \times 600) \cdot 35}{10}$$

$$2081317 \text{ N} > 1260000 \text{ N}$$

Syarat ini telah terpenuhi dengan nilai  $Pu = 2081317 \text{ N} > 1260000 \text{ N}$

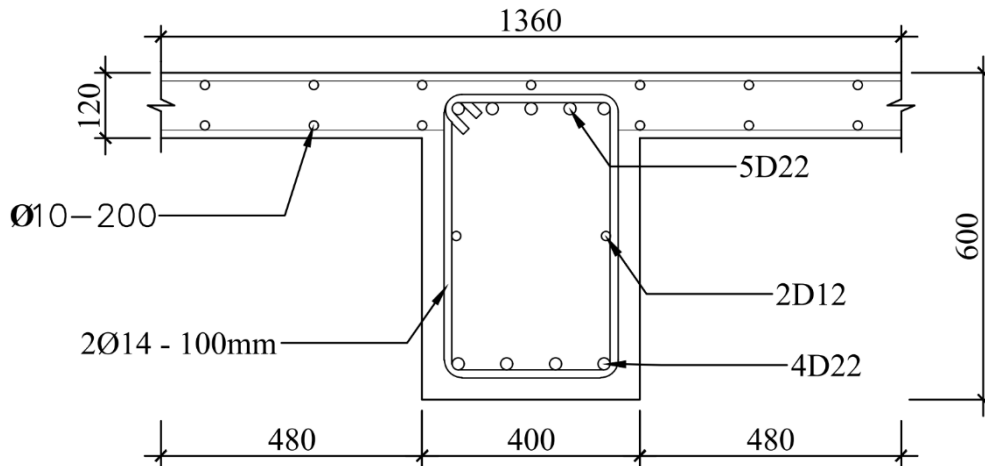
### 7.2.3. Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

Sesuai filosofi “*Capacity Design*” maka pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 mensyaratkan  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$  harus dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus menentukan gaya aksial terfaktor yang menghasilkan gaya lentur minimum sesuai dengan arah gempa yang ditinjau. Dalam hal ini kombinasi beban yang digunakan hanya kombinasi dengan beban gempa saja untuk memeriksa persyarat *strong coloum weak beam*.

Jumlah nilai  $\sum M_{nb}$  adalah  $M_{nb}^+$  dan  $M_{nb}^-$  balok yang menyatu dengan kolom, dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

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

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



**Gambar 7.9** Tulangan Atas Balok Menyatu Dengan Plat

$$d'' \text{ balok} = S + \text{Øsengkang} + \text{Øtulangan utama} + \left( \frac{\sum \text{tul.bawah}}{\sum \text{tul.atas}} \right) \times \text{jarak tulangan utama}$$

$$d'' \text{ balok} = 40 + 14 + 22 + \left( \frac{4}{5} \right) \times 25 = 96 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan balok dan plat (atas):

$$= d'' \text{ balok} - \text{jarak tulangan plat} - \left( \frac{1}{2} \cdot \text{Øtulangan plat} \right)$$

$$= 96 - 20 - \left( \frac{1}{2} \cdot 10 \right) = 71 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan balok dan plat (bawah):

$$= \text{Tebal plat} - d'' \text{ balok} - \text{jarak tulangan plat} - \left( \frac{1}{2} \cdot \text{Øtulangan plat} \right)$$

$$= 120 - 71 - 20 - \left( \frac{1}{2} \cdot 10 \right) = 24 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{12} \times 600 = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm}$$

$$A_{S_{\text{atas}}} = A_{S_{\text{balok atas}}} + \left[ 2 \times \left( \frac{b_e}{\text{jarak tul.plat}} \right) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \text{Øtul.plat}^2 \right]$$

$$= 1901 + \left[ 2 \times \left( \frac{500}{200} \right) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \right] = 2293,5 \text{ mm}^2$$

Karena balok bagian bawah tidak terdapat plat, maka:

$$A_{S_{\text{bawah}}} = A_{S_{\text{balok bawah}}} = 1521 \text{ mm}^2$$

$$d_{\text{atas}} = d_{\text{balok}} - \left[ \left( \frac{A_{S_{\text{plat}}}}{A_{S_{\text{atas}}}} \right) \times 75,5 \right] + \left[ \left( \frac{A_{S_{\text{plat}}}}{A_{S_{\text{atas}}}} \right) \times 19,5 \right]$$

$$d_{atas} = 535 - \left[ \left( \frac{393}{2293,5} \right) \times 75,5 \right] + \left[ \left( \frac{393}{2293,5} \right) \times 19,5 \right] = 525,40 \text{ mm}^2$$

$$d_{bawah} = d_{balok} = 535 \text{ mm}^2$$

**$M_{nb}^-$  (atas)**

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc \cdot b} = \frac{2293,5 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 80,95 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^- = As \times fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 2293,5 \times 420 \times \left( 525,40 - \frac{80,95}{2} \right)$$

$$M_{nb}^- = 467113704,75 \text{ Nmm} = 467,11 \text{ kNm}$$

**$M_{nb}^+$  (bawah)**

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc \cdot b} = \frac{1521 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 53,68 \text{ mm}$$

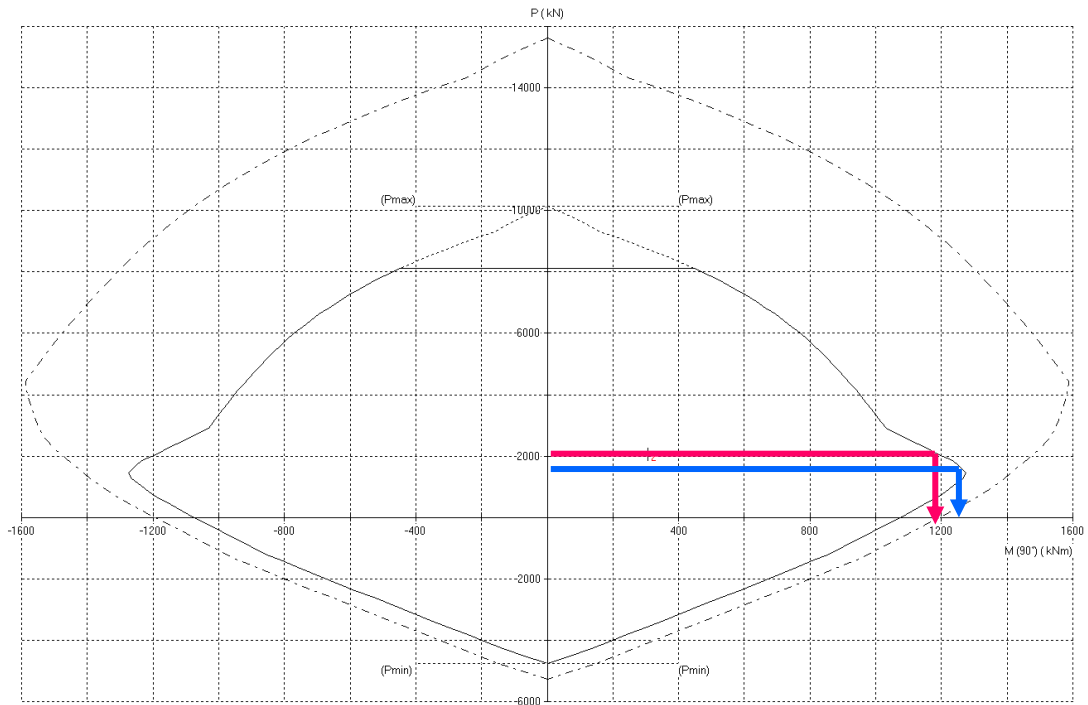
$$M_{nb}^+ = As \times fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1521 \times 420 \times \left( 535 - \frac{53,68}{2} \right)$$

$$M_{nb}^+ = 324622771,2 \text{ Nmm} = 324,62 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nb} = M_{nb}^- + M_{nb}^+ = 467,11 + 324,62 = 791,73 \text{ kNm}$$

Nilai  $M_{nc}$  untuk kolom diperoleh dengan program struktur seperti diagram pada Gambar 7.8, nilai  $M_{nc}$  dicari dengan menggunakan nilai  $P_u$ .

Cara memperoleh nilai  $M_{nc}$  yaitu dengan menarik garis lurus dari sumbu Y ke titik  $P_u$  yang ditentukan dan setelah garis menyinggung garis interaksi, maka garis dapat ditarik lagi menuju sumbu x sehingga didapatkan nilai  $M_{nc}$ . Untuk lebih jelas terkait cara memperoleh nilai  $M_{nc}$  dapat dilihat pada Gambar 7.10 berikut ini.



**Gambar 7.10** Diagram Interaksi Gaya Aksial dan Momen pada Garis SPCOL Nilai Mnc

Setelah nilai Mnc ditentukan, kedua nilai tersebut harus dijumlahkan dan dibandingkan sesuai persyaratan *strong column weak beam*.

Nilai Mnc dapat ditentukan dari Gambar 7.10, sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} = 1170 + 1234 = 2404 \text{ kNm}$$

Untuk persyaratan *strong column weak beam* yang harus sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2, sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$$\left(\frac{2404}{0,65}\right) \geq 1,2 \left(\frac{791,73}{0,8}\right)$$

$$3698,46 \text{ kNm} \geq 989,66 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Dengan terpenuhinya persyaratan ini, dapat disimpulkan bahwa semua kolom pada struktur bangunan ini termasuk dalam sistem penahan gempa.

#### 7.2.4. Pengekangan yang dibutuhkan kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.1 menyatakan bahwa tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $\ell_o$  dan panjang  $\ell_o$  sendiri tidak boleh kurang dari yang terbesar:



- a.  $\ell_o$  = tinggi kolom pada muka joint = 600 mm
- b.  $\frac{1}{6}$  x bentang bersih kolom =  $\frac{1}{6}$  x (4000 – 600) = 566,67 mm
- c. 450 mm

Maka diambil panjang pengekokan  $\ell_o$  = 600 mm dari muka tumpuan

1) Jarak bentang pemasangan sengkang dari muka tumpuan kolom. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3 menyatakan bahwa spasi maksimum tulangan transversal sepanjang  $\ell_o$  tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a.  $\frac{1}{4}$  x dimensi kolom =  $\frac{1}{4}$  x 600 = 150 mm
- b. 6 x diameter batang tulangan utama = 6 x 25 = 150 mm
- c. Jarak pada sengkang,  $S_o$  sebagai berikut:

$$S_o = 100 + \left( \frac{350-hx}{3} \right) = 100 + \left( \frac{350-150}{3} \right) = 166,67 \text{ mm}$$

Nilai  $S_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

2) Jarak sengkang yang akan digunakan

Ambil jarak sengkang  $s$  = 150 mm

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.10.7.4 menyatakan bahwa luas penampang total tulangan sengkang persegi tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot bc \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \text{ atau } A_{sh} = 0,09 \frac{s \cdot bc \cdot f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan:

$s$  = spasi pada tulangan transversal (mm)

$bc$  = dimensi penampang inti kolom yang diukur dari tepi luar tulangan pengekok (mm)

$A_g$  = luas bruto penampang (mm<sup>2</sup>)

$A_{ch}$  = luas penampang pada komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan sengkang (mm<sup>2</sup>)

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot bc \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,3 \frac{150 \cdot (600 - (2 \times 40 - 16)) \times 35}{420} \left[ \left( \frac{600 \times 600}{(600 - (2 \times 40))^2} \right) - 1 \right] = 666,04 \text{ mm}^2$$

Atau

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \cdot bc \cdot f_c'}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{150 \cdot (600 - (2 \times 40 - 16)) \times 35}{420} = 603 \text{ mm}^2$$

Dipilih nilai dengan luas tulangan sengkang sebesar 603 mm<sup>2</sup>, sehingga untuk memenuhi kebutuhan luas tulangan sengkang dipakai 4 kaki dengan diameter tulangan sengkang 16 mm (4D16), oleh karena itu luas tulangannya sebagai berikut:

$$A_{sh} = 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 = 803,84 \text{ mm}^2 > 603 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Sisa panjang pada kolom yang berada diluar sendi plastis dipasang sengkang sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.10.7.4 jarak pada sengkang tidak boleh lebih dari:

$$s \leq 6 \times db$$

$$s \leq 6 \times 25$$

$$s \leq 150 \text{ mm}$$

maka diambil jarak diluar sendi plastis 150 mm

1) Sengkang kolom pada muka *joint*

a) Pakai sengkang 4Ø16-100 mm

b) Dipasang sejauh 600 mm dari muka *joint*

c) Jumlah sengkang  $\frac{600}{100} = 6$  buah

d) Sengkang pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka tumpuan

2) Sengkang pada kolom setelah jarak 600 mm

a) Pakai sengkang 4Ø16-150 mm

b) Dipasang setelah jarak 600 mm dari kedua muka *joint*

c) Jumlah sengkang =  $\frac{(4000 - 600) - (2 \times 600)}{150} + 1 = 15,67 \approx 16$  buah

### 7.2.5. Periksa Kebutuhan Pengekang untuk Beban Geser pada kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 Gambar 18.6.5 menyatakan bahwa gaya geser desain ( $V_e$ ) menggunakan momen maksimum yang mungkin ( $M_{pr}$ ) dan gaya  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan dalam analisa struktur dengan rumus sebagai berikut:

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u}$$

Sehingga gaya dari  $M_{pr}$  wajib dihitung berdasarkan tulangan terpasang pada kolom, sedangkan  $l_u$  adalah panjang yang tidak bertumpu dari kolom yang nilainya didapat dengan pengurangan antara kolom dengan tinggi balok.

### Nilai Mpr Kolom

Tulangan terpasang:  $A_s = 16D25 = 7854 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{7854 \cdot 1,25 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 600} = 231 \text{ mm}^2$$

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{pr} = 7854 \times 1,25 \times 420 \times \left(531,3 - \frac{231}{2}\right)$$

$$M_{pr} = 1718612280 \text{ Nmm} = 1718,61 \text{ kNm}$$

Gaya geser kolom yaitu:

$$V_{e_{kolom}} = \frac{1718,61 + 1718,61}{4-0,6} = 1010,95 \text{ kN}$$

Gaya geser maksimum dari output SAP 2000 untuk kolom diperoleh yang terbesar yaitu 129,91 kN. Karena kondisi balok dan kolom (HBK) dan persyaratan pada *strong column weak beam* telah terpenuhi maka nilai geser ( $V_u$ ) harus lebih kecil dari gaya geser kolom terbesar,

Untuk mengetahui gaya geser pada balok dapat melihat 7.1.4.

$$M_{pr}^+ = 492,091 \text{ kNm}$$

$$M_{pr}^- = 400,420 \text{ kNm}$$

Gaya geser balok yaitu:

$$V_u = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_u} = \frac{492,091 + 400,420}{4-0,6} = 252,5 \text{ kN}$$

Dikarenakan:

$V_e \text{ kolom} > V_e \text{ output SAP 2000}$

$$1010,95 \text{ kN} > 129,9 \text{ kN} \quad (\text{Pakai gaya } V_e \text{ kolom})$$

$V_u \text{ balok} < V_e \text{ kolom}$

$$252,5 \text{ kN} < 1010,95 \text{ kN} \quad (\text{Perencanaan gaya geser terpenuhi})$$

Pada SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 pada tulangan transversal harus diproporsikan untuk menahan geser dengan asumsi  $V_c = 0$ , apabila 2 syarat dibawah terjadi:

Gaya geser gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum.

$$V_u > 0,5 V_e$$

$$252,5 \text{ kN} > 0,5 \times 1010,95 \text{ kN}$$

$$252,5 \text{ kN} < 505,48 \text{ kN} \quad (\text{No OK})$$

$$\text{Gaya aksial tekan terfaktor } P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{20} = \frac{(600 \times 600) \cdot 35}{20}$$

$$P_u = 2081,32 \text{ kN}$$

$$2081,32 \text{ kN} > 630000 \text{ kN} \quad (\text{No OK})$$

Karena 2 syarat tidak dipenuhi maka tidak dapat diasumsikan  $V_c = 0$ , maka harus dihitung sesuai dengan pasal 18.7.6.1.1, sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s}$$

Nilai  $A_v$  adalah luas tulangan geser didalam spasi  $s$ , diameter tulangan geser D16, dengan rencana 4 kaki, sehingga:

$$A_v = 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 = 803,84 \text{ mm}^2$$

Dengan jarak sengkang 100 mm, maka nilai  $V_s$ :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} = \frac{803,84 \cdot 420 \cdot 531,3}{100} = 1793736,81 \text{ N} = 1793,74 \text{ kN}$$

Sudah disediakan sengkang tertutup dan ikat silang 4D16 – 150 mm

Untuk daerah  $\ell_o$  maka nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan persamaan, sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{SNI 2847-2019 pasal 22.5.6.1})$$

Keterangan:

$\lambda$  = Faktor modifikasi untuk beton normal = 1

$N_u$  = gaya aksial terfaktor yang tegak lurus terhadap penampang (N)

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2081317}{14 (600 \times 600)} \right) 1 \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 531,3 = 453005,8 \text{ N} = 453 \text{ kN}$$

Sehingga:

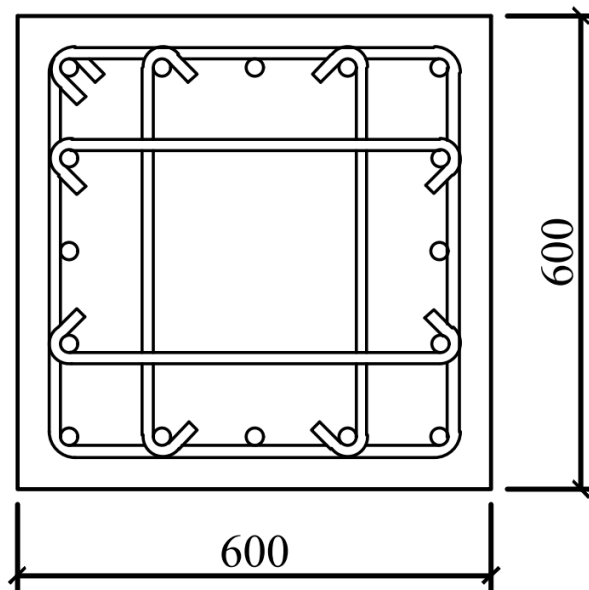
$$\phi(V_c + V_s) \geq V_e \text{ kolom}$$

$$0,75 (453 + 1793,74) \geq 1010,95 \text{ kN}$$

$$1685,055 \text{ kN} \geq 1010,95 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Sengkang harus dipasang disepanjang bentang kolom dengan spasi tidak boleh melebihi  $d/2 = 531,3/2 = 265,65 \text{ mm}$ , sehingga terdapat jumlah kaki atau spasi dalam sengkang kolom.

- 1) Sengkang pada kolom dimuka *joint*
  - a. Pakai sengkang  $4\text{Ø}16-100 \text{ mm}$
  - b. Dipasang sepanjang  $600 \text{ mm}$  dari muka *joint*
  - c. Jumlah sengkang  $\frac{600}{100} = 6$  buah
  - d. Sengkang pertama dipasang pada jarak  $50 \text{ mm}$  dari muka tumpuan
- 2) Sengkang pada kolom setelah jarak  $600 \text{ mm}$ 
  - a. Pakai sengkang  $4\text{Ø}16-150 \text{ mm}$
  - b. Dipasang setelah jarak  $600 \text{ mm}$  dari kedua muka *joint*
  - c. Jumlah sengkang =  $\frac{(4000-600)-(2 \times 600)}{150} + 1 = 15,7 \approx 16$  buah



**Gambar 7.11** Penulangan Kolom

### 7.2.6. Sambungan Lewatan Tulangan pada kolom

Sambungan yang terdapat pada tulangan kolom yang telah dilekakan di tengah kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang telah ditentukan oleh presyaratan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3, dengan rumusan dibawah ini:

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \cdot \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Keterangan:

$$\Psi_t = \Psi_e = \Psi_s = 1 \text{ (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.2)}$$

$C_b$  = pilih yang lebih kecil dari, a) jarak dari pusat batang tulangan kepermukaan beton terdekat = tebal selimut beton = 40 mm. b) setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan yang disalurkan =  $\frac{1}{2}$  diameter tulangan + jarak antar tulangan =  $12,5 + 150 = 162,5$  mm.

Dipilih nilai yang lebih kecil  $C_b = 40$  mm

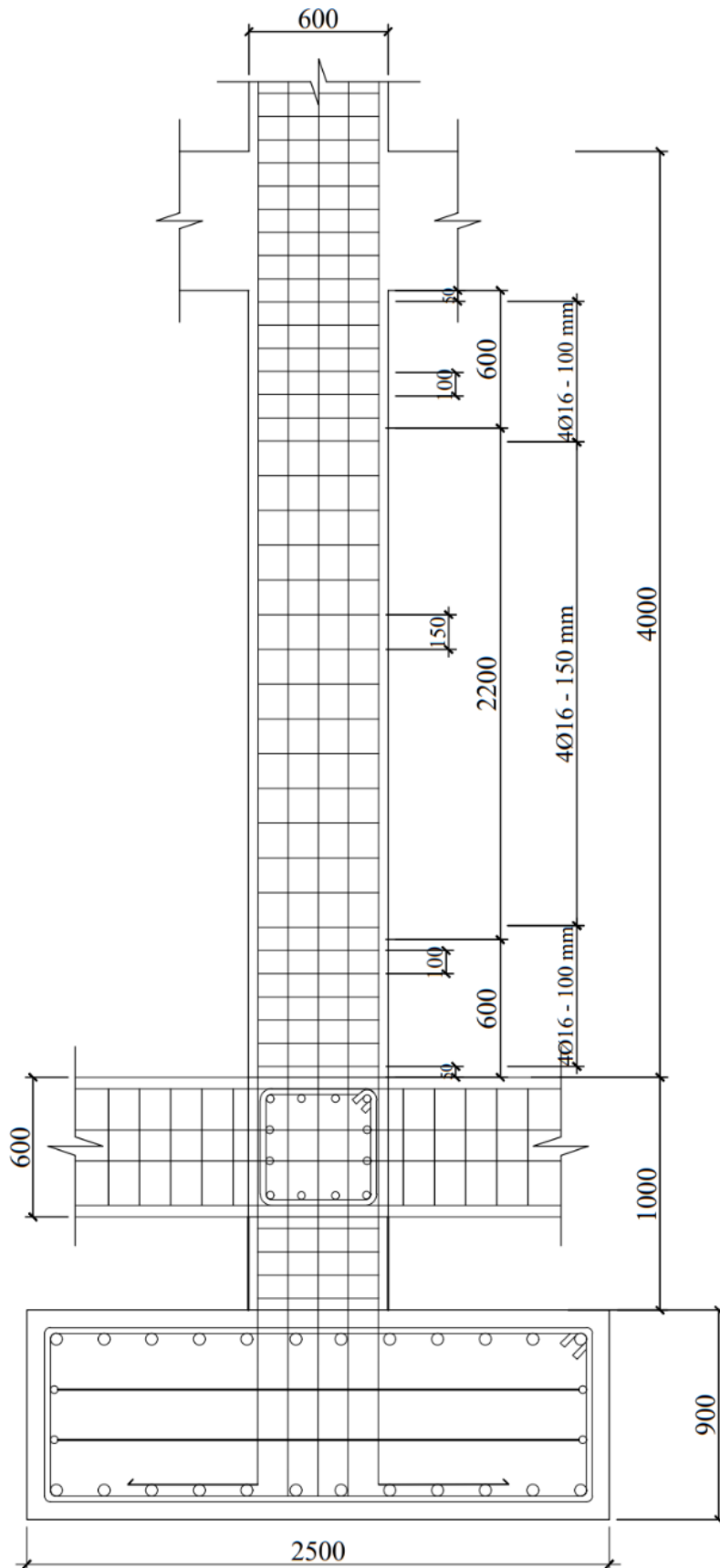
Diizinkan menggunakan  $K_{tr} = 0$ , sebagai penyederhanaan desain meskipun terdapat tulangan transversal.

$$K_{tr} = 0 \rightarrow \frac{C_b + K_{tr}}{d_b} = \frac{40 + 0}{25} = 1,6$$

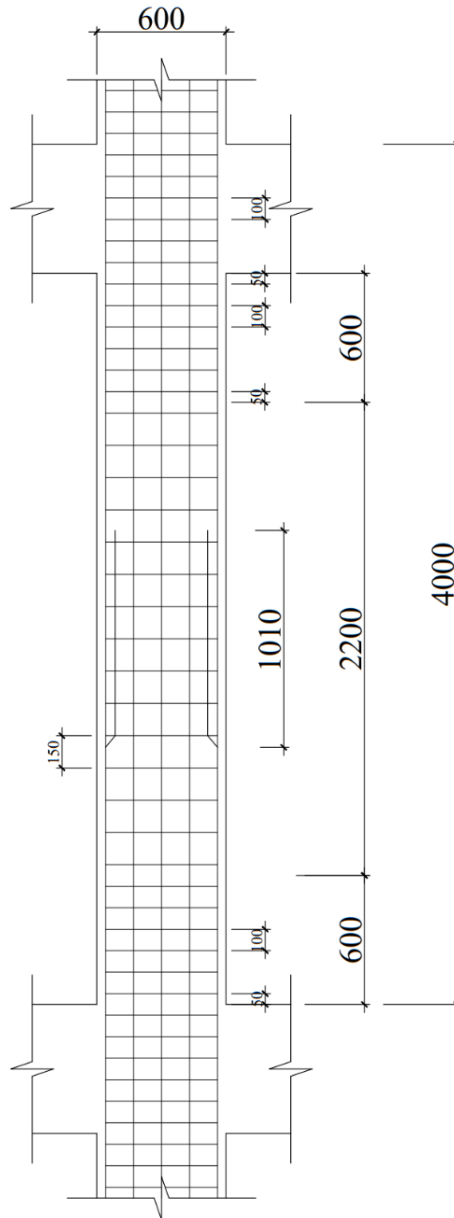
Sehingga nilai  $(C_b + K_{tr})/d_b$  tidak perlu diambil lebih besar dari 2,5, maka:

$$l_d = \left( \frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \cdot \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{1,6} \right) \times 25 = 1008,5 \text{ mm} \approx 1010 \text{ mm}$$

Pabrik tulangan memiliki keterbatasan panjang untuk tulangan, sehingga tulangan pada bentang tengah dan sambungan lewatan dipasang sepanjang = 1010 mm. Lantai 1 memiliki momen yang lebih besar dibandingkan lantai lainnya, sehingga untuk keamanan tidak ada sambungan lewatan di lantai 1.



**Gambar 7.12** Tulangan Kolom pada Lantai 1



**Gambar 7.13** Sambungan Lewatan pada Kolom

### 7.3. Desain Hubungan Balok kolom (HBK)

Desain balok kolom sistem rangka pemikul momen khusus pada tugas akhir ini yaitu mendesain 4 balok, 3 balok dan 2 balok yang mengekang kolom. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.3.2 bila komponen struktur merangka kedalam semua empat sisi *joint* dan bila setiap lebar komponen struktur paling sedikit adalah  $\frac{3}{4}$  lebar kolom, sehingga jumlah tulangan ditetapkan dalam pasal 18.7.5.3 (a) dan (b) pasal 18.7.5.4 dapat direduksi setengahnya, dan spasi di isyaratkan dalam pasal boleh ditingkatkan sampai 150 mm pada tinggi total (h) komponen struktur rangka yang terpendek.



Desain HBK ini mempunyai lebar balok = 400 mm <  $\frac{3}{4}$  (h) kolom = 450 mm, walaupun syarat tersebut terpenuhi, akan tetapi desain HBK ini tidak mengurangi jumlah tulangan yang sesuai pasal diatas dan tidak menambah lebar spasi sengkang.

### 7.3.1. Desain HBK yang Terkekang 4 Balok

Gaya geser yang terjadi pada HBK terkekang 4 balok yaitu  $T_1 + T_2 - V_u$  yang dimana  $T_1$  dan  $T_2$  didapat dari tulangan tarik dan tekan pada balok – balok yang menyatu pada HBK.

$$T_1 (5D22) = A_s \times 1,25 \cdot f_y = 1901 \times 1,25 \times 420 = 998025 \text{ N} = 998,03 \text{ kN}$$

$$T_2 (4D22) = A_s \times 1,25 \cdot f_y = 1521 \times 1,25 \times 420 = 798525 \text{ N} = 798,53 \text{ kN}$$

$V_u$  kolom adalah gaya geser pada kolom yang dihitung dari Mpr pada kedua ujung balok yang menyatu dengan HBK, dikarenakan kolom atas dan bawah memiliki panjang yang sama, maka tiap ujung kolom memikul jumlah Mpr balok yang sama.

Nilai Mpr yang diakibatkan oleh tulangan terpasang pada balok yang berada pada HBK dapat dilihat pada subbab 7.1.4.

$$\text{Mpr pada tulangan atas} = 492,091 \text{ kNm}$$

$$\text{Mpr pada tulangan bawah} = 400,420 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{492,091 + 400,420}{2} = 446,26 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ balok} = \frac{446,26 + 446,26}{4 - 0,6} = 262,51 \text{ kNm}$$

Gaya geser bersih pada *joint*:

$$V_{x-x} = T_1 + T_2 - V_u = 998,03 + 798,53 - 262,51 = 1534,05 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 menyatakan bahwa untuk beton normal, tegangan geser  $V_n$  *joint* tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang sudah ditetapkan seperti:

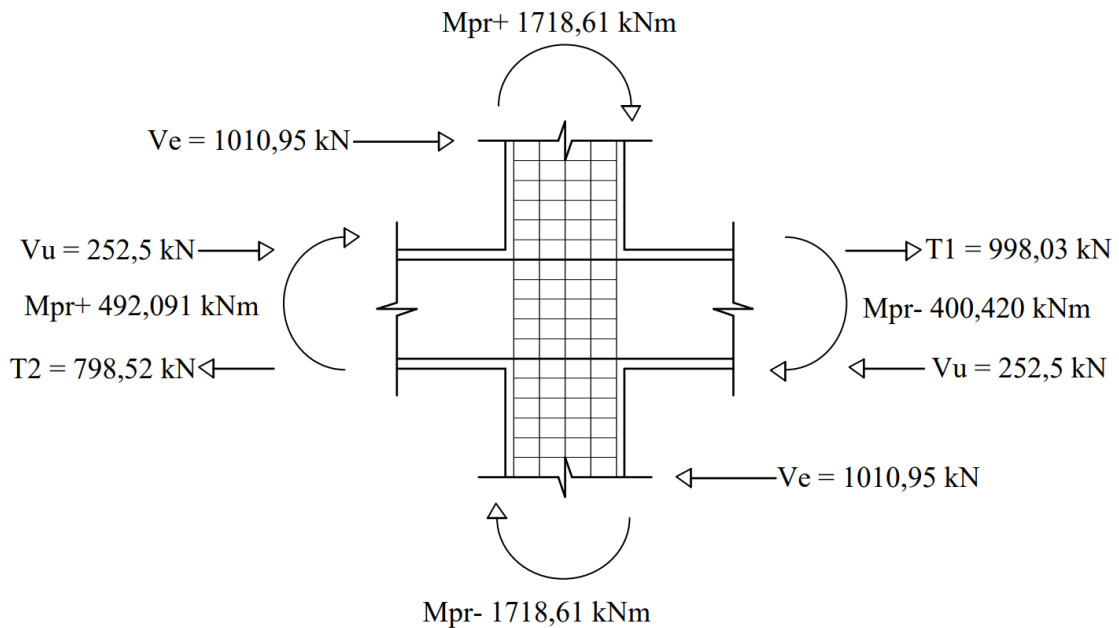
- 1) Pada *joint* yang terkekang oleh 4 balok HBK pada semua muka

$$1,7 \cdot \sqrt{f_c'} A_j$$

Besarnya tegangan geser nominal *joint*  $V_n$  yaitu:

$$V_n = \phi 1,7 \cdot \sqrt{f_c'} A_j = 0,75 \times 1,7 \times \sqrt{35} (600 \times 600) = 2715480,62 \text{ kN} = 2715,5 \text{ kN}$$

$V_n > V_{x-x} = 2715,5 \text{ kN} > 1534,05 \text{ kN}$ , maka desain HBK terkekang 4 balok telah memenuhi persyaratan.



Gambar 7.14 HBK terkekang 4 Balok

### 7.3.2. Desain HBK yang Terkekang 3 atau 2 Balok

Gaya geser yang terjadi pada HBK terkekang 3 balok yang mengekang kolom yaitu  $T_1 - V_u$  dimana  $T_1$  didapat dari tulangan tarik dan tekan pada balok – balok yang menyatu pada HBK.

$$T_1 (5D22) = A_s \times 1,25 \cdot f_y = 1901 \times 1,25 \times 420 = 998025 \text{ N} = 998,03 \text{ kN}$$

Nilai Mpr yang diakibatkan oleh tulangan terpasang pada balok yang berada pada HBK yaitu merupakan hasil dari tulangan 5D22, dapat dilihat pada subbab 7.1.4.

$$\text{Mpr pada tulangan atas} = 492,091 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{492,091}{2} = 246,05 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ balok} = \frac{246,05 + 246,05}{4 - 0,6} = 144,74 \text{ kNm}$$

Gaya geser bersih pada *joint*:

$$V_{x-x} = T_1 - V_u = 998,03 - 144,74 = 853,29 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 menyatakan bahwa untuk beton normal, tegangan geser  $V_n$  joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang sudah ditetapkan seperti:

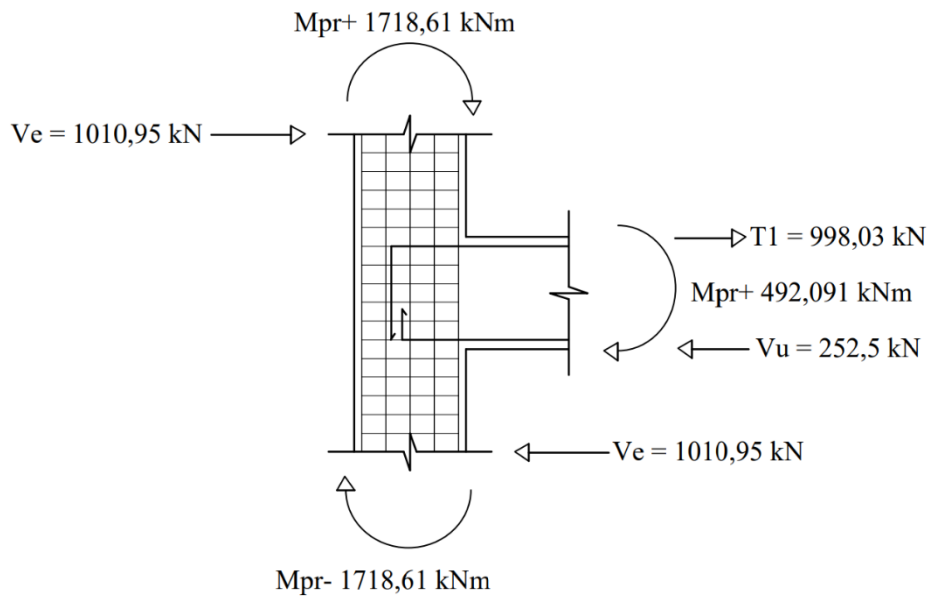
- 1) Pada *joint* yang terkekang oleh 3 atau 2 balok HBK pada semua muka

$$1,2 \cdot \sqrt{f_c'} A_j$$

Besarnya tegangan geser nominal *joint*  $V_n$  yaitu:

$$V_n = \phi 1,2 \cdot \sqrt{f_c'} A_j = 0,75 \times 1,2 \times \sqrt{35} (600 \times 600) = 1916809,8 \text{ kN} = 1916,8 \text{ kN}$$

$V_n > V_{x-x} = 1916,8 \text{ kN} > 853,29 \text{ kN}$ , maka desain HBK terkekang 3 atau balok telah memenuhi persyaratan.



Gambar 7.15 HBK terkekang 3 atau 2 Balok