

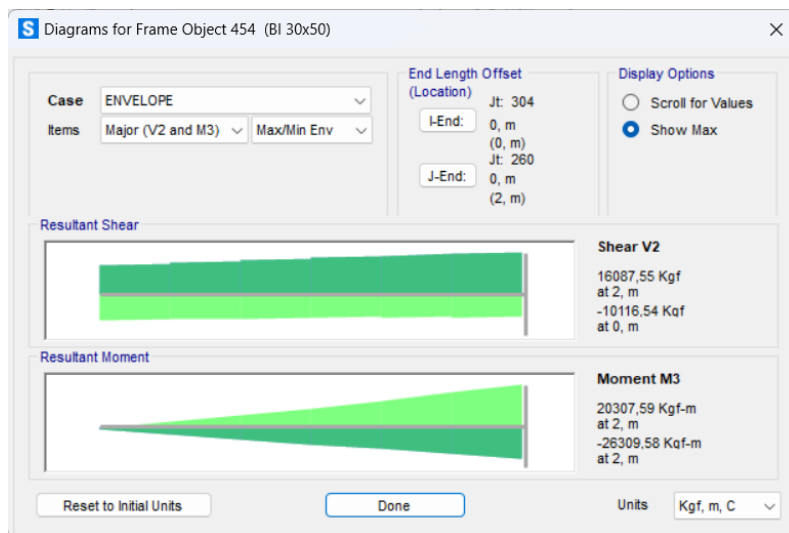
BAB VII

STRUKTUR PRIMER

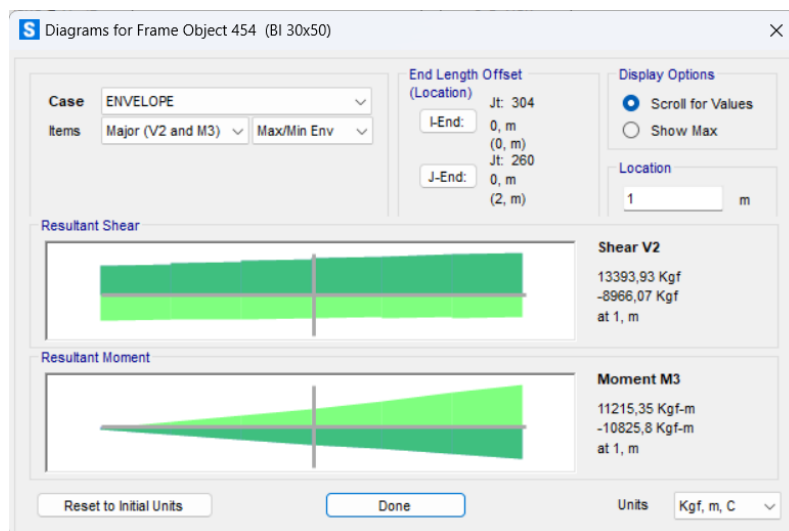
7.1 Balok Induk

Balok induk pada Apartemen Niscala direncanakan dengan menggunakan dimensi 30 cm x 50 cm. Balok induk ini direncanakan dengan memeriksa momen yang terjadi dengan bantuan program bantu komputer dengan mengambil momen terbesar dari balok induk yang digunakan untuk perhitungan perencanaan.

7.1.1 Gaya Dalam Balok Induk



Gambar 7.1 Gaya Dalam Balok Induk di Tumpuan



Gambar 7.2 Gaya Dalam Balok Induk di Lapangan

7.1.2 Syarat Batas Penulangan Balok Induk

Reduksi Kuat Tekan Beton berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3, karena $f_c' > 28$ MPa, maka:

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,033$$

$$\rho_{\max} = \rho_b \cdot 0,75 = 0,033 \cdot 0,75 = 0,025$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2, nilai ρ_{\min} adalah:

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35}}{420} = 0,0035$$

7.1.3 Penulangan Lentur Balok Induk

Daerah Tumpuan

Penulangan

$$\text{Tinggi Balok Induk (h)} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)}$$

$$\text{Diameter Tulangan Utama (D)} = D19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tulangan Sengkang } (\varnothing) = \varnothing 10 \text{ mm}$$

$$d = h - s - D - \frac{1}{2}\varnothing = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}19 = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 500 - 440,5 = 59,5 \text{ mm}$$

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = 20.307,59 \text{ Kgm} = 203.075.900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{203.075.900}{0,8} = 253.844.875 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = 59,5 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \cdot \left(\frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \right) = 0,75 \cdot \left(\frac{600 \cdot 440,5}{600 + 420} \right) = 194 \text{ mm}$$

Digunakan $X = 80 \text{ mm}$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot X}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 80}{420} = 1.445 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta \cdot X}{2} \right) = 1.445 \cdot 420 \cdot \left(440,5 - \frac{0,85 \cdot 80}{2} \right) = 291.357.517 \text{ Nmm}$$

$M_{nc} > M_n$ (OK)

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 253.844.875 - 291.357.517 = -37.512.642 \text{ Nmm}$$

Karena, $M_n - M_{nc} < 0$, maka tidak perlu tulangan tekan. Sehingga didesain dengan menggunakan tulangan tunggal.

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{253.844.875}{300 \cdot 440,5^2} = 4,4$$

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

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 4,4}{420}} \right)$$

$$\rho = 0,011$$

Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,011 \cdot 300 \cdot 440,5 = 1.454 \text{ mm}^2$$

Dipakai 6D19 (1.701 mm²)

Luas Tulangan Tekan

$$A_s' = 0,5 \cdot A_s = 0,5 \cdot 1.454 = 727 \text{ mm}^2$$

Dipakai 3D19 (851 mm²)

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot d} = \frac{1.701}{300 \cdot 440,5} = 0,013$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \text{ (OK)}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.701 \cdot 440,5}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 80,0 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1.701 \cdot 420 \cdot \left(440,5 - \frac{80,0}{2} \right)$$

$$M_n = 282.893.510 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n$ Beban (OK)

Daerah Lapangan

Penulangan

$$\text{Tinggi Balok Induk (h)} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)}$$

$$\text{Diameter Tulangan Utama (D)} = D19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tulangan Sengkang } (\varnothing) = \varnothing 10 \text{ mm}$$

$$d = h - s - D - \frac{1}{2}\varnothing = 500 - 40 - 19 - \frac{1}{2}19 = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 500 - 440,5 = 59,5 \text{ mm}$$

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = 11.215,35 \text{ Kgm} = 112.153.500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{112.153.500}{0,8} = 140.191.875 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = 59,5 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \cdot \left(\frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \right) = 0,75 \cdot \left(\frac{600 \cdot 440,5}{600 + 420} \right) = 194 \text{ mm}$$

Digunakan $X = 80 \text{ mm}$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot X}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 80}{420} = 1.445 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta \cdot X}{2} \right) = 1.445 \cdot 420 \cdot \left(440,5 - \frac{0,85 \cdot 80}{2} \right) = 291.357.517 \text{ Nmm}$$

$M_{nc} > M_n$ (OK)

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 140.191.875 - 291.357.517 = -151.16.642 \text{ Nmm}$$

Karena, $M_n - M_{nc} < 0$, maka tidak perlu tulangan tekan. Sehingga didesain dengan menggunakan tulangan tunggal.

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{140.191.875}{300 \cdot 440,5^2} = 2,4$$

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

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 2,4}{420}} \right)$$

$$\rho = 0,006$$

Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 300 \cdot 440,5 = 793 \text{ mm}^2$$

Dipakai 3D19 (851 mm²)

Luas Tulangan Tekan

$$A_s' = 0,5 \cdot A_s = 0,5 \cdot 793 = 396,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai 2D19 (567 mm²)

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \cdot d} = \frac{851}{300 \cdot 436} = 0,007$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ (OK)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{851 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 26,7 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 851 \cdot 420 \cdot \left(440,5 - \frac{26,7}{2} \right)$$

$$M_n = 151.066.717 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n$ Beban (OK)

7.1.4 Syarat Pendetailan Penulangan Lentur Balok Induk

Syarat Pendetailan Penulangan Lentur Balok Induk pada Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Niscala di Kota Surabaya sesuai dengan SNI 2847:2019 adalah sebagai berikut:

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.1

Gaya Tekan Aksial

$$P_u < A_g f_c' / 10$$

$$934,6 \text{ N} < 525.000 \text{ N (OK)}$$

Bentang Bersih

$$l_n \geq 4d$$

$$5.940 \text{ mm} \geq 1.720 \text{ mm (OK)}$$

Perbandingan Dimensi Balok

$$b_w \geq 0,3h$$

$$300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (OK)}$$

Jarak Sisi Komponen Struktur

$$C_2 = 600 \text{ mm}$$

$$0,75 \times C_2 = 450 \text{ mm (Dipakai)}$$

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1

Luas Tulangan Minimal

$$A_{s_{\min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{420} \cdot 300 \cdot 436 = 461 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{1,4}{420} \cdot 300 \cdot 436 = 436 \text{ mm}^2$$

$$461 \text{ mm}^2 > 436 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Syarat Batas Rasio Penulangan

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,012 < 0,025 \text{ (OK)}$$

$$0,0035 < 0,006 < 0,025 \text{ (OK)}$$

Tulangan Menerus

Harus disediakan paling sedikit 2 tulangan menerus pada sisi atas dan bawah Balok Induk. Syarat ini terpenuhi karena jumlah tulangan pada Daerah Lapangan dan Daerah Tumpuan sesuai dengan yang disyaratkan.

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.2

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$203.075.900 \text{ Nmm} \geq -101.537.950 \text{ Nmm (OK)}$$

Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$203.075.900 \text{ Nmm} \geq 28.038.375 \text{ Nmm (OK)}$$

Jika tulangan longitudinal balok induk melewati joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok harus lebih besar 20x diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

$$d > 20D$$

$$436 > 380 \text{ (OK)}$$

Penyusunan tulangan Balok Induk, jarak minimum antar 2 batang tulangan dengan lebar Balok Induk. Lebar Balok Sengkang harus lebih besar dari jarak yang dibutuhkan agar 1 lapis dapat dipasang 6 buah tulangan.

Lebar Balok Sengkang > Jarak dibutuhkan

$$200 \text{ mm} > 171 \text{ mm (OK)}$$

7.1.5 Penulangan Geser Balok Induk

Gaya Geser Balok Induk Hasil Analisa Struktur

Gaya geser Balok Induk hasil dari *output* analisa struktur menggunakan program bantu adalah sebesar 160.875,5 N.

Gaya Geser Balok Induk Sesuai SNI 2847:2019

Gaya geser desain, V_e , harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka joint. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

Kuat geser rencana pada Balok Induk yang terkena beban rencana sesuai dengan syarat SNI 2847:2019 tidak boleh kurang hasil dari persamaan di bawah ini.

$$V_e = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{l_n} \pm \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

Keterangan:

M_{pr} = Momen Nominal di Ujung Balok Induk

l_n = Bentang Bersih Balok Induk

W_u = Beban Gravitasi Tributary Terfaktor

Nilai M_{pr}

$$M_{pr_{1,2}}^+ \text{ (Atas)}$$

Tulangan pada ujung Balok Induk, $A_s = 1.701 \text{ mm}^2$ (6D19)

$$a = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1.701 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 100 \text{ mm}$$

$$M_{pr_{1,2}}^+ = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1.701 \cdot 1,25 \cdot 420 \cdot \left(440,5 - \frac{100}{2}\right)$$

$$M_{pr_{1,2}}^+ = 344.681.385 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr_{1,2}}^- \text{ (Bawah)}$$

Tulangan pada ujung Balok Induk, $A_s = 851 \text{ mm}^2$ (3D19)

$$a = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 851 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 50 \text{ mm}$$

$$M_{pr_{1,2}}^- = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 851 \cdot 1,25 \cdot 420 \cdot \left(440,5 - \frac{50}{2}\right)$$

$$M_{pr_{1,2}}^- = 183.611.385 \text{ Nmm}$$

Nilai Beban Terfaktor (W_u)

Beban Mati (DL)

$$Q \text{ Ekuivalen} : 402 \times 6 \times \frac{2}{3} \times 2 = 3.216 \quad \text{Kg/m}$$

$$\text{Berat Sendiri} : 0,3 \times 0,5 \times 2.400 = 360 \quad \text{Kg/m}$$

$$\text{Beban Mati Balok Induk (DL)} = 3.576 \quad \text{Kg/m}$$

Beban Hidup (LL)

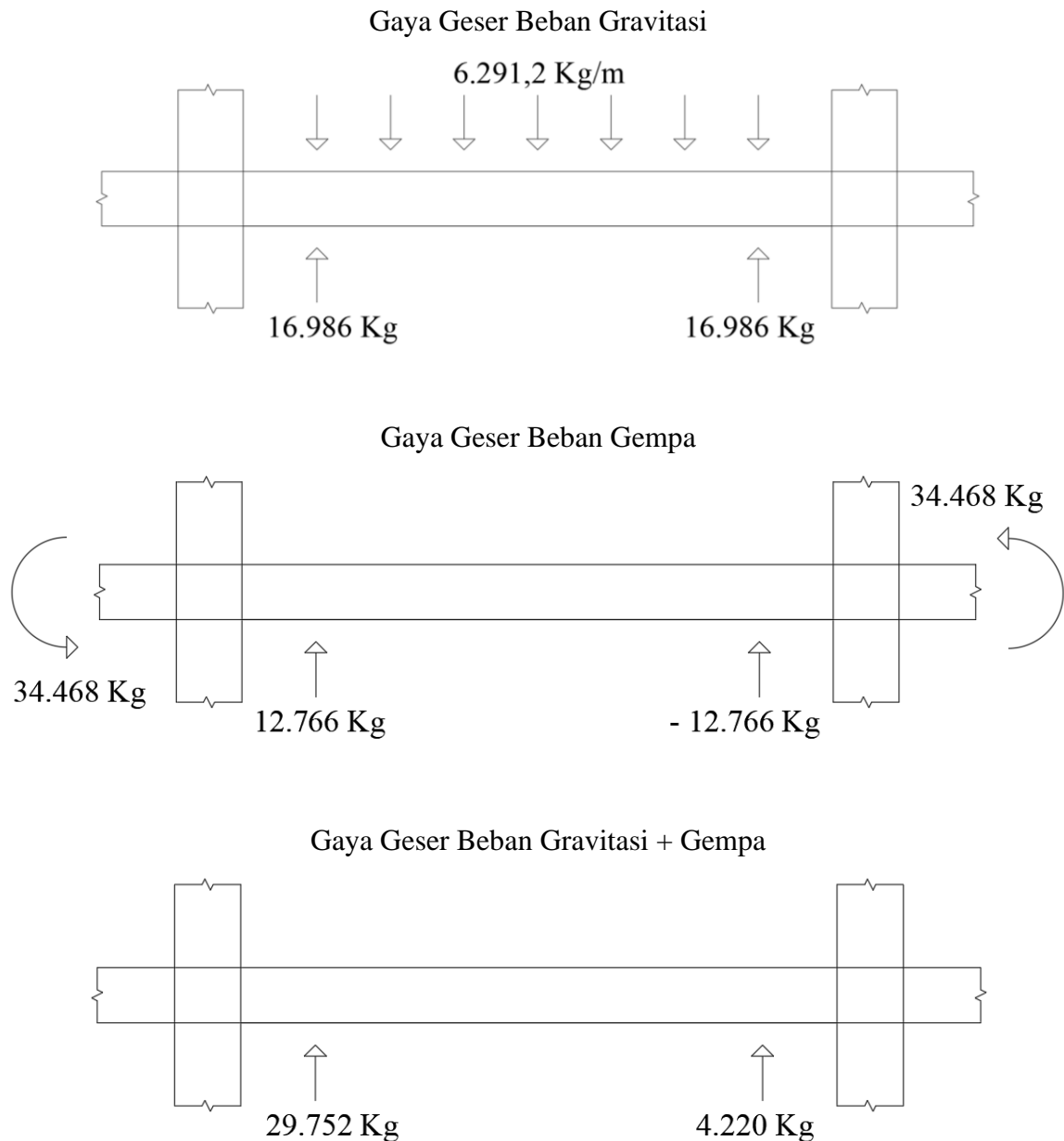
$$Q \text{ Ekuivalen} : 250 \times 6 \times \frac{2}{3} \times 2 = 2.000 \quad \text{Kg/m}$$

Kombinasi Beban (W_u)

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

$$W_u = (1,2 \times 3.576) + (1,0 \times 2.000)$$

$$W_u = 6.291,2 \text{ Kg/m}$$



Gambar 7.3 Gaya Geser Balok Induk

Gaya Geser Balok Induk Rencana

Gaya geser Balok Induk rencana yang digunakan adalah gaya geser yang terbesar antara gaya geser hasil dari *output* analisa struktur menggunakan program bantu dan perhitungan manual sesuai dengan SNI 2847:2019. Hasil dari perbandingan menyebutkan bahwa gaya geser hasil dari perhitungan manual sesuai dengan SNI 2847:2019 lebih besar daripada *output* analisa struktur menggunakan program bantu. Nilai gaya geser rencana yang digunakan adalah sebesar 29.752 Kg.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 tentang tulangan transversal, tulangan transversal harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$, bilamana bagian 1) dan 2) di bawah ini terpenuhi.

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

$$34.468 \text{ Kg} > 14.876 \text{ Nmm (OK)}$$

- 2) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$.

$$93,46 \text{ Kg} < 26.250 \text{ Kg (OK)}$$

Syarat pada bagian 1) dan 2) terpenuhi, maka dapat diasumsikan nilai $V_c = 0$. Perhitungan penulangan pada Balok Induk sesuai dengan syarat SNI 2847:2019 Pasal 11.5.1.1 harus memenuhi persamaan di bawah ini.

$$\phi V_n \geq V_u$$

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

Keterangan:

ϕ = Faktor Reduksi Kuat Geser

V_u = Gaya Geser Terfaktor

V_n = Kuat Geser Nominal

V_c = Kuat Geser Nominal oleh Beton

V_s = Kuat Geser Nominal oleh Tulangan Geser

Nilai V_s

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{160.875.500}{0,75} - 0 = 214.500.667 \text{ Nmm}$$

Spasi

Jarak Spasi Balok Non-prategang (SNI 2847:2019 Pasal 9.7.6.5.2)

$$V_s > 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$214.500.667 \text{ Nmm} > 255.362 \text{ Nmm}$$

→ Jarak spasi maksimum, $d/4 = 436/4 = 109 \text{ mm}$, digunakan 100 mm.

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

$$160.875.500 \text{ Nmm} \geq 160.875.500 \text{ Nmm}$$

Syarat $[\phi (V_c + V_s) \geq V_u]$, maka perlu 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, maka harus disediakan

dengan menggunakan tulangan geser melintang dan harus dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

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

Sengkang pada Balok Induk menggunakan $\varnothing 10$ dan 2 kaki, maka nilai A_v dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini.

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \varnothing^2$$

Nilai A_v

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

Nilai Jarak Sengkang Perlu (S)

$$S = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 420 \cdot 440,5}{214.500} = 135,4 \text{ mm}$$

7.1.6 Syarat Pendetailan Penulangan Geser Balok Induk

Syarat pendetailan penulangan geser (Sengkang) Balok Induk dilakukan sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4. Adapun syarat-syarat tersebut dapat dilihat pada keterangan di bawah ini.

1. Sengkang pengekang harus dipasang pada Balok Induk di daerah:
 - a. Dua kali tinggi Balok Induk diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung Balok Induk.
 $\rightarrow 2h = 2 \times 500 = 1.000 \text{ mm}$
Jarak wajib pemasangan Sengkang dari muka tumpuan adalah sepanjang 1.000 mm pada masing-masing ujung Balok Induk.
 - b. Dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.
 $\rightarrow 2h = 2 \times 500 = 1.000 \text{ mm}$
Jarak wajib pemasangan Sengkang dari muka tumpuan adalah sepanjang 1.000 mm pada masing-masing ujung Balok Induk. Sengkang tertutup maupun terbuka, diperbolehkan untuk digunakan dengan catatan setiap sisi penampang terlindungi oleh Sengkang.

2. Senggang tertutup pertama harus ditempatkan tidak boleh melebihi 50 mm dari muka penumpu, diambil jarak 50 mm. Spasi Senggang tidak boleh melebihi yang terkecil dari hasil perhitungan di bawah ini.
 - a. $d/4 = 436/4 = 109$ mm
 - b. $6\varnothing = 6 \times 10 = 60$ mm
 - c. 150 mm
3. Bila diperlukan senggang tertutup, batang tulangan longitudinal utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus diberi tumpuan lateral. Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm.
 - a. Jarak Senggang Tumpuan
109 mm < 134,2 mm (Digunakan jarak Senggang Tumpuan 100 mm)
 - b. Senggang Tumpuan
 - Digunakan Senggang $\varnothing 10-100$ mm (Senggang Sendi Plastis).
 - Menggunakan Senggang dua kaki.
 - Dipasang sejauh 1.000 mm dari muka tumpuan, Senggang pertama harus ditempatkan 50 mm dari muka tumpuan.
 - Jumlah Senggang 11 buah pada masing-masing ujung Balok Induk.
 - Untuk mengetahui Senggang pasa bentang lebih dari 1.000 mm (Senggang Lapangan), diambil nilai $V_u = 13.393,93$ Kg dari *output* analisa struktur menggunakan program bantu.

Nilai V_c

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

$$V_c = \left(0,16 \cdot 1 \cdot \left(\sqrt{35} + 17\right) \cdot \frac{851}{300 \cdot 436} \cdot \frac{133.939,3 \cdot 436}{112.153.500}\right) \cdot 300 \cdot 440,5$$

$$V_c = 1.624,7 \text{ N}$$

Nilai V_s

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{133.939,3}{0,75} - 1.624,7 = 150.294,4 \text{ N}$$

Pada perencanaan Balok Induk ini perlu diberi tulangan geser tegak lurus dengan sumbu komponen struktur sesuai SNI 2847:2019 Pasal 11.5.4.8, maka harus disediakan dengan menggunakan tulangan geser melintang dan harus dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

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

Sengkang pada Balok Induk menggunakan D10 dan 2 kaki, maka nilai A_v dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini.

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \varnothing^2$$

Nilai A_v

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

Nilai Jarak Sengkang Perlu (S)

$$S = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 420 \cdot 440,5}{150.294,4} = 191,3 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.6, Sengkang harus di pasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang Balok Induk.

a. Jarak Sengkang Lapangan

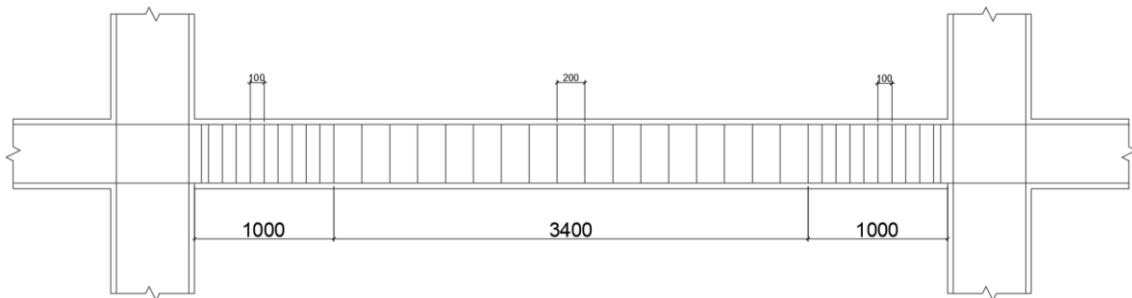
$$d/2 > S$$

$$218 \text{ mm} > 191,3 \text{ mm}$$

Digunakan jarak Sengkang Lapangan 200 mm

b. Sengkang Lapangan

- Digunakan Sengkang $\varnothing 10$ -200 mm.
- Menggunakan Sengkang dua kaki.
- Jumlah Sengkang 18 buah pada daerah lapangan Balok Induk.



Gambar 7.4 Pemasangan Sengkang pada Balok Induk

7.1.7 Penulangan Torsi Balok Induk

Data perencanaan untuk perhitungan penulangan Torsi Balok Induk sesuai dengan SNI 2847:2019 adalah sebagai berikut:

$$T_u = 1.750,42 \text{ Kgm} = 17.504.200 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 16.087,55 \text{ Kg} = 160.875,5 \text{ N}$$

$$A_{cp} = 300 \times 500 = 150.000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 + 500) = 1.600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
X_1 &= 300 - 2(40 + 10/2) = 210 && \text{mm} \\
X_2 &= 500 - 2(40 + 10/2) = 410 && \text{mm} \\
P_h &= 2 \times (210 + 410) = 1.240 && \text{mm} \\
A_{oh} &= 210 \times 410 = 86.100 && \text{mm}^2 \\
A_o &= 0,85 \times A_{oh} = 73.185 && \text{mm}^2 \\
\text{Pakai } q &= 45, \cot q = 1 \\
d &= 440,5 && \text{mm}
\end{aligned}$$

Keperluan Torsi

Tulangan Torsi (SNI 2847:2019 Pasal 22.7.4.1)

$$T_n = 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) = 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{35} \cdot \left(\frac{150.000^2}{1.600} \right) = 5.178.881 \text{ Nmm}$$

Torsi Terfaktor

$$fT_n = 0,75 \times 5.178.881 = 3.884.161 \text{ Nmm}$$

Tulangan Torsi perlu didesain, karena $fT_n < T_u$

Kebutuhan Tulangan Torsi (SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1)

$q = 45$ (SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.2)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} = \frac{5.178.881}{2 \cdot 73.185 \cdot 420 \cdot \cot 45} = 0,084 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Longitudinal Tambahan untuk menahan Torsi

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{y_t}}{f_y} \cdot \cot^2 \theta = 0,084 \cdot 1.240 \cdot \frac{420}{420} \cdot \cot^2 45 = 104,5 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan Torsi longitudinal (SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.3)

$$A_{t_{\min}} = \left(0,42 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \frac{A_{cp}}{f_{y_t}} \right) - \left(\left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{y_t}}{f_y} \right)$$

$$A_{t_{\min}} = \left(0,42 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{150.000}{420} \right) - \left(0,084 \cdot 1.240 \cdot \frac{420}{420} \right)$$

$$A_{t_{\min}} = 783 \text{ mm}^2$$

Tulangan Torsi menggunakan D10 dan 2 kaki

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan Torsi yang digunakan

$$A_{t_{\text{pakai}}} = A_{t_{\min}} - A_v = 783 - 157 = 626 \text{ mm}^2$$

Disediakan pada sekeliling Senggang tertutup.

Penampang Balok

Penampang Balok (SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1)

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 436 = 131.550 \text{ N}$$

Maka,

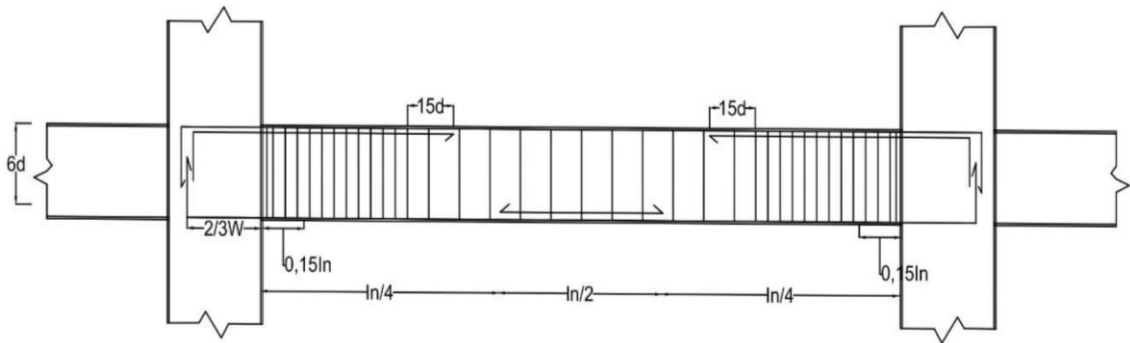
$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \cdot \sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{160.875,5}{300 \times 436}\right)^2 + \left(\frac{17.504.200 \times 1.240}{1,7 \times 86.100^2}\right)^2} \leq 0,75 \cdot \left(\frac{131.550}{300 \times 436} + 0,66 \times \sqrt{35}\right)$$

$$2,17 \text{ MPa} \leq 3,68 \text{ MPa (OK)}$$

7.1.8 Pemutusan Tulangan Balok Induk

Pemutusan tulangan balok perlu dilakukan perhitungan jarak dimana pemutusan tulangan harus dilakukan untuk mentransfer momen positif ke momen negatif atau sebaliknya seperti pada Gambar 7.5 Pemutusan Tulangan Balok Induk.



Gambar 7.5 Pemutusan Tulangan Balok Induk

Nilai-nilai untuk pemasangan Balok Induk dapat dilihat pada keterangan di bawah ini.

$$d = 436 \text{ mm}$$

$$6D = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$2/3 W = 2/3 \times 500 = 333 \text{ mm}$$

$$ln/4 = 5.400/4 = 1.350 \text{ mm}$$

$$15D = 15 \times 19 = 285 \text{ mm}$$

$$0,15ln = 0,15 \times 5.400 = 810 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tumpuan dari penjangkaran

$$333 + 1.350 + 285 = 1.968 \text{ mm (Dipasang 200 mm dari muka kolom)}$$

Panjang tulangan bawah pada lapangan

$$5.400 - (2 \times 0,15 \times 5.400) = 3.780 \text{ mm (Dipasang di tengah bentang)}$$

7.2 Kolom

7.2.1 Perencanaan Kolom

Kolom 600/600 mm

Bentang Antar Kolom	= 6000 mm
Tinggi Kolom	= 4000 mm
Tebal Selimut Beton (s)	= 40 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)
Diameter Tulangan Utama (D)	= D22 mm
Diameter Tulangan Sengkang (\emptyset)	= \emptyset 14 mm
$d = 600 - 40 - 14 - \frac{1}{2}22$	= 535 mm

Balok 300/500 mm

Bentang Balok	= 6000 mm
Tebal Selimut Beton (s)	= 40 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)
Diameter Tulangan Utama (D)	= D19 mm
Diameter Tulangan Sengkang (\emptyset)	= \emptyset 10 mm
$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}19$	= 440,5mm
Tulangan Atas Terpasang	= 6D19 (1.701mm ²)
Tulangan Bawah Terpasang	= 3D19 (851 mm ²)

Kolom Sway atau Non-sway

P_u	= 192.428,7 Kg	= 1.924.287 N
V_u	= 17.349,08 Kg	= 173.490,8 N
M_2	= 11.186,99 Kg	= 111.869,9 N
M_1	= 5.675,47 Kg	= 56.754,7 N
D_0	= 0,0051 m	= 5,1 mm

$$Q = \frac{P_u \cdot \Delta_0}{V_u \cdot L_c} = \frac{74.731,4 \times 5,1}{89.320,5 \times 4.000} = 0,014$$

$Q < 0,05$ (Kolom *Non-sway*)

Panjang Tekuk

Kolom

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

$$E_c = 4.700 \times \sqrt{35} = 27.806 \text{ Nmm}^4$$

Balok

$$I_g = \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 = 3.125.000.000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4.700 \times \sqrt{35} = 27.806 \text{ Nmm}^4$$

Panjang Efektif

Kolom Atas

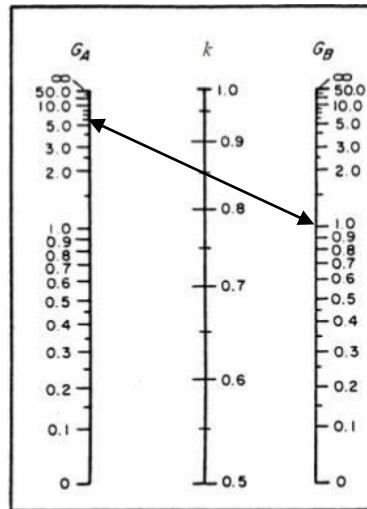
$$\Psi_A = \frac{\frac{10.800.000.000}{4.000} + \frac{10.800.000.000}{4.000}}{\frac{3.125.000.000}{6.000} + \frac{3.125.000.000}{6.000}} = 5,18$$

Kolom Bawah

$$\Psi_A = 1,00$$

Panjang Efektif Kolom

$$k = 0,85$$



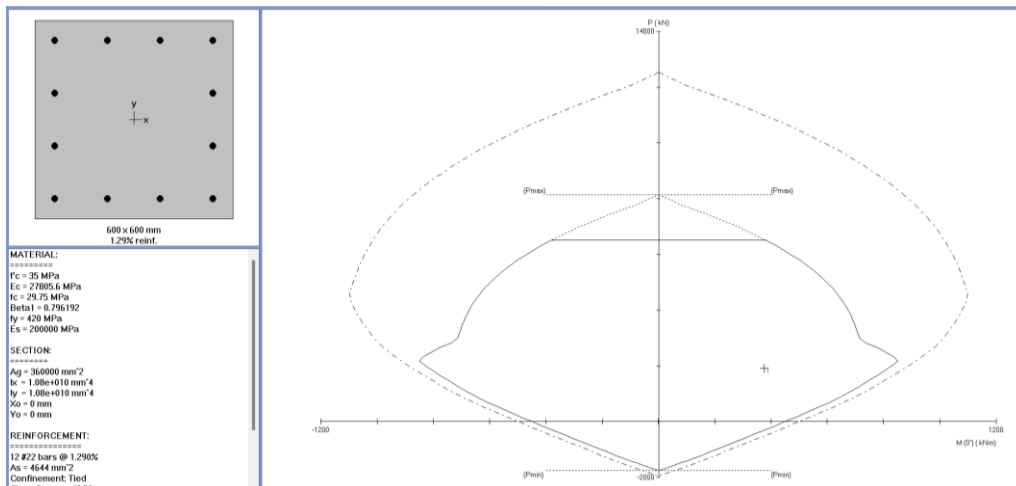
Gambar 7.6 Nomogram Kolom *Non-sway*

Kelangsingan Kolom

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$\frac{0,85 \cdot 4.000}{0,6 \cdot 600} \leq 34 - 12 \left(\frac{56.754,7}{111.869,9} \right)$$

$$9,4 \leq 27,9 \text{ (Tidak Perlu Cek Kelangsingan)}$$



Gambar 7.7 *Output* Analisa Kolom

Analisa struktur menggunakan program bantu spColumn mendapatkan *output* seperti pada Gambar 7.7 *Output* Analisa Kolom di atas dengan jumlah tulangan 12 buah diameter 22 mm, semua gaya yang diinputkan ke program spColumn tersebar dan tidak ada yang melewati garis interaksi dan dari prosentase spColumn 1,29% telah memenuhi persyaratan.

7.2.2 Kuat Maksimal Tekan Rencana Kolom

Komponen struktur non-prategang dengan tulangan sengkang pengikat, Gaya Aksial Terfaktor (P_u) tidak boleh lebih dari ϕP_n max.

$$\phi P_n \text{ max} = 0,80 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}]$$

$$\phi P_n \text{ max} = 0,80 \cdot 0,75 \cdot [0,85 \cdot 35 \cdot (360.000 - 4.644) + 420 \cdot 4.644]$$

$$\phi P_n \text{ max} = 7.513.392,6 \text{ N}$$

$$\phi P_n \text{ max} > P_u \text{ (OK)}$$

7.2.3 Syarat Pendetailan Penulangan Lentur dan Aksial Kolom

SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.6

$$P_u > \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$1.924.287 > \frac{360.000 \cdot 35}{10}$$

$$1.924.287 > 1.260.000 \text{ (OK)}$$

SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1

Penampang dengan dimensi terpendek $> 300 \text{ mm}$

$$600 \text{ mm} > 300 \text{ mm (OK)}$$

7.2.4 Strong Coloumn Weak Beam

Persyaratan *Strong Coloumn Weak Beam* sesuai dengan filosofi “*Capacity Design*” menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur Kolom harus memenuhi persamaan $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$. Perlu untuk diperhatikan bahwa M_{nc} harus dicari gaya aksial terfaktor dengan kombinasi beban kuat lentur terendah, konsisten dengan arah gempa yang akan ditinjau, dengan itu yang digunakan untuk memeriksa syarat *Strong Coloumn Weak Beam* hanya kombinasi beban gempa saja.

Jumlah nilai $\sum M_{nb}$ adalah M_{nb}^+ dan M_{nb}^- balok yang menyatu dengan kolom, yang dapat dihitung sesuai dengan persamaan di bawah ini.

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

Pada Kolom terdapat Balok Induk dan Pelat yang menyatu juga sehingga dalam menghitung M_{nb}^+ harus mengikutsertakan luas tulangan pelat dan selebar lebar efektifnya.

$$d'' = S + \emptyset + D + \left(\frac{\sum \text{tul.bawah}}{\sum \text{tul.atas}} \cdot \text{jarak tul. utama}\right)$$

$$d'' = 40 + 10 + 19 + \left(\frac{3}{6} \cdot 25\right) = 81,5 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan pada Balok Induk dan Pelat

$$\text{Atas} = d'' - \text{jrk tul.} - \left(\frac{1}{2} \cdot \emptyset\right) = 81,5 - 15 - \left(\frac{1}{2} \cdot 10\right) = 61,5 \text{ mm}$$

$$\text{Bawah} = \text{tebal} - d'' - \text{jrk. tul.} - \left(\frac{1}{2} \cdot \emptyset\right) = 120 - 81,5 - 15 - \left(\frac{1}{2} \cdot 10\right) = 18,5 \text{ mm}$$

$$B_e = \frac{1}{12} \times 600 = 50 \text{ mm}$$

$$A_{s_{\text{atas}}} = 1.701 + \left[2 \times \left(\frac{50}{150}\right) \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2\right] = 1.753 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{bawah}}} = 851 \text{ mm}^2$$

$$d_{\text{atas}} = 440,5 - \left(\frac{524}{1.753} \times 75,5\right) + \left(\frac{524}{1.753} \times 19,5\right) = 423,8 \text{ mm}^2$$

$$d_{\text{bawah}} = 440,5 \text{ mm}^2$$

M_{nb}^- (Atas)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{1.753 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} = 82,5 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^- = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1.753 \times 420 \times \left(423,8 - \frac{82,5}{2}\right) = 281.658.428,5 \text{ Nmm}$$

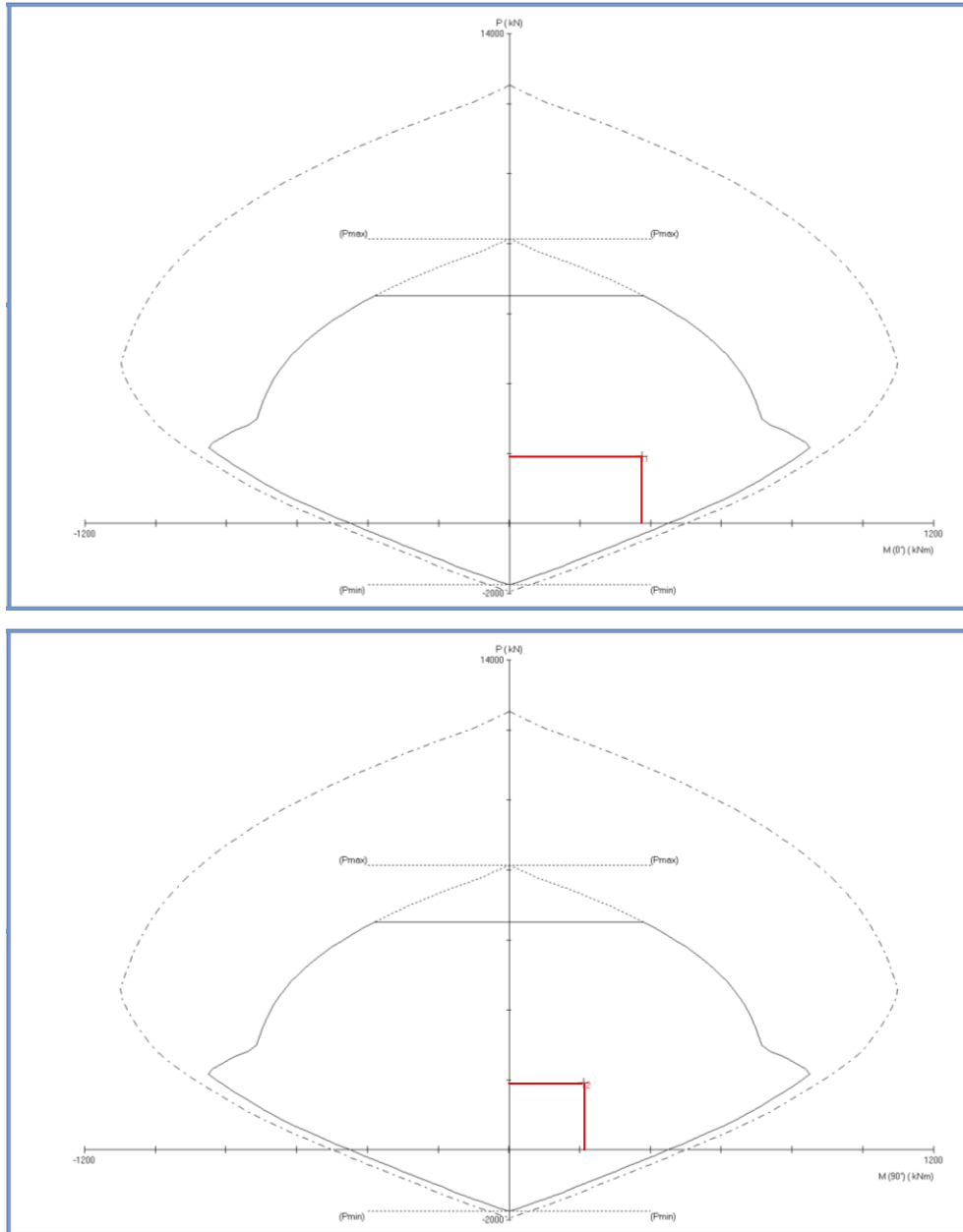
M_{nb}^+ (Bawah)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{851 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} = 40,0 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^+ = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 851 \times 420 \times \left(440,5 - \frac{40,0}{2}\right) = 309.580.006,2 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_{nb} = M_{nb}^- + M_{nb}^+ = 281.658.428,5 + 309.580.006,2 = 591.238.434,7 \text{ Nmm}$$

Nilai M_{nc} pada Kolom didapat dengan spColoumn pada Gambar 7.8 Diagram Interaksi Garis dengan menarik garis lurus dari sumbu Y ke titik Pu kemudian setelah garis menyinggung garis interaksi, sehingga garis dapat ditarik lagi ke sumbu X sehingga dapat ditemukan nilai M_{nc} .



Gambar 7.8 Diagram Interaksi Garis Kolom

$$\Sigma M_{nc} = 375 + 213 = 588 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$\frac{588}{0,65} \geq 1,2 \left(\frac{591,24}{0,8} \right)$$

$$905 \text{ kNm} \geq 887 \text{ kNm (OK)}$$

7.2.5 Kebutuhan Pengekangan Kolom

Tulangan transversal yang disyaratkan sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 harus dipasang sepanjang l_0 dari masing-masing muka joint. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:

- a. Tinggi komponen pada muka struktur = 500 mm
- b. $1/6 \times$ bentang bersih Kolom = $1/6 \times 3.500 = 583$ mm
- c. 450 mm

Diambil nilai $l_o = 500$ mm dari muka tumpuan.

Jarak bentang pemasangan sengkang dari muka tumpuan Kolom. Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3 spasi maksimum tulangan transversal sepanjang l_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $1/4 \times$ dimensi Kolom = $1/4 \times 600 = 150$ mm
- b. $6 \times D = 6 \times 22 = 132$ mm
- c. Jarak Sengkang, $S_o = 100 + \left(\frac{350-150}{3} \right) = 167$ mm

Nilai S_o , $100 \text{ mm} < S_o < 132 \text{ mm}$. Jarak Sengkang digunakan = 100 mm.

Jumlah Tulangan Transversal harus sesuai dengan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4 untuk Sengkang pengekang persegi, diambil nilai terbesar dari hasil perhitungan antara persamaan di bawah ini.

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

Atau

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

Keterangan:

s = Spasi Tulangan Transversal

b_c = Dimensi Penampang Inti Kolom

A_g = Luas Bruto Penampang

A_{ch} = Luas Penampang pada komponen struktur diukur sampai tepi luar Sengkang

Nilai A_{sh}

$$A_{sh} = 0,3 \times \left(\frac{600 \times 600}{(600 - (2 \times 40))^2} - 1 \right) \times \frac{100 \times (600 - ((2 \times 40) - 14)) \times 35}{420}$$

$$A_{sh} = 442 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{100 \times (600 - ((2 \times 40) - 14)) \times 35}{420}$$

$$A_{sh} = 400,5 \text{ mm}^2$$

Nilai luas Sengkang yang digunakan adalah 442 mm², sehingga untuk memenuhi kebutuhan luas tulangan Sengkang di pakai 4 kaki dengan diameter tulangan 14 mm.

$$A_{sh} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 14^2 = 616 \text{ mm}^2$$

Sisa panjang pada kolom yang berada diluar sendi plastis dipasang sengkang tidak boleh lebih dari $6D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$. Diambil jarak diluar sendi plastis 100 mm.

Sengkang Kolom pada Muka Joint

- Dipakai Sengkang 4D14-100 mm
- Dipasang sejauh 500 mm dari muka joint
- Jumlah Sengkang 5 buah

Sengkang Kolom setelah jarak 500 mm

- Dipakai Sengkang 4D14-100 mm
- Dipasang setelah jarak 500 mm dari kedua muka joint
- Jumlah Sengkang 24 buah

7.2.6 Periksa Kebutuhan Pengekang untuk Beban Geser Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1 Gaya geser desain (V_e) harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka joint pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi (M_{pr}) di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada Kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan (M_{pr}) Balok yang merangka ke joint. Nilai (V_e) tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur yang ditentukan berdasarkan dengan persamaan di bawah ini.

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

Nilai M_{pr} Kolom

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{4.644 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 35 \times 600} = 137 \text{ mm}^2$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4.644 \times 1,25 \times 420 \times \left(535 - \frac{137}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1.137.373.650 \text{ Nmm}$$

Nilai Gaya Geser Kolom

$$V_{ekolom} = \frac{1.137,4 + 1.137,4}{4 - 0,5} = 650 \text{ kN}$$

Gaya geser maksimum dari *output* Analisa Struktur untuk kolom diperoleh sebesar 173,491 kN. Hubungan Balok dan Kolom (HBK) serta syarat pada *Strong Column Weak Beam* sudah terpenuhi maka nilai geser (V_u) harus lebih kecil dari gaya geser Kolom

terbesar, sedangkan untuk melihat gaya geser pada Balok dapat melihat pada subbab 7.1.5 Penulangan Geser Balok Induk.

Nilai Gaya Geser Balok

$$M_{pr,1,2}^+ = 344.681.385 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr,1,2}^- = 183.611.385 \text{ Nmm}$$

$$V_{u\text{balok}} = \frac{344,681+183,611}{4-0,6} = 155,38 \text{ kN}$$

Perencanaan Geser terpenuhi, karena

$$V_{e\text{kolom}} > V_{e\text{output}}$$

$$650 \text{ kN} > 173,491 \text{ kN}$$

$$V_{u\text{balok}} < V_{e\text{kolom}}$$

$$155,38 \text{ kN} < 650 \text{ kN}$$

Tulangan transversal berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua persamaan di bawah ini terpenuhi.

$$V_u > 0,5V_e$$

$$155,38 \text{ kN} > 325 \text{ kN}$$

$$P_u < A_g f_c' / 20$$

$$1.924,287 \text{ kN} > 630 \text{ kN}$$

Kedua persamaan di atas tidak terpenuhi, maka tidak dapat diasumsikan nilai $V_c = 0$. Nilai V_c harus di hitung berdasarkan dengan persamaan di bawah ini.

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Keterangan:

λ = Faktor Modifikasi untuk Beton Normal

N_u = Gaya Aksial Terfaktor yang Tegak Lurus Terhadap Penampang

Nilai V_c

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{1.924.287}{14 \cdot 360.000}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 535 = 446.102 \text{ N} = 446,1 \text{ kN}$$

Nilai V_s

$$A_v = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 14^2 = 616 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} = \frac{616 \cdot 420 \cdot 535}{100} = 1.384,152 \text{ kN}$$

$$\emptyset(V_c + V_s) \geq V_{e\text{kolom}}$$

$$0,75 \cdot (446,1 + 1.384,152) \geq 650$$

$$1.373 \text{ kN} \geq 650 \text{ kN (OK)}$$

Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang Kolom dengan spasi tidak boleh melebihi $d/2 = 535/2 = 267,5$ mm, sehingga terdapat jumlah kaki atau spasi dalam sengkang kolom.

Sengkang Kolom pada Muka Joint

- Dipakai Sengkang 4D14-100 mm
- Dipasang sejauh 500 mm dari muka joint
- Jumlah Sengkang 5 buah

Sengkang Kolom setelah jarak 500 mm

- Dipakai Sengkang 4D14-100 mm
- Dipasang setelah jarak 500 mm dari kedua muka joint
- Jumlah Sengkang 24 buah

7.2.7 Sambungan Lewatan Tulangan Kolom

Sambungan lewatan tulangan yang diletakan pada tengah Kolom, harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang disyaratkan pada SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.3 sesuai dengan persamaan di bawah ini.

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

Keterangan:

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

$$C_b = 40 \text{ mm (Jarak dari pusat batang tulangan kepermukaan beton terdekat)}$$

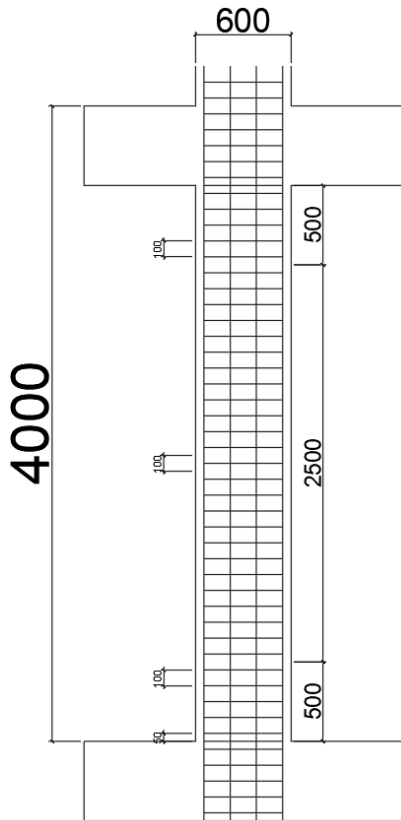
$$K_{tr} = 0$$

$$\frac{C_b+K_{tr}}{d_b} = \frac{40+0}{22} = 1,82 < 2,5 \text{ (Digunakan Nilai 2,5)}$$

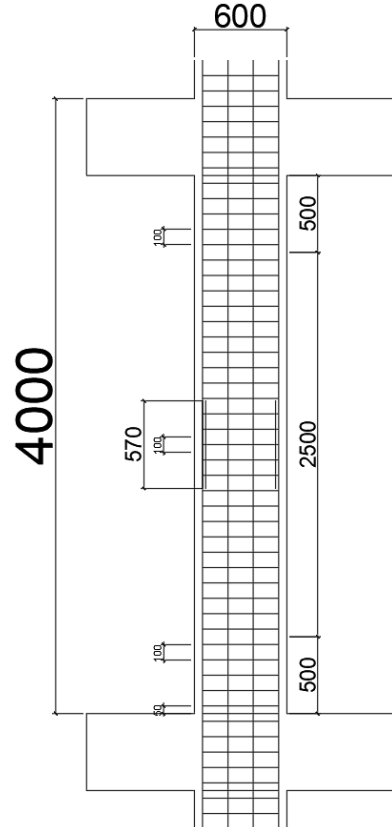
Nilai l_d

$$l_d = \left(\frac{420}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{2,5} \right) \times 22 = 568 \text{ mm} \approx 570 \text{ mm (Ditengah Kolom)}$$

Pabrik memiliki keterbatasan dalam hal panjang tulangan, maka dari itu diperlukan sambungan lewatan sepanjang 568 mm yang diletakkan pada tengah Kolom. Lantai 1 tidak dipasang sambungan lewatan untuk faktor keamanan karena pada lantai 1 memiliki momen yang lebih besar jika dibandingkan dengan lantai yang lain.



Gambar 7.9 Tulangan Kolom pada Lantai
1



Gambar 7.10 Sambungan Lewatan pada
Kolom

7.3 Hubungan Balok Kolom

Hubungan Balok Kolom pada perencanaan Struktur Gedung Apartemen Niscala didesain hubungan 4 balok, 3 balok, dan 2 balok yang mengekang kolom. SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.2 menyebutkan bahwa bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya $\frac{3}{4}$ lebar Kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pada Pasal 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan pada Pasal 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian Balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut.

Desain Hubungan Balok Kolom mempunyai lebar balok kurang dari $\frac{3}{4}$ lebar Kolom, meski syarat ini terpenuhi tetapi pada Desain Hubungan Balok Kolom ini tidak dilakukan reduksi jumlah tulangan yang sesuai dengan Pasal di atas dan tidak menambah lebar spasi sengkang.

7.3.1 Desain Hubungan Balok Kolom Terkekang 4 Balok

Gaya geser yang terjadi pada Hubungan Balok Kolom terkekang 4 Balok adalah $T_1 + T_2 - V_u$. T_1 dan T_2 didapatkan dari tulangan tarik dan tekan pada balok-balok yang menyatu di Kolom.

$$T_1(6D19) = 1.701 \times 1,25 \times 420 = 893.025 \text{ N} = 893,025 \text{ kN}$$

$$T_2(3D19) = 851 \times 1,25 \times 420 = 446.775 \text{ N} = 446,775 \text{ kN}$$

V_u Kolom merupakan gaya geser pada kolom dihitung dengan M_{pr} kedua ujung balok yang menyatu dengan Kolom karena panjang Kolom atas dan bawah sama, maka setiap ujung kolom memikul jumlah M_{pr} Balok yang sama. Nilai M_{pr} yang diakibatkan tulangan terpasang pada Balok yang berada pada Kolom yaitu akibat dari tulangan 6D22 dan 3D22, dapat dilihat pada subbab 7.1.5 Penulangan Geser Balok Induk.

$$M_{pr_{1,2}}^+ = 344.681.385 \text{ Nmm} = 344,68 \text{ kNm}$$

$$M_{pr_{1,2}}^- = 183.611.385 \text{ Nmm} = 183,61 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{344,68 + 183,61}{2} = 264,145 \text{ kNm}$$

$$V_{u_{balok}} = \frac{264,145 + 264,145}{4 - 0,5} = 150,94 \text{ kNm}$$

Nilai Gaya Geser Bersih pada Joint

$$V_{x-x} = T_1 + T_2 - V_u = 893,025 + 446,775 - 150,94 = 1.188,86 \text{ kNm}$$

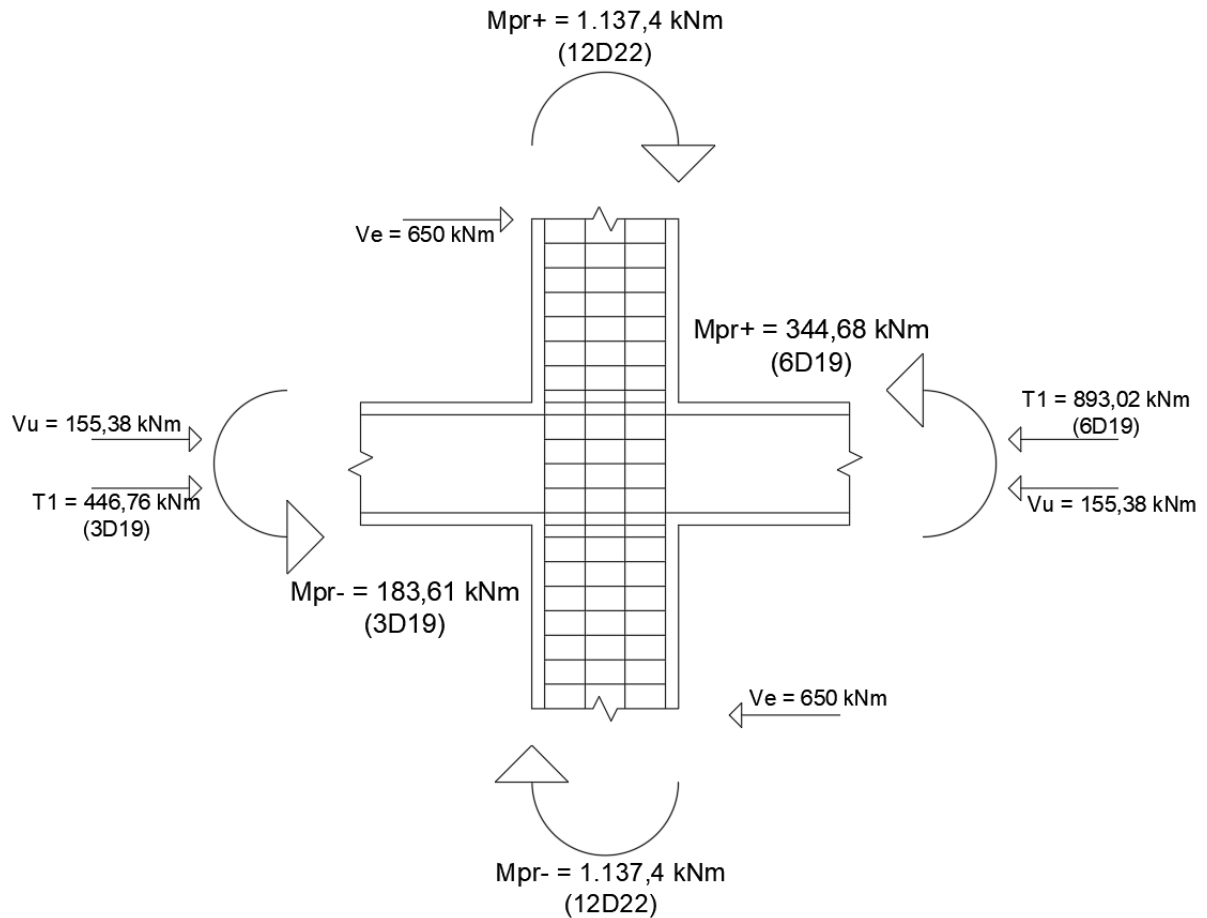
Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya, nilai kekuatan geser nominal joint harus dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$V_n = 1,7 \sqrt{f_c'} A_j$$

Nilai V_n

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{35} \times (600 \times 600) = 3.620.641 \text{ N} = 3.620,6 \text{ kN}$$

$$V_n > V_{x-x} \text{ (OK)}$$



Gambar 7.11 Hubungan Balok Kolom Terkekang 4 Balok

7.3.2 Desain Hubungan Balok Kolom Terkekang 2 atau 3 Balok

Gaya geser yang terjadi pada Hubungan Balok Kolom terkekang 4 Balok adalah $T_1 - V_u$. T_1 didapatkan dari tulangan tarik dan tekan pada balok-balok yang menyatu di Kolom.

$$T_1(6D19) = 1.701 \times 1,25 \times 420 = 893.025 \text{ N} = 893,025 \text{ kN}$$

V_u Kolom merupakan gaya geser pada kolom dihitung dengan M_{pr} kedua ujung balok yang menyatu dengan Kolom karena panjang Kolom atas dan bawah sama, maka setiap ujung kolom memikul jumlah M_{pr} Balok yang sama. Nilai M_{pr} yang diakibatkan tulangan terpasang pada Balok yang berada pada Kolom yaitu akibat dari tulangan 6D22, dapat dilihat pada subbab 7.1.5 Penulangan Geser Balok Induk.

$$M_{pr_{1,2}}^+ = 344.681.385 \text{ Nmm} = 344,68 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{344,68}{2} = 172,34 \text{ kNm}$$

$$V_{u_{balok}} = \frac{172,34 + 172,34}{4 - 0,5} = 98,48 \text{ kNm}$$

Nilai Gaya Geser Bersih pada Joint

$$V_{x-x} = T_1 - V_u = 893,025 - 98,48 = 794,545 \text{ kNm}$$

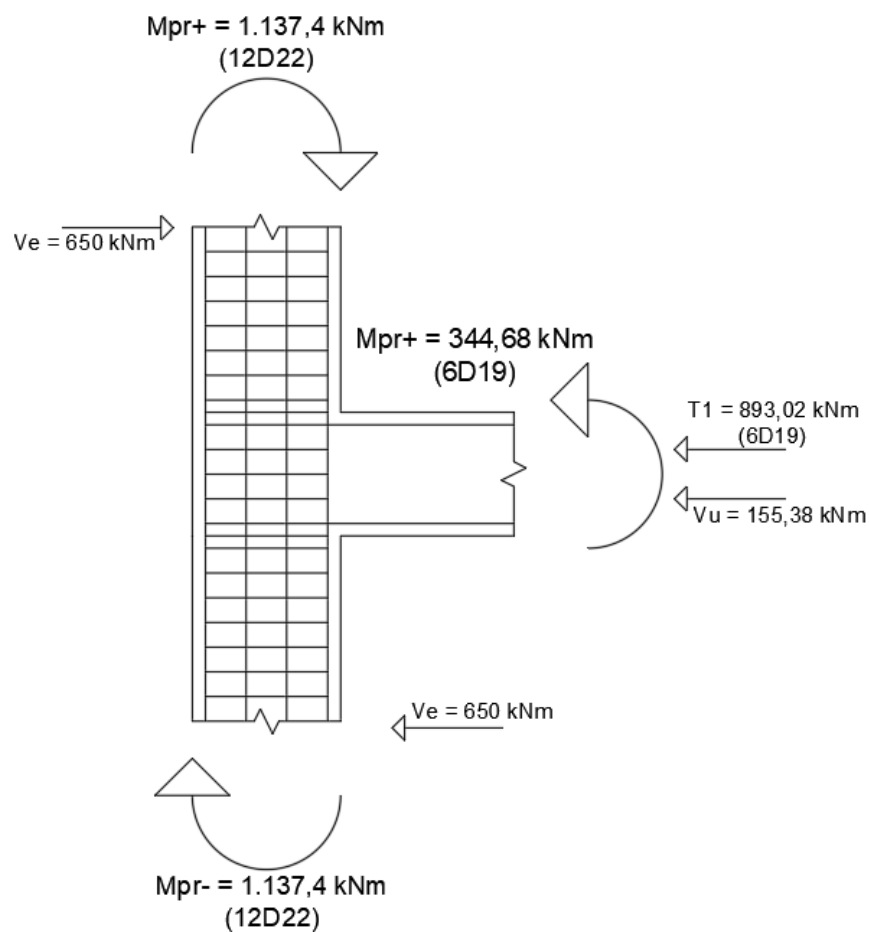
Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga atau dua sisinya, nilai kekuatan geser nominal joint harus dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$V_n = 1,2\sqrt{f_c'}A_j$$

Nilai V_n

$$V_n = 1,2 \times \sqrt{35} \times (600 \times 600) = 2.555.746 \text{ N} = 2.555,7 \text{ kN}$$

$$V_n > V_{x-x} \text{ (OK)}$$



Gambar 7.12 Hubungan Balok Kolom Terkekang 2 atau 3 Balok

7.4 Dinding Struktur

7.4.1 Perencanaan Dinding Struktur

Tebal Dinding Struktur	= 30 cm
Panjang Dinding Struktur	= 600 cm
Tinggi Dinding Struktur	= 4.000 cm

Selimut Beton = 50 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)
 Diameter Tulangan Utama (D) = D19 mm
 Diameter Tulangan Sengkang (\emptyset) = \emptyset 10 mm

Gaya-gaya yang digunakan dalam perencanaan Dinding Struktur adalah gaya-gaya yang bekerja pada Dinding Struktur lantai 1. Dinding Struktur pada lantai 1 dipilih karena pada lokasi tersebut Dinding Struktur menerima beban gempa dari pondasi dan momen yang terjadi lebih besar daripada momen yang terjadi pada lantai yang lain.

Dinding Struktur yang direncanakan dipilih berdasarkan gaya terbesar yang terjadi diantara ke-empat Dinding Struktur yang ada. Pada perencanaan ini, Dinding Struktur pada As (1) bentang (A-B) yang menerima gaya terbesar.

Tabel 7.1 Gaya pada Dinding Struktur

Kombinasi	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)
Envelope	1.973,052	189,486	368,966

7.4.2 Tebal Dinding Struktur

Ketebalan Dinding Struktur minimum didesain sesuai dengan SNI 2847:2019 Tabel 11.3.1.1, dinding yang lebih tipis diijinkan apabila hasil analisa struktur menunjukkan kekuatan dan stabilitas yang mencukupi. Untuk tipe dinding penumpu, ketebalan minimum yang digunakan adalah nilai terbesar dari:

- a. 100 mm
- b. $1/25 \times 6.000 = 240$ mm

Ketebalan minimum Dinding Struktur yang disyaratkan adalah 24 cm. Pada perencanaan ini, tebal Dinding Struktur yang digunakan adalah 30 cm.

7.4.3 Kontrol Kekuatan Aksial Dinding Struktur

Kontrol kekuatan aksial dinding struktur berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 11.5.3.1 adalah jika resultan dari semua beban terfaktor terletak di sepertiga tengah tebal dari dinding solid dengan penampang persegi, nilai P_n diijinkan untuk dihitung berdasarkan perumusan di bawah ini.

$$P_n = 0,55 \cdot f_c' \cdot A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right]$$

Keterangan:

$k = 0,8$ untuk dinding tertahan pada bagian atas dan bawah terhadap translasi lateral tertahan terhadap rotasi pada satu atau kedua ujungnya (atas, bawah, atau keduanya)

Nilai P_n

$$P_n = 0,55 \cdot 35 \cdot (300 \times 40.000) \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 40.000}{32 \times 40.000} \right)^2 \right]$$

$$P_n = 216.562.500 \text{ N} = 216.562,5 \text{ kN}$$

$$P_n > P_u$$

$$216.562,5 \text{ kN} > 1.973,052 \text{ kN (OK)}$$

7.4.4 Desain Elemen Pembatas Dinding Struktur Khusus

Desain elemen pembatas dinding struktur khusus diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6, dinding atau pilar-pilar dinding yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial. Daerah tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus bila:

$$c \geq \frac{l_w}{600(1,5 \cdot \delta_u/h_w)}$$

Keterangan:

c = nilai tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal, yang konsisten dengan arah perpindahan desain δ_u .

δ_u/h_w = tidak kurang dari 0,005.

$$\Delta_a = 0,08 \text{ m}$$

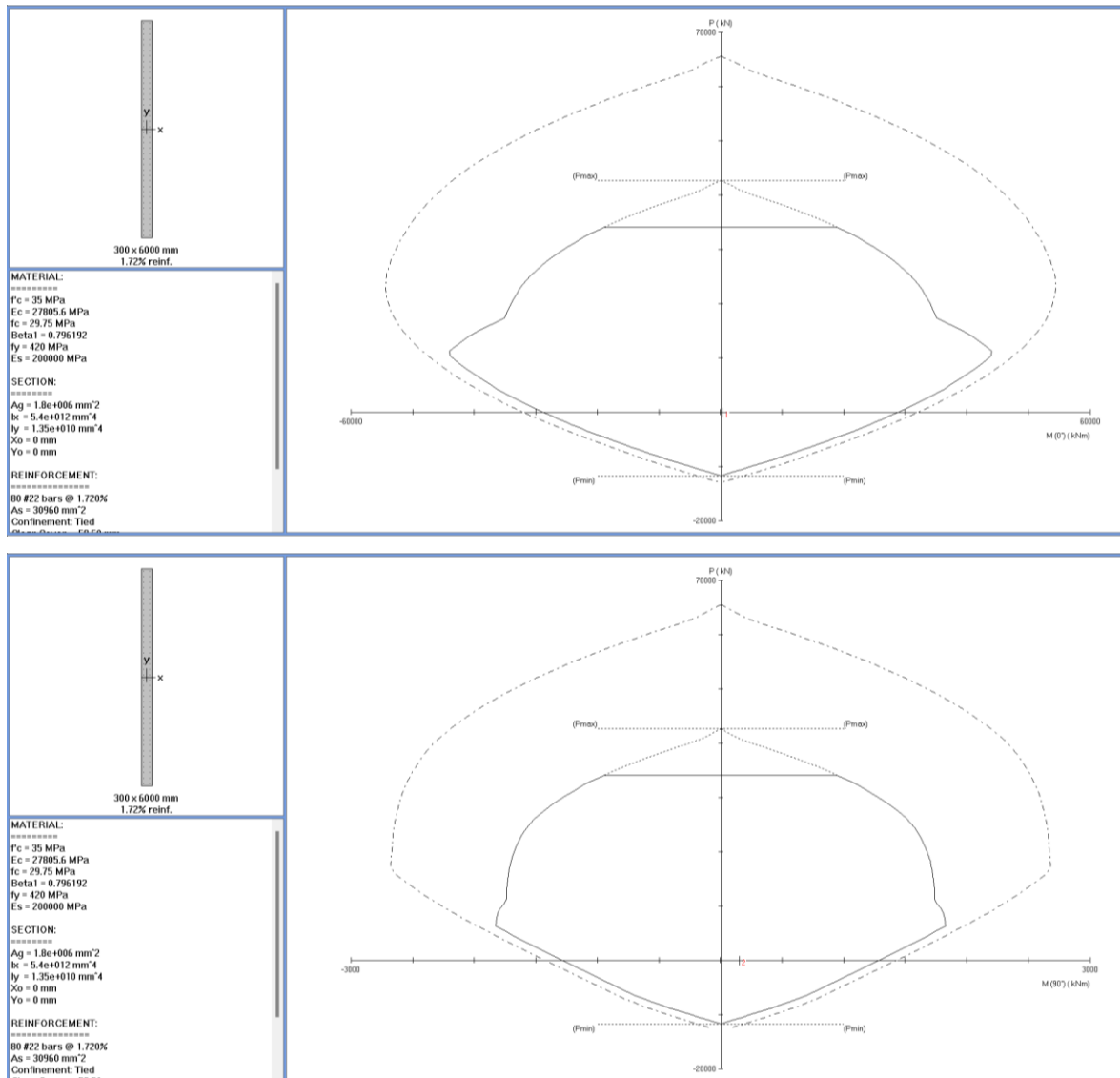
$$\delta_u = 10\Delta_a = 10 \times 0,08 = 0,8 \text{ m} = 800 \text{ mm}$$

Nilai Syarat Elemen Pembatas

Arah X = Arah Y

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{800}{40.000} = 0,02 > 0,005$$

$$\frac{l_w}{600(1,5 \cdot \delta_u/h_w)} = \frac{6.000}{600(1,5 \cdot 0,02)} = 333,34 \text{ mm}$$



Gambar 7.13 Diagram Interaksi Desain Kekuatan Dinding Struktur

Analisa struktur menggunakan program bantu spColumn mendapatkan *output* seperti pada Gambar 7.13 Diagram Interaksi Desain Kekuatan Dinding Struktur di atas dengan jumlah tulangan 80 buah diameter 22 mm, semua gaya yang diinputkan ke program spColumn tersebar dan tidak ada yang melewati garis interaksi dan dari prosentase spColumn 1,72% telah memenuhi persyaratan. Nilai A_s adalah 30.960 mm^2 .

Nilai c

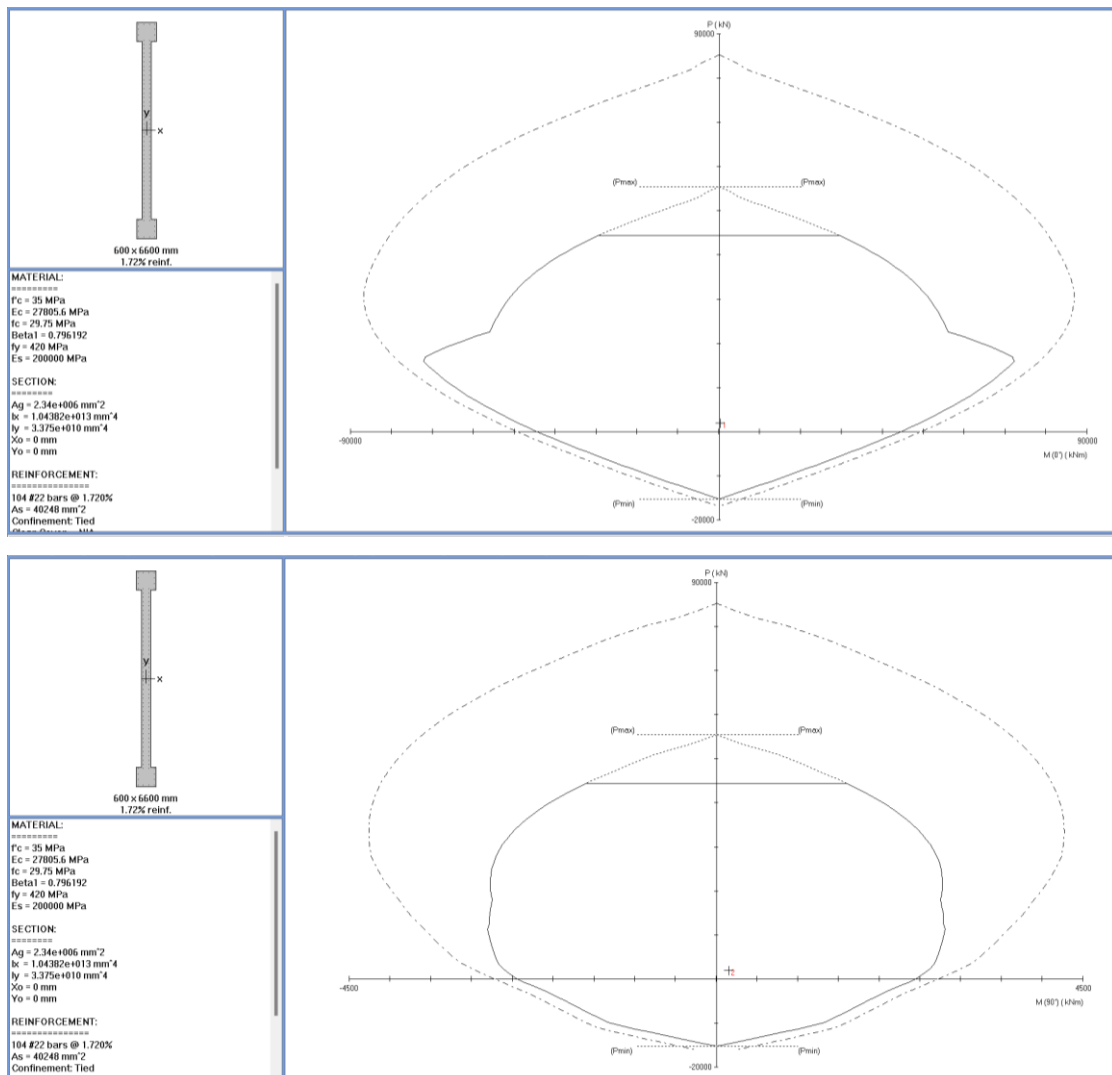
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{30.960 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} = 1.457 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1.457}{0,8} = 1.821 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{l_w}{600(1,5 \cdot \delta_u / h_w)}$$

$$1.821 \text{ mm} \geq 333,34 \text{ mm}$$

Nilai c yang dihasilkan oleh gaya dalam lebih besar daripada perhitungan sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6, maka Dinding Struktur perlu didesain menggunakan elemen pembatas. Elemen pembatas dapat meningkatkan kekuatan desain dari Dinding Struktur. Untuk mendapatkan diagram interaksi pada Dinding Struktur dengan elemen pembatas, harus disertakan elemen pembatas pada analisa struktur menggunakan spColumn. Desain Dinding Struktur dengan elemen pembatas dapat dilihat pada Gambar 7.14 Diagram Interaksi Desain Kekuatan Dinding Struktur dengan Elemen Pembatas.



Gambar 7.14 Diagram Interaksi Desain Kekuatan Dinding Struktur dengan Elemen Pembatas

Analisa struktur menggunakan program bantu spColumn mendapatkan *output* seperti pada Gambar 7.14 Diagram Interaksi Desain Kekuatan Dinding Struktur dengan Elemen

Pembatas di atas, semua gaya yang diinputkan ke program spColumn tersebar dan tidak ada yang melewati garis interaksi dan dari prosentase spColumn 1,60% telah memenuhi persyaratan. Gambar di atas, dapat dilihat bahwa dari adanya elemen pembatas, kekuatan desain Dinding Struktur dapat ditingkakan lagi. Elemen pembatas Dinding Struktural khusus disarankan pada SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4 seperti di bawah ini.

- a) Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari:

$$h_u = c - 0,1l_w = 1.821 - (0,1 \times 6.000) = 1.221 \text{ mm}$$

$$h_u = \frac{c}{2} = \frac{1.821}{2} = 910,5 \text{ mm}$$

- b) Lebar daerah tekan lentur (b):

$$b = \frac{h_u}{16} = \frac{1.221}{16} = 76 \text{ mm}$$

- c) Lebar daerah tekan lentur (b) disepanjang daerah yang dihitung harus lebih besar dari atau sama dengan 300 mm. Nilai lebar daerah tekan lentur (b) digunakan 300 mm.
- d) Syarat ini tidak perlu dipenuhi, karena penampang tidak bersayap.
- e) Nilai h_x tidak melebihi 350 mm.
- f) Jumlah tulangan transversal harus sesuai dengan Tabel 18.10.6.4(f). Diambil nilai terbesar dari ke-dua persamaan tersebut. Perhitungan dapat dilihat pada sub-bab 7.2.5 Kebutuhan Pengekangan Kolom.
- g) Pada perencanaan ini menggunakan pondasi tiang pancang dengan penutup tiang pondasi, maka tulangan transversal elemen batas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam sistem-sistem fondasi.
- h) Tulangan horizontal pada badan dinding diperpanjang masuk sedalam 150 mm pada tepi dinding.

7.4.5 Penulangan Dinding Struktur

Penulangan pada Dinding Struktur harus memakai paling sedikit 2 lapis tulangan sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2 jika nilai $V_u > V_n$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0$. SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1 rasio tulangan terdistribusi pada Dinding Struktur tidak boleh kurang dari 0,0025 dan spasi tulangan untuk masing-masing arah tidak boleh melebihi 450 mm.

$$V_n = 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}$$

$$V_n = 0,17 \cdot [(300 \times 5.400) + (600 \times 600)] \cdot 1 \cdot \sqrt{35}$$

$$V_n = 1.991.352,46 \text{ N} = 1.991,35 \text{ kN}$$

$$V_u > V_n$$

$$189,486 \text{ kN} < 1.991,35 \text{ kN}$$

$$\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0$$

$$\frac{40.000}{6.000} \geq 2,0$$

$$6,67 \geq 2,0$$

(Dipasang 2 lapis tulangan)

V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66A_{cv}\sqrt{f'_c}$.

$$V_n < 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$1.991,35 \text{ kN} < 0,66 \cdot [(300 \times 5.400) + (600 \times 600)] \cdot \sqrt{35}$$

$$1.991,35 \text{ kN} < 7.731,13 \text{ kN (OK)}$$

Penulangan Horizontal Dinding Struktur

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1 nilai V_n pada Dinding Struktural tidak boleh melebihi persamaan di bawah ini.

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

Keterangan:

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (karena } \frac{h_w}{l_w} \geq 2,0)$$

Karena $\frac{h_w}{l_w} \geq 2,0$ maka rasio tulangan ρ_l boleh kurang dari ρ_t (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.3)

Pasal 18.10.2.1 rasio tulangan terdistribusi pada Dinding Struktur tidak boleh kurang dari 0,0025 dan spasi tulangan untuk masing-masing arah tidak boleh melebihi 450 mm.

Digunakan Sengkang 2D19 dengan jarak (s) 50 mm.

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 567,3 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan geser horizontal untuk lantai 1

$$\rho_t = \frac{567,3}{4.000 \times 50} = 0,003$$

Nilai V_n

$$V_n = [(300 \times 5.400) + (600 \times 600)] \cdot (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + 0,003 \cdot 420)$$

$$V_n = 4.486.152,5 \text{ N} = 4.486,15 \text{ kN}$$

$$4.486,15 \text{ kN} < 7.731,13 \text{ kN (OK)}$$

Perencanaan dinding geser pada struktur bangunan beton bertulang tahan gempa direncanakan dengan tebal 30 cm dengan menggunakan 2 lapis tulangan, masing-masing menggunakan tulangan vertikal dengan diameter 22 mm sebanyak 40 tulangan.