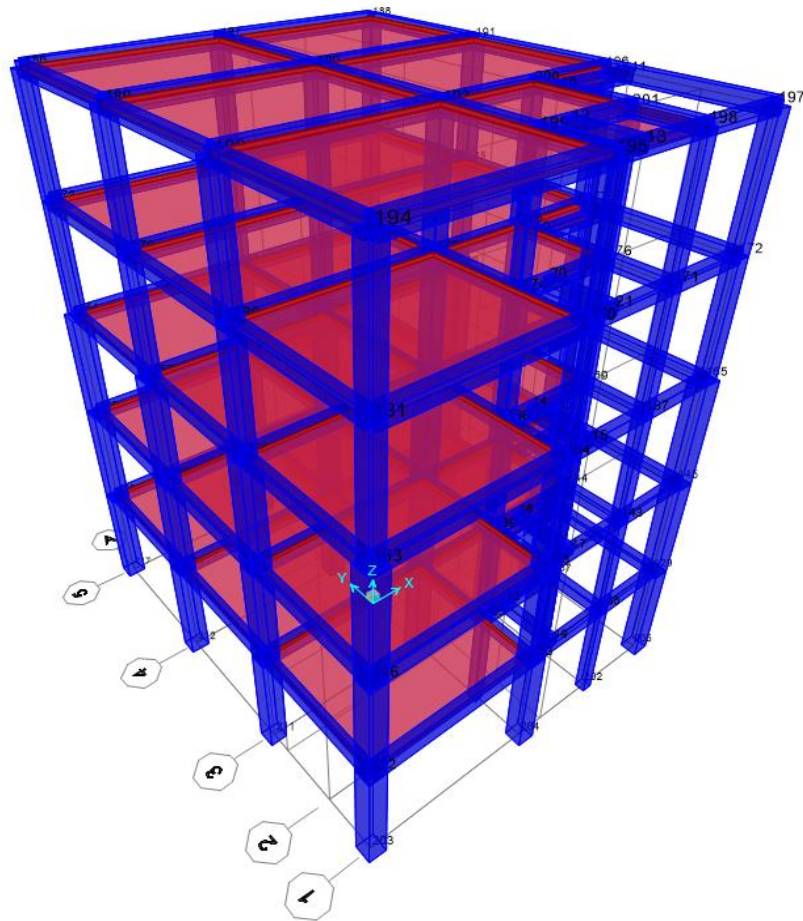


BAB IV PERHITUNGAN DESAIN STRUKTUR

4.1 Permodelan Struktur 3D

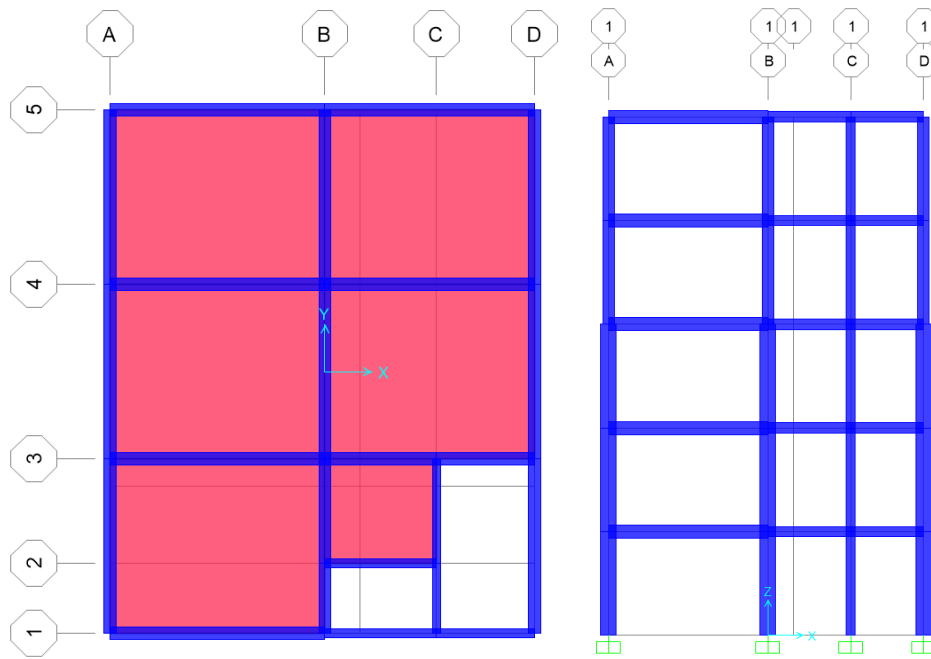
Permodelan struktur:

1. Permodelan Struktur 3D menggunakan software SAP2000 v22.
2. Kolom dianggap terjepit penuh pada bagian bawah.
3. Beban-beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) disalurkan dari pelat ke balok, kemudian didistribusikan ke kolom.
4. Permodelan struktur 3D dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.



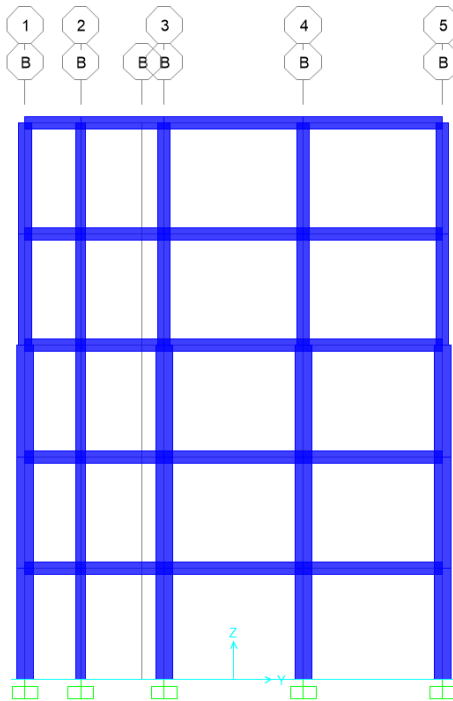
Gambar 4.1 Permodelan Struktur SAP2000 v22

(Sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 4.2 Permodelan Struktur Tampak Atas dan Tampak Depan

(Sumber: Dokumen Pribadi)

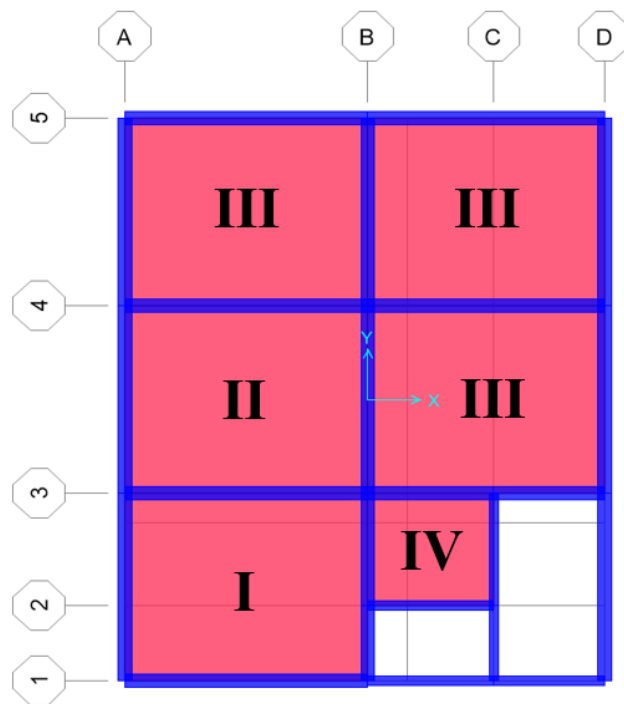


Gambar 4.3 Permodelan Struktur Tampak Samping

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.2 Perhitungan Struktur Pelat 2 Arah

Pada sistem perencanaan pelat pada gedung kantor ini direncanakan pelat dengan tebal yang sama tebal dari lantai 1-5. Tipe pelat yang akan dihitung dibagi menjadi 4 tipe pelat. Pembagian 4 tipe pelat ini disesuaikan dengan letak tumpuan pada tiap pelat. Tipe pelat tipe 1 merupakan pelat yang menerus satu sisi. Tipe pelat tipe 2 merupakan pelat yang diapit oleh tiga sisi pada bagian pelat. Pelat tipe 3 merupakan pelat yang diapit oleh dua sisi pada bagian pelat. Pelat tipe 4 merupakan pelat yang paling kecil diantara pelat lainnya. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Pembagian Tipe Pelat Lantai

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.2.1 Data Teknis Pelat Lantai Rencana:

1. Material Beton

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat per unit volume} = 2400 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Modulus elastisitas} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

2. Material Tulangan

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat per unit volume} = 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Modulus elastisitas} = 200000 \text{ MPa}$$

4.2.2 Beban Rencana yang Diterima Pelat:

Dibawah ini merupakan tabel 4.1 beban rencana yang diterima pelat.

Tabel 4.1 Beban rencana yang diterima pelat

Tipe	Tebal Pelat (m)	Beban Mati/qD (kN/m ²)		Beban Hidup/qL (kN/m ²)		Total Pembebanan/ qU (1.2qD+1.6qL)
I-IV	0.15	Beban Pelat	3.6	Beban Hidup Gedung Perkantoran	2.5 (SNI 1727:2018)	9.076
		Beban Keramik	0.15			
		Plafond	0.18			
		ME	0,3			

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Pelat tipe I-IV memiliki total pembebanan sebesar 9.076 kN/m²

4.2.3 Menghitung *Moment Ultimate* Pelat 2 Arah:

Pada tabel 4.2 dibawah ini merupakan tabel perhitungan *Moment Ultimate* pelat 2 arah dari tipe I-IV melalui perhitungan Microsoft excel.

Tabel.4.2 Perhitungan *Moment Ultimate* Pelat 2 Arah Tipe I-IV

Tipe	Ly(m)	Lx(m)	Qtotal	X(Lx)	X(Ly)	X(tx)	X(ty)	±0.001×qlx ² ×X (kN.m)			
								MuLx	MuLy	MuTx	MuTy
I	6.15	5	9.076	45	28	98	0	10.2105	6.3532	-22.236	0
II	6.15	5	9.076	32	19	71	57	7.2608	4.3111	-16.109	-12.933
III	6.15	5	9.076	38	28	85	74	8.6222	6.3532	-19.286	-16.79
IV	3.2	3	9.076	28	28	68	68	2.28715	2.28715	-5.5545	-5.5545

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Nilai koefisien X didapatkan dari tabel yang ada pada Lampiran C berdasarkan tiap tumpuan pada tipe pelat.

1. Tipe I:
 - M_{uL_x} Positive = 10.2105 kN.m
 - M_{ut_x} Negative = -22.236 kN.m
 - M_{uL_y} Positive = 6.3532 kN.m
2. Tipe II:
 - M_{uL_x} Positive = 7.2608 kN.m
 - M_{ut_x} Negative = -16.109 kN.m
 - M_{uL_y} Positive = 4.3111 kN.m
 - M_{ut_y} Negative = -12.933 kN.m
3. Tipe III:
 - M_{uL_x} Positive = 8.6222 kN.m
 - M_{ut_x} Negative = -19.286 kN.m
 - M_{uL_y} Positive = 6.3532 kN.m
 - M_{ut_y} Negative = -16.79 kN.m
4. Tipe IV:
 - M_{uL_x} Positive = 2.28715 kN.m
 - M_{ut_x} Negative = -5.5545 kN.m
 - M_{uL_y} Positive = 2.28715 kN.m
 - M_{ut_y} Negative = -5.5545 kN.m

4.2.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat

Tebal Pelat (h) = 15 cm
 f_c' = 25 MPa
 F_y = 420 MPa
 Tebal Selimut Beton = 20 mm

Pada tabel 4.3 merupakan tabel perhitungan kebutuhan tulangan pelat tipe I-IV.

Tabel.4.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat

Tipe	Tebal Pelat (mm)	M_{uL_x} (kN.m)	M_{uL_y} (kN.m)	M_{ut_x} (kN.m)	M_{ut_y} (kN.m)	D (Diameter Tulangan)	d (mm)	Ab (mm ²)
I	150	10.2105	6.3532	-22.2362	0	13	124	113.1429
II	150	7.2608	4.3111	-16.1099	-12.933	13	124	113.1429

Tipe	Tebal Pelat (mm)	MuLx (kN.m)	MuLy (kN.m)	MuTx (kN.m)	MuTy (kN.m)	D (Diameter Tulangan)	d (mm)	Ab (mm ²)
III	150	8.6222	6.3532	-19.2865	-16.7906	13	124	113.1429
IV	150	2.28715	2.28715	-5.5545	-5.5545	10	125	78.5714

(Sumber: Data olahan pribadi)

Pelat tipe I-III menggunakan tulangan berdiameter 13 mm, dan pelat tipe IV menggunakan tulangan berdiameter 10 mm.

1. Pelat Tipe I:

- Tulangan Bawah Arah-X:

$$\begin{aligned}
 \text{MuLx} &= 10,2105 \text{ kN.m} \\
 \text{MnLx} &= \frac{\text{MuLx}}{\phi} = \frac{10,2105}{0,9} = 11,345 \text{ kN.m} \\
 \text{Diameter tulangan } (\phi) &= 13 \text{ mm} \\
 \text{Panjang efektif (d)} &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \phi \\
 &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\
 &= 123,5 \text{ mm} \\
 \text{Rn} &= \frac{\text{MnLx}}{b.d^2} = \frac{11,345 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,74383 \text{ N/mm}^2 \\
 m &= \frac{F_y}{0,85.F_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647 \\
 \text{Karena mutu baja} &= 420 \text{ MPa, maka:} \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,74383}{420}} \right] \\
 &= 0,0018032
 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek *tension control* / kontrol tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,0018032$.

Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018032 \times 1000 \times 124 \\ &= 222,688 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari $3h$ atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan).

Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 222,688 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 1 tulangan bawah arah-x adalah **Ø13 – 250 mm**.

- **Tulangan Bawah Arah-Y:**

$$\begin{aligned} \text{MuLy} &= 6,3532 \text{ kN.m} \\ \text{MnLy} &= \frac{\text{MuLy}}{\phi} = \frac{6,3532}{0,9} = 7,0591 \text{ kN.m} \\ \text{Diameter tulangan } (\phi) &= 13 \text{ mm} \\ \text{Panjang efektif } (d) &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \phi \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \\ \text{Rn} &= \frac{\text{MnLy}}{b.d^2} = \frac{7,0591 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,46283 \text{ N/mm}^2 \\ m &= \frac{F_y}{0,85.F_{ct}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647 \\ \text{Karena mutu baja} &= 420 \text{ MPa, maka:} \\ \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,46283}{420}} \right] \\ &= 0,001114 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho_{min} \times b \times d$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 123,5$$

$$= 222,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari $3h$ atau 450 mm .

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 1 tulangan bawah arah-y adalah $\emptyset 13 - 250 \text{ mm}$.

- **Tulangan Atas Arah-X:**

$$MuTx = -22,2362 \text{ kN.m}$$

$$MnTx = \frac{MuTx}{\phi} = \frac{22,2362}{0,9} = 24,707 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset) = 13 mm

$$\text{Panjang efektif (d)} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right)$$

$$= 123,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{MnTx}{b.d^2} = \frac{24,707 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85.Fcr} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,62}{420}} \right]$$

$$= 0,004016$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{663,325 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 13,11$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{13,11}{0,85} = 15,424$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_t = \frac{(123,5-15,424)}{15,424} \times 0,003 = 0,021$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,0039826$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004016 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 496,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 200 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 663,325 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($663,325 \text{ mm}^2 > 496,02 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 1 tulangan atas arah-x adalah **Ø13 – 200 mm**.

- **Tulangan Susut:**

Dikarenakan nilai mutu baja $f_y \geq 420 \text{ MPa}$, maka nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Dalam desain ini tulangan susut akan digunakan rasio tulangan minimum. Sehingga luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 123,5 = 222,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, nilai maksimal spasi tulangan susut pelat adalah harus kurang dari 5h atau 450 mm.

$$S = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$$

atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan susut sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ tulangan susut yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan lentur susut yang akan digunakan pada pelat tipe 1, baik arah- x atau pun pada arah- y , adalah $\emptyset 13 - 300 \text{ mm}$.

2. Pelat Tipe 2:

- Tulangan Bawah Arah-X:

$$MuLx = 7,2608 \text{ kN.m}$$

$$MnLx = \frac{MuLx}{\phi} = \frac{7,2608}{0,9} = 8,0676 \text{ kN.m}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\emptyset) = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif } (d) &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{MnLx}{b \cdot d^2} = \frac{8,0676 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,529 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85 \cdot Fc} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

$$\text{Karena mutu baja} = 420 \text{ MPa, maka:}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,529}{420}} \right] \\ &= 0,001275 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$
$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$
$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$
$$\epsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho_{min} \times b \times d$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 123,5$$

$$= 222,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$= 530,66 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 2 tulangan bawah arah-x adalah $\emptyset 13 - 250 \text{ mm}$.

- **Tulangan Bawah Arah-Y:**

$$MuLy = 4,3111 \text{ kN.m}$$

$$MnLy = \frac{MuLy}{\phi} = \frac{4,3111}{0,9} = 4,790111 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset)= 13 mm

$$\text{Panjang efektif (d)} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right)$$

$$= 123,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{MnLy}{b.d^2} = \frac{4,79 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,31406 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85.Fcr} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,31406}{420}} \right] \\ &= 0,000753\end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ a &= \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488\end{aligned}$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ c &= \frac{10,488}{0,85} = 12,34\end{aligned}$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ \varepsilon_t &= \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027\end{aligned}$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 222,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{400} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 2 tulangan bawah arah-y adalah **$\emptyset 13 - 250 \text{ mm}$** .

- **Tulangan Atas Arah-X:**

$$MuTx = -16,1099 \text{ kN.m}$$

$$MnTx = \frac{MuTx}{\phi} = \frac{16,1099}{0,9} = 17,9 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset) = 13 mm

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif (d)} &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{MnTx}{b.d^2} = \frac{17,9 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 1,1736 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85.F_{cr}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,1736}{420}} \right] \\ &= 0,002876 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_{cr} \times b}$$

$$a = \frac{442,217 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 8,74$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{8,74}{0,85} = 10,28$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-10,28)}{10,28} \times 0,003 = 0,033$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,002876$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002876 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 355,1864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 355,1864 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 2 tulangan atas arah-x adalah **Ø13 – 300 mm**.

- **Tulangan Atas Arah-Y:**

$$MuTy = -12,9333 \text{ kN.m}$$

$$MnTy = \frac{MuTy}{\phi} = \frac{12,9333}{0,9} = 14,3703 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset) = 13 mm

$$\begin{aligned}\text{Panjang efektif (d)} &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{MnTy}{b \cdot d^2} = \frac{14,3703 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,9422 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{cr}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,9422}{420}} \right] \\ &= 0,002295\end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{442,217 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 8,74$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{8,74}{0,85} = 10,28$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-10,28)}{10,28} \times 0,003 = 0,033$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,002295$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002295 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 283,4754 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 283,4754 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 2 tulangan atas arah-y adalah **Ø13 – 300 mm**.

- **Tulangan Susut:**

Dikarenakan nilai mutu baja $f_y \geq 420 \text{ MPa}$, maka nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Dalam desain ini tulangan susut akan digunakan rasio tulangan minimum. Sehingga luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 123,5 = 222,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, nilai maksimal spasi tulangan susut pelat adalah harus kurang dari 5h atau 450 mm.

$$S = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$$

atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan susut sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ tulangan susut yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan lentur susut yang akan digunakan pada pelat tipe 2, baik arah- x atau pun pada arah- y , adalah **$\emptyset 13 - 300 \text{ mm}$** .

3. Pelat Tipe 3:

- Tulangan Bawah Arah-X:

$$MuLx = 8,6222 \text{ kN.m}$$

$$MnLx = \frac{MuLx}{\phi} = \frac{8,6222}{0,9} = 9,58022 \text{ kN.m}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\phi) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang efektif } (d) = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \phi$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right)$$

$$= 123,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{MnLx}{b.d^2} = \frac{9,58022 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,62812 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85.Fc} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,62812}{420}} \right] \\ &= 0,001518 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{fy} = \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,0018$$

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{As \text{ aktual} \times fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 222,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari $3h$ atau 450 mm .

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai A_s pakai yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 3 tulangan bawah arah-x adalah $\text{Ø}13 - 250 \text{ mm}$.

- **Tulangan Bawah Arah-Y:**

$$MuLy = 6,3532 \text{ kN.m}$$

$$MnLy = \frac{MuLy}{\phi} = \frac{6,3532}{0,9} = 7,05911 \text{ kN.m}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\phi) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang efektif } (d) = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \phi$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right)$$

$$= 123,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{MnLy}{b.d^2} = \frac{7,05911 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 0,46283 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85.Fc'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,46283}{420}} \right]$$

$$= 0,001114$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{Fy} = \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,0018$$

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times Fy}{0,85 \times Fc' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 222,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari $3h$ atau 450 mm .

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
&= 530,66 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Nilai A_s pakai yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 3 tulangan bawah arah-y adalah $\text{Ø}13 - 250 \text{ mm}$.

- **Tulangan Atas Arah-X:**

$$\text{MuTx} = -19.2865 \text{ kN.m}$$

$$\text{MnTx} = \frac{\text{MuTx}}{\phi} = \frac{19,2865}{0,9} = 21,4294 \text{ kN.m}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\phi) = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang efektif (d)} &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \phi \\
&= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\
&= 123,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{MnTx}}{b \cdot d^2} = \frac{21,4294 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 1,405 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,405}{420}} \right] \\
&= 0,003464
\end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$
$$a = \frac{442,217 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 8,75$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$
$$c = \frac{8,75}{0,85} = 10,292$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$
$$\epsilon_t = \frac{(123,5-10,292)}{10,292} \times 0,003 = 0,033$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,003464$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d$$
$$= 0,003464 \times 1000 \times 123,5$$
$$= 427,7807 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari $3h$ atau 450 mm .

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 427,7807 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 3 tulangan atas arah-x adalah **Ø13 – 300 mm**.

- **Tulangan Atas Arah-Y:**

$$MuTy = -16.7906 \text{ kN.m}$$

$$MnTy = \frac{MuTy}{\phi} = \frac{16,7906}{0,9} = 18,6562 \text{ kN.m}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\phi) = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif } (d) &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \phi \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{MnTy}{b.d^2} = \frac{18,6562 \times 10^6}{1000 \times 123,5^2} = 1,2232 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85.Fcr} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,2232}{420}} \right] \\ &= 0,003001 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{442,217 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 8,75$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{8,75}{0,85} = 10,292$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-10,292)}{10,292} \times 0,003 = 0,033$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,003001$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003001 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 370,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 370,667 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 3 tulangan atas arah-y adalah **Ø13 – 300 mm**.

- **Tulangan Susut:**

Dikarenakan nilai mutu baja $f_y \geq 420 \text{ MPa}$, maka nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Dalam desain ini tulangan susut akan digunakan rasio tulangan minimum. Sehingga luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 123,5 = 222,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, nilai maksimal spasi tulangan susut pelat adalah harus kurang dari 5h atau 450 mm.

$$S = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$$

atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,217 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ tulangan susut yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,217 \text{ mm}^2 > 222,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan lentur susut yang akan digunakan pada pelat tipe 3, baik arah- x atau pun pada arah- y , adalah $\emptyset 13 - 300 \text{ mm}$.

4. Pelat Tipe 4:

- Tulangan Bawah Arah-X:

$$MuLx = 2,287152 \text{ kN.m}$$

$$MnLx = \frac{MuLx}{\phi} = \frac{2,287152}{0,9} = 2,54128 \text{ kN.m}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\emptyset) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif } (d) &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{MnLx}{b.d^2} = \frac{2,54128 \times 10^6}{1000 \times 125^2} = 0,16264 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85.Fc} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,16264}{420}} \right] \\ &= 0,00038873 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{261,67 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 5,17$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{5,17}{0,85} = 6,08$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_t = \frac{(125-6,08)}{6,08} \times 0,003 = 0,0587$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 261,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($261,67 \text{ mm}^2 > 225 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 4 tulangan bawah arah-x adalah $\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$.

- **Tulangan Bawah Arah-Y:**

$$MuLy = 2,287152 \text{ kN.m}$$

$$MnLy = \frac{MuLy}{\emptyset} = \frac{2,287152}{0,9} = 2,54128 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset) = 10 mm

$$\text{Panjang efektif (d)} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right)$$

$$= 125 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{MnLy}{b.d^2} = \frac{2,54128 \times 10^6}{1000 \times 125^2} = 0,16264 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{Fy}{0,85.Fc} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,16264}{420}} \right]$$

$$= 0,00038873$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$a = \frac{261,67 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 5,17$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{5,17}{0,85} = 6,08$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ϵ_t .

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_t = \frac{(125-6,08)}{6,08} \times 0,003 = 0,0587$$

Bila:

$\epsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 261,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($261,67 \text{ mm}^2 > 225 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 4 tulangan bawah arah-x adalah **$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$** .

- **Tulangan Atas Arah-X:**

$$MuTx = -5,554512 \text{ kN.m}$$

$$MnTx = \frac{MuTx}{\phi} = \frac{5,554512}{0,9} = 6.17168 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset) = 10 mm

$$\begin{aligned} \text{Panjang efektif (d)} &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{MnTx}{b.d^2} = \frac{6.17168 \times 10^6}{1000 \times 125^2} = 0,395 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85.F_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,395}{420}} \right]$$

$$= 0,0009494$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b}$$

$$a = \frac{261,67 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 5,17$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{5,17}{0,85} = 6,08$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(125-6,08)}{6,08} \times 0,003 = 0,0587$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari $3h$ atau 450 mm .

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 261,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($261,67 \text{ mm}^2 > 225 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 4 tulangan atas arah-x adalah **$\varnothing 10 - 300 \text{ mm}$** .

- **Tulangan Atas Arah-Y:**

$$MuTy = -5,554512 \text{ kN.m}$$

$$MnTy = \frac{MuTy}{\phi} = \frac{5,554512}{0,9} = 6.17168 \text{ kN.m}$$

Diameter tulangan (\emptyset) = 10 mm

$$\begin{aligned}\text{Panjang efektif (d)} &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\ &= 125 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{MnTy}{b \cdot d^2} = \frac{6.17168 \times 10^6}{1000 \times 125^2} = 0,395 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{cr}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,395}{420}} \right] \\ &= 0,0009494\end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_{cr} \times b}$$

$$a = \frac{261,67 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 5,17$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{5,17}{0,85} = 6,08$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(125-6,08)}{6,08} \times 0,003 = 0,0587$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 261,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai A_s pakai yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($261,67 \text{ mm}^2 > 225 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pelat tipe 4 tulangan atas arah-x adalah **$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$** .

- **Tulangan Susut:**

Dikarenakan nilai mutu baja $f_y \geq 420 \text{ MPa}$, maka nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Dalam desain ini tulangan susut akan digunakan rasio tulangan minimum. Sehingga luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 225 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, nilai maksimal spasi tulangan susut pelat adalah harus kurang dari $5h$ atau 450 mm .

$$S = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$$

atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 261,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai A_s pakai tulangan susut yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($241,66 \text{ mm}^2 > 223,2 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan lentur susut yang akan digunakan pada pelat, baik arah-x atau pun pada arah-y, adalah **$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$** .

4.2.5 Periksa Terhadap Persyaratan Kuat Geser

Tipe	Q_{total} (kN)	L_x (m)	V_u (kN)	ϕ	ϕVC (kN)	$\frac{1}{2} \phi VC$	$\frac{1}{2} \phi VC > V_u$
I	9.076	6.15	27.9087	0.75	79.05	39.525	Tidak perlu tulangan geser
II	9.076	6.15	27.9087	0.75	79.05	39.525	Tidak perlu tulangan geser
III	9.076	6.15	27.9087	0.75	79.05	39.525	Tidak perlu tulangan geser
IV	9.076	3.2	14.5216	0.75	79.6875	39.844	Tidak perlu tulangan geser

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

4.2.6 Rekapitulasi Tulangan Pelat

1. Tipe Pelat 1

Tulangan Bawah Arah-X	$\phi 13 - 250$ mm
Tulangan Bawah Arah-Y	$\phi 13 - 250$ mm
Tulangan Atas Arah-X	$\phi 13 - 200$ mm
Tulangan Susut	$\phi 13 - 300$ mm

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

2. Tipe Pelat 2

Tulangan Bawah Arah-X	$\phi 13 - 250$ mm
Tulangan Bawah Arah-Y	$\phi 13 - 250$ mm
Tulangan Atas Arah-X	$\phi 13 - 300$ mm
Tulangan Atas Arah-Y	$\phi 13 - 300$ mm
Tulangan Susut	$\phi 13 - 300$ mm

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

3. Tipe Pelat 3

Tulangan Bawah Arah-X	$\phi 13 - 250$ mm
Tulangan Bawah Arah-Y	$\phi 13 - 250$ mm
Tulangan Atas Arah-X	$\phi 13 - 300$ mm

Tulangan Atas Arah-Y	$\emptyset 13 - 300 \text{ mm}$
Tulangan Susut	$\emptyset 13 - 300 \text{ mm}$

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

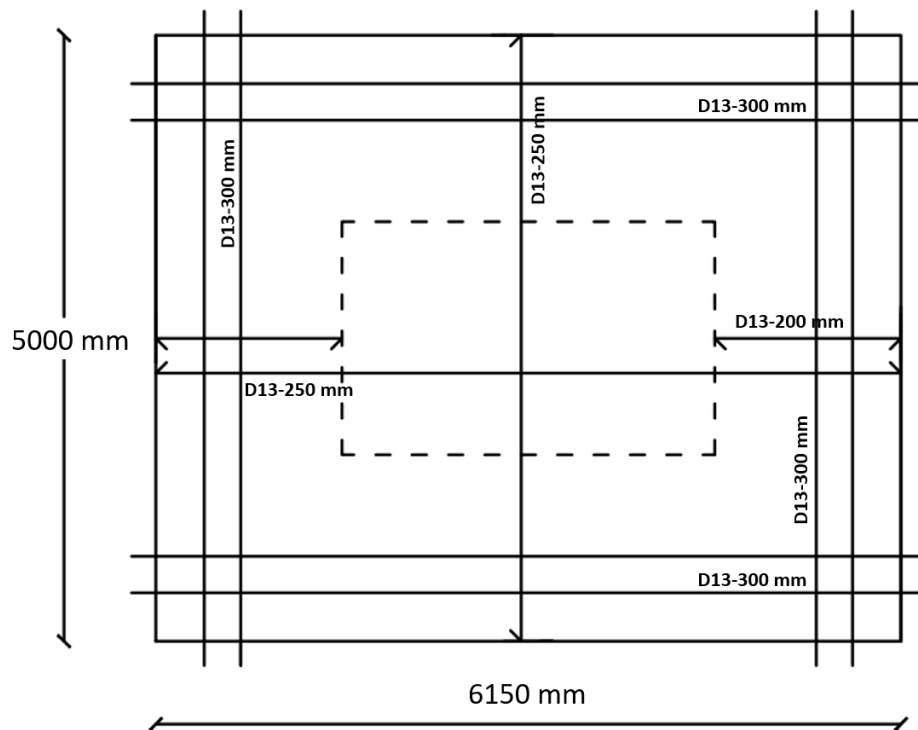
4. Tipe Pelat 4

Tulangan Bawah Arah-X	$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$
Tulangan Bawah Arah-Y	$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$
Tulangan Atas Arah-X	$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$
Tulangan Atas Arah-Y	$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$
Tulangan Susut	$\emptyset 10 - 300 \text{ mm}$

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

4.2.7 Gambar Penampang Tulangan Pelat

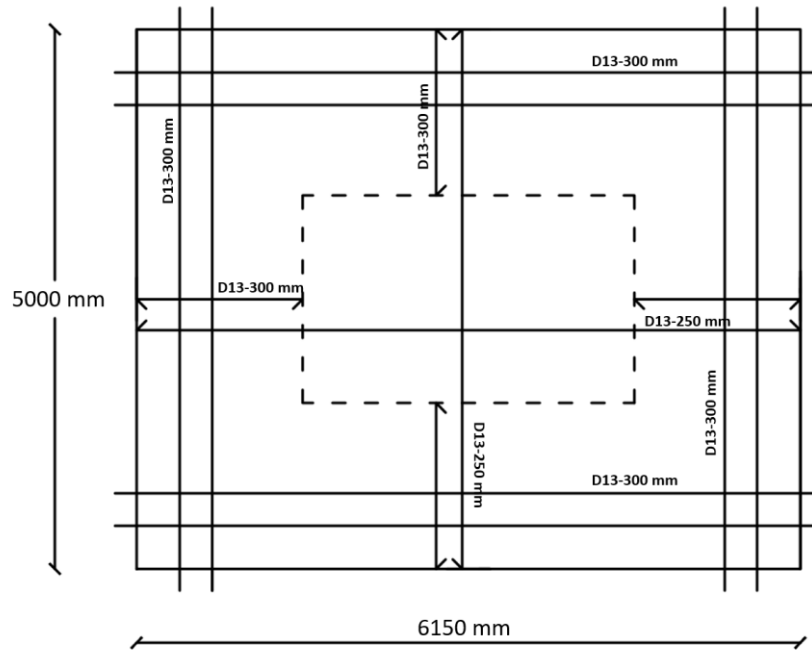
Tipe Pelat 1:



Gambar 4.5 Penampang Tulangan Pelat Tipe 1

(Sumber: Dokumen Pribadi)

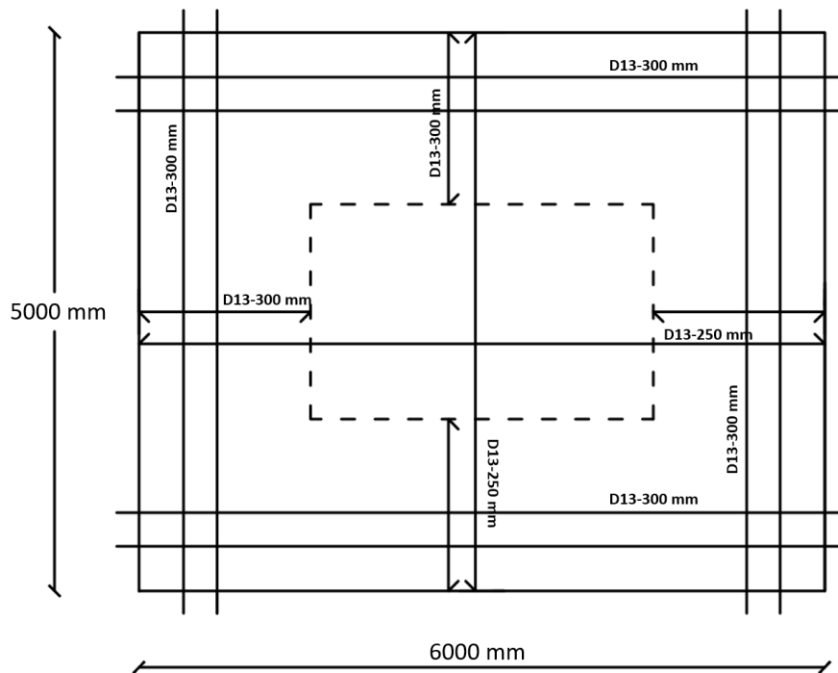
Tipe Pelat 2:



Gambar 4.6 Penampang Tulangan Pelat Tipe 2

(Sumber: Dokumen Pribadi)

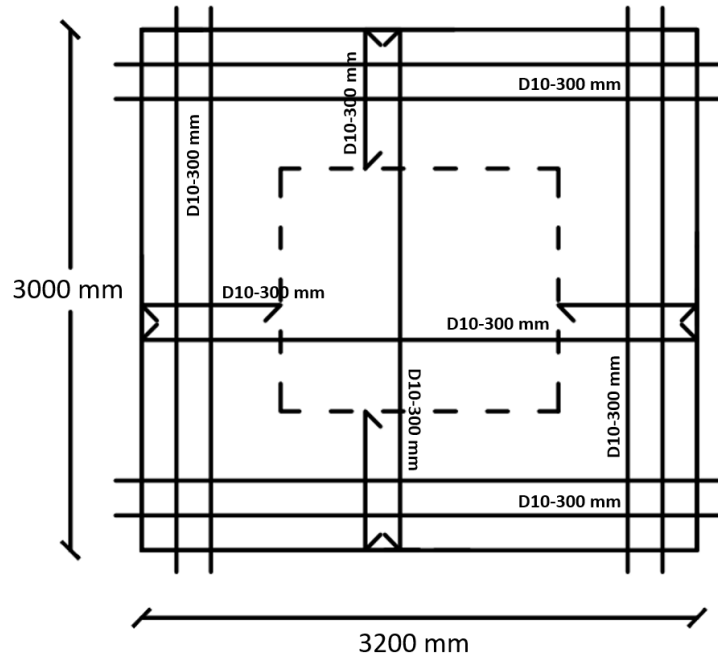
Tipe Pelat 3:



Gambar 4.7 Penampang Tulangan Pelat Tipe 3

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Tipe Pelat 4:

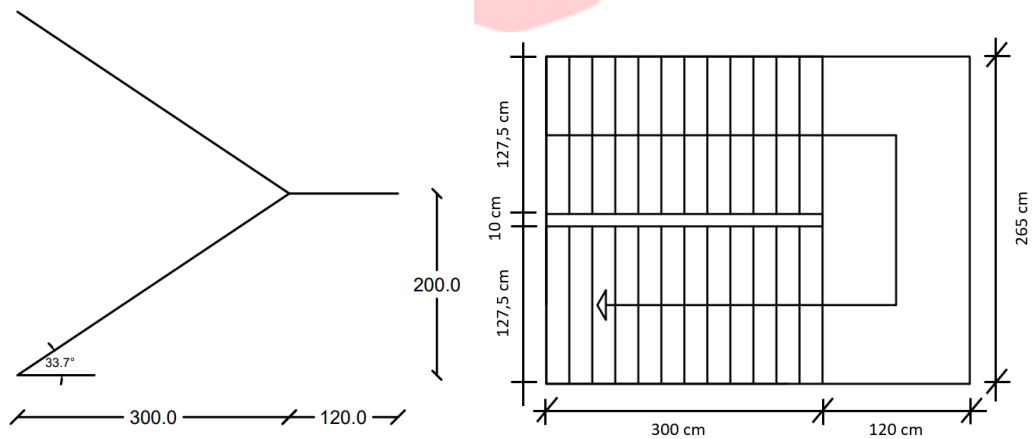


Gambar 4.8 Penampang Tulangan Pelat Tipe 4

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.3 Perhitungan Struktur Tangga

Struktur tangga pada gedung perkantoran 5 lantai ini merupakan tangga *typical* dari lantai dasar hingga lantai 5.

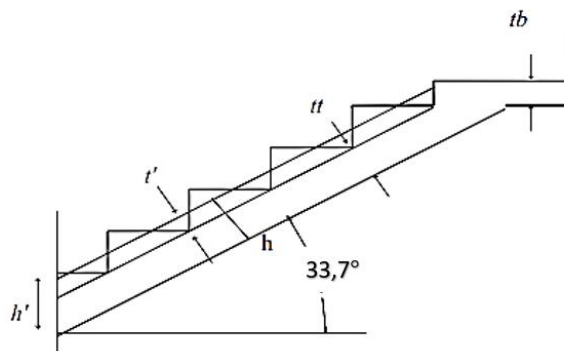


Gambar 4.9 Gambar Denah Tangga

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Data yang direncanakan:

1. Perbedaan elevasi lantai (h) = 400 cm
2. Lebar tangga (Lt) = 127.5 cm
3. Lebar bordes (Lb) = 265 cm
4. Lebar Antrede = 27.25 cm (syarat : $26 \text{ cm} < A < 35 \text{ cm}$)
5. Tinggi Optrede = 18.2 cm (syarat : $15 \text{ cm} < O < 20 \text{ cm}$)
6. Jumlah anak tangga = $\frac{h}{o} = \frac{400}{18.2} = 21.97 \approx 22$ anak tangga
7. Jumlah Antrede = 22 buah
8. Jumlah Optrede = 22 buah
9. Sudut elevasi tangga = $(\alpha) = \tan^{-1}(18.2 \text{ cm}/27.25 \text{ cm}) = 33.7^\circ$
10. Syarat kemiringan tangga = $25^\circ < 33.7^\circ < 40^\circ$ (OK)
11. Tebal pelat tangga = 14 cm
12. Tebal pelat bordes = 14 cm



Gambar 4.10 Penampang Tangga

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.10 diatas merupakan penampang tangga untuk penjelasan menghitung tinggi beban merata tangga yang akan dihitung dibawah ini:

tt (tebal pelat tangga) = tb (tebal pelat bordes) = 14 cm

$$t' = \frac{(0,5 \times O \times A)}{\sqrt{O^2 + A^2}} = \frac{(0,5 \times 18,2 \times 27,25)}{\sqrt{18,2^2 + 27,25^2}} = 7,5674 \text{ cm}$$

$$h = tb + t' = 14 + 7,5674 = 21,5674 \text{ cm}$$

$$h' = \frac{tb}{\cos \alpha} + \frac{O}{2} = \frac{14}{\cos 33,7^\circ} + \frac{18,2}{2} = 25,928 \text{ cm} \sim 0,25928 \text{ m}$$

$$\text{panjang miring tangga (L)} = \sqrt{3^2 + 2^2} = 3,605 \text{ m}$$

4.3.1 Pembebanan Tangga & Bordes:

Perhitungan beban tangga:

1. Beban Mati:

$$\text{Beban sendiri pelat + anak tangga} = 0,25928 \times 24 = 6,223 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2 cm)} = 0,02 \times 0,21 = 0,042 \text{ kN/m}$$

$$\text{Keramik} = 0,01 \times 0,24 = 0,024 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban mati (qD)} \quad \underline{\hspace{10em}} + \\ 6,289 \text{ kN/m}^2$$

2. Beban Hidup

$$\text{Total beban hidup (qL)} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan beban bordes:

1. Beban Mati:

$$\text{Beban sendiri pelat} = 0,14 \times 24 = 3,36 \text{ kN/m}$$

$$\text{Spesi (2 cm)} = 0,02 \times 0,21 = 0,042 \text{ kN/m}$$

$$\text{Keramik} = 0,01 \times 0,24 = 0,024 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban mati (qD)} \quad \underline{\hspace{10em}} + \\ 3,426 \text{ kN/m}$$

2. Beban Hidup:

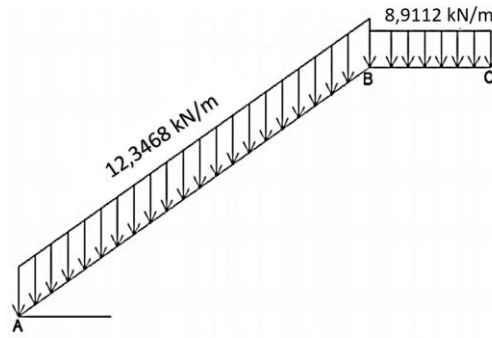
$$\text{Total beban hidup (qL)} = 3 \text{ kN/m}$$

Reaksi Tumpuan:

Reaksi perletakan akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned} q_{Ult} \text{ tangga} &= 1,2 qD + 1,6 qL \\ &= 1,2(6,289 \text{ kN/m}) + 1,6(3 \text{ kN/m}) \\ &= 12,3468 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{Ult} \text{ bordes} &= 1,2 qD + 1,6 qL \\ &= 1,2(3,426 \text{ kN/m}) + 1,6(3 \text{ kN/m}) \\ &= 8,9112 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Gambar 4.11 Reaksi Tumpuan pada Tangga

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.3.2 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

Menghitung Momen:

Menghitung momen yang bekerja pada tangga dan bordes (berdasarkan pelat satu arah):

1. Tangga:

Momen Tumpuan:

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{1}{24} \times qUl^2 \times L^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 12,3468 \text{ kN/m} \times 3,605^2 \text{ m} \\ &= 6,686 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen Lapangan:

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{1}{8} \times qUl^2 \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 12,3468 \text{ kN/m} \times 3,605^2 \text{ m} \\ &= 20,0574 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Bordes:

Momen Tumpuan:

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{1}{24} \times qUl^2 \times L^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 8,9112 \text{ kN/m} \times 3,605^2 \text{ m} \\ &= 4,825 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen Lapangan:

$$Mu = \frac{1}{8} \times qUl^2 \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 8,9112 \text{ kN/m} \times 3,605^2 \text{ m}$$

$$= 14,4763 \text{ kN}$$

Menghitung Tulangan Pelat Tangga & Bordes:

Data yang direncanakan untuk pelat tangga dan bordes:

1. Direncanakan diameter tulangan tangga & bordes

$$\varnothing D = 10 \text{ mm}$$

2. Selimut beton = 20 mm
3. Mutu baja beton (f_c') = 25 MPa
4. Mutu baja tulangan (F_y) = 420 MPa

1. Penulangan Tangga:

Tulangan Tumpuan:

$$M_u = 6,686 \text{ kN}$$

$$\text{Tinggi efektif} = h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \varnothing D$$

$$= 140 - 20 - \frac{1}{2} (10)$$

$$= 113,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{6,686 \times 10^6}{1000 \times 113,5^2} = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,52}{420}} \right]$$

$$= 0,001254$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 113,5 \\ &= 204,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan).

Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 530,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 204,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada tangga tulangan tumpuan adalah **Ø13 – 250 mm**.

Tulangan Lapangan:

$$Mu = 20,0574 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi efektif} &= h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ØD} \\
 &= 140 - 20 - \frac{1}{2} (13) \\
 &= 113,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{20,0574 \times 10^6}{1000 \times 113,5^2} = 1,557 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{c'} } = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Karena mutu baja = 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,557}{420}} \right] \\
 &= 0,003854
 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,003854$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003854 \times 1000 \times 113,5 \\ &= 437,42 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_s \text{ pakai}$ yang dihitung lebih besar dari $A_s \text{ awal}$, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 437,42 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada tangga tulangan lapangan adalah **Ø13 – 250 mm**.

Tulangan Susut:

Dikarenakan nilai mutu baja $f_y \geq 420 \text{ MPa}$, maka nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Dalam desain ini tulangan susut akan digunakan rasio tulangan minimum. Sehingga luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 113,5 = 204,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, nilai maksimal spasi tulangan susut pelat adalah harus kurang dari $5h$ atau 450 mm.

$$S = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$$

atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 442,44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ tulangan susut yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,44 \text{ mm}^2 > 204,3 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan lentur susut yang akan digunakan pada pelat, baik arah- x atau pun pada arah- y , adalah **Ø13 – 300 mm.**

2. Penulangan Bordes

Tulangan Tumpuan:

$$\begin{aligned}
 Mu &= 4,825 \text{ kN} \\
 \text{Tinggi efektif} &= h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ØD} \\
 &= 140 - 20 - \frac{1}{2} (13) \\
 &= 113,5 \text{ mm} \\
 R_n &= \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{4,825 \times 10^6}{1000 \times 113,5^2} = 0,375 \text{ N/mm}^2 \\
 m &= \frac{F_y}{0,85.F_{cr}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647 \\
 \text{Karena mutu baja} &= 420 \text{ MPa, maka:} \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 0,375}{420}} \right] \\
 &= 0,00087625
 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{442,44 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 8,74$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{8,74}{0,85} = 10,28$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-10,28)}{10,28} \times 0,003 = 0,033$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho < \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 113,5 \\ &= 204,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan).

Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,44 \text{ mm}^2 > 207 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada bordes tulangan tumpuan adalah **Ø13 – 300 mm**.

Tulangan Lapangan:

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 14,4763 \text{ kN} \\ \text{Tinggi efektif} &= h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ØD} \\ &= 140 - 20 - \frac{1}{2} (13) \\ &= 113,5 \text{ mm} \\ R_n &= \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{14,4763 \times 10^6}{1000 \times 113,5^2} = 1,123 \text{ N/mm}^2 \\ m &= \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{c'} } = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647 \\ \text{Karena mutu baja} &= 420 \text{ MPa, maka:} \\ \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,123}{420}} \right] \\ &= 0,0027485 \end{aligned}$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Mengecek Tension control / control tarik dari tulangan tarik:

- Hitung nilai a berdasarkan tulangan aktual.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan tinggi balok tegangan dengan menggunakan luasan tulangan pakai.

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{530,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 10,488$$

- Hitung nilai c (tinggi garis netral baru)

Pada tahap ini diperoleh tinggi garis netral berdasarkan tulangan aktual (terpasang).

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{10,488}{0,85} = 12,34$$

- Cek kategori penampang

Menggunakan parameter ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{(123,5-12,34)}{12,34} \times 0,003 = 0,027$$

Bila:

$\varepsilon_t \geq 0,005$, maka pelat tergolong *tension controlled* (kontrol tarik).

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,0027485$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0027485 \times 1000 \times 113,5 \\ &= 311,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 250 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{250} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($530,66 \text{ mm}^2 > 307,855 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada bordes tulangan lapangan adalah **Ø13 – 250 mm.**

Tulangan Susut:

Dikarenakan nilai mutu baja $f_y \geq 420 \text{ MPa}$, maka nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Dalam desain ini tulangan susut akan digunakan rasio tulangan minimum. Sehingga luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 115 = 207 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, nilai maksimal spasi tulangan susut pelat adalah harus kurang dari 5h atau 450 mm.

$$S = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$$

atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 300 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1000}{300} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$= 442,44 \text{ mm}^2$$

Nilai A_s pakai tulangan susut yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($442,44 \text{ mm}^2 > 207 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan lentur susut yang akan digunakan pada pelat, baik arah- x atau pun pada arah- y , adalah **Ø13 – 300 mm**.

4.3.3 Rekapitulasi Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

1. Tulangan Tangga

Tulangan Tumpuan	Ø13 – 250 mm
Tulangan Lapangan	Ø13 – 250 mm
Tulangan Susut	Ø13 – 300 mm

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

2. Tulangan Bordes

Tulangan Tumpuan	Ø13 – 300 mm
Tulangan Lapangan	Ø13 – 250 mm
Tulangan Susut	Ø13 – 300 mm

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

4.4 Perhitungan Struktur Balok

Perhitungan struktur balok diawali dengan mencari momen yang bekerja pada balok dengan menganalisis struktur menggunakan *software* SAP2000 v22. Berikut momen yang bekerja pada balok didapat melalui faktor kombinasi pembebanan:

- a. $U = 1,4D$
- b. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- c. $U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
- d. $U = 1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E + L$
- e. $U = 1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E + L$
- f. $U = 0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E$
- g. $U = 0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E$

Dari kombinasi-kombinasi pembebanan diatas ini, momen yang akan diambil merupakan momen terbesar melalui salah satu kombinasi diatas ini, dengan cara melakukan *Envelope* pada software SAP2000 untuk mencari otomatis momen max yang akan didapat melalui kombinasi-kombinasi pembebanan diatas. Momen negatif yang didapatkan terbesar didapatkan pada kombinasi ($U = 1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E + L$). Momen positif yang didapatkan terbesar didapatkan pada kombinasi ($U = 0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E$).

Berikut dibawah ini merupakan perhitungan tulangan balok.

4.4.1 Perhitungan Tulangan Utama Balok

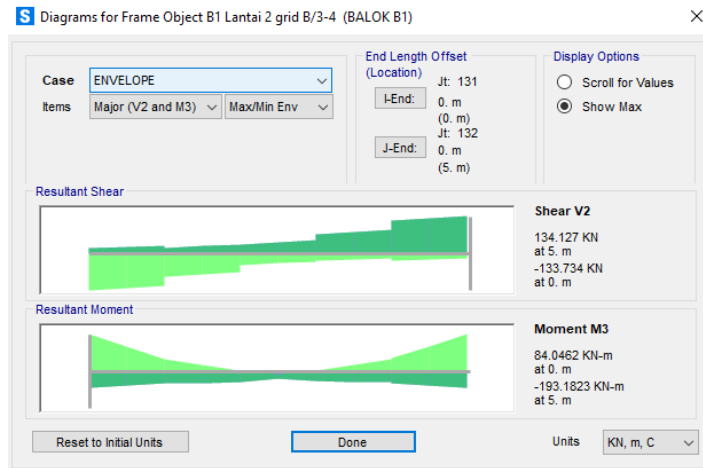
Perhitungan penulangan lentur dan geser balok diambil dibagian tengah yaitu pada balok B1 lantai 2 Grid B/3-4, dapat dilihat pada gambar 4.12 bagian lingkaran merah.



Gambar 4.12 Bagian Balok yang akan Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Momen yang bekerja pada balok B1 yang akan ditinjau dapat dilihat pada gambar 4.13.

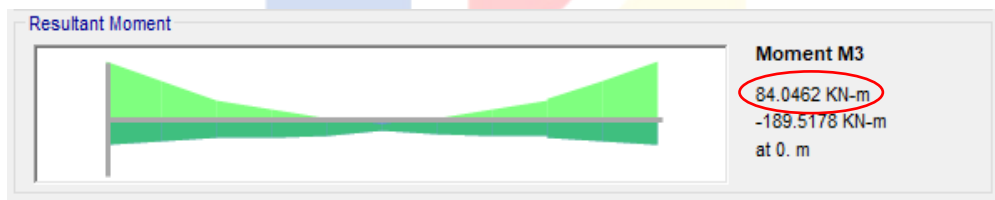


Gambar 4.13 Momen yang Bekerja pada Balok B1

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dengan hasil yang didapat:

- **Momen maksimum pada bagian tumpuan kiri positif (atas) balok B1:**
Momen maksimum tumpuan kiri positif (atas) balok sebesar 84,0462 kN.m terlihat seperti gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4.14 Momen Maksimum Bagian Tumpuan Kiri Positif (atas) Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

- **Momen maksimum pada bagian tumpuan kiri negatif (bawah) balok B1:**
Momen maksimum tumpuan kiri negatif (bawah) balok sebesar -189,5178 kN.m terlihat seperti gambar 4.15.

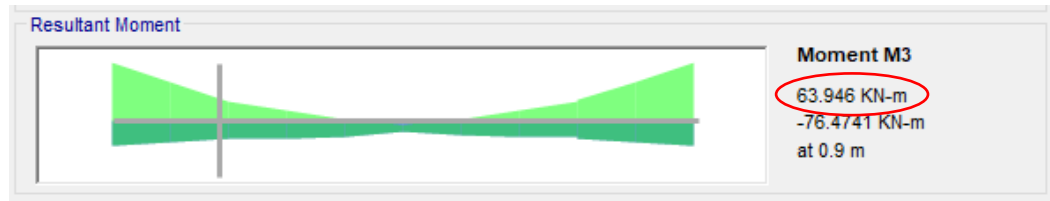


Gambar 4.15 Momen Maksimum Bagian Tumpuan Kiri Negatif (bawah) Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

- **Momen maksimum pada area lapangan positif balok B1:**

Momen maksimum lapangan positif (atas) balok sebesar 63.946 kN.m didapat pada daerah $2h = 900$ mm dari muka kolom, terlihat seperti gambar 4.16.

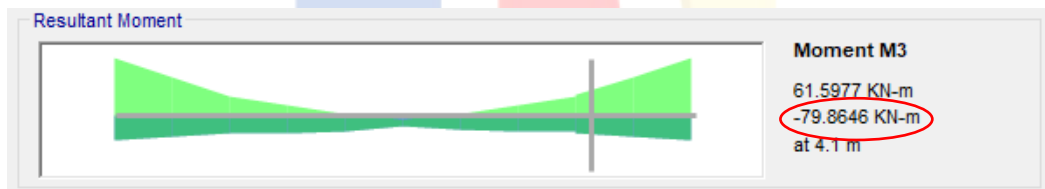


Gambar 4.16 Momen Maksimum Bagian Lapangan Positif (atas) Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

- **Momen maksimum pada area lapangan negatif balok B1:**

Momen maksimum lapangan negatif (bawah) balok sebesar 79,8646 kN.m didapat pada daerah $2h = 900$ mm dari muka kolom, terlihat seperti gambar 4.17 dibawah ini.

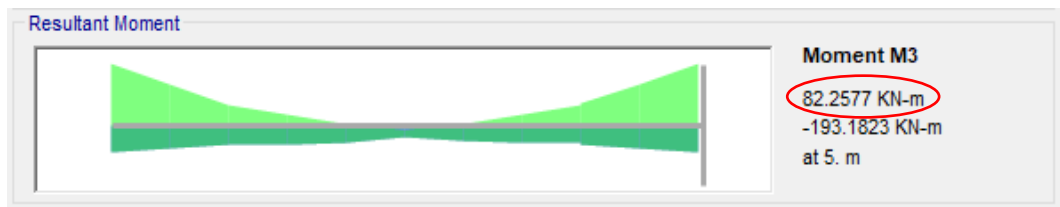


Gambar 4.17 Momen Maksimum Bagian Lapangan Negatif (bawah) Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

- **Momen maksimum pada bagian tumpuan kanan positif balok B1:**

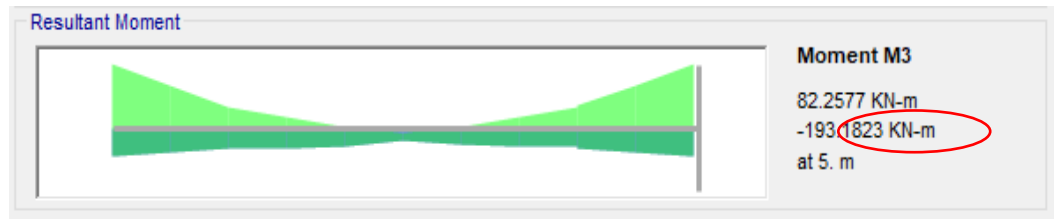
Momen maksimum tumpuan kanan balok positif (atas) sebesar 82,2577 kN.m terlihat seperti gambar 4.18.



Gambar 4.18 Momen Maksimum Bagian Tumpuan Kanan Positif (atas) Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

- **Momen maksimum pada bagian tumpuan kanan negatif balok B1:**
Momen maksimum tumpuan kanan balok negatif (bawah) sebesar 193,1823 kN.m terlihat seperti gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4.19 Momen Maksimum Bagian Tumpuan Kanan Positif (atas) Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.4.1.1 Perhitungan Tulangan Balok B1 Terhadap Momen Lentur

Data balok yang ditinjau:

Kuat tekan beton f_c'	= 25 MPa
F_y	= 420 MPa
Modulus elastistas	= $4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{25} = 23500$ MPa
b	= 300 mm
h	= 450 mm
tebal selimut	= 40 mm
ϕ	= 0,9
β_1	= Berdasarkan Pasal 22.2.2.4.3, Jika: $17 \leq f_c' \leq 28$, maka $\beta_1 = 0,85$

Dengan rekapan momen ultimate pada balok pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Rekapan momen ultimate balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4

B1 Lantai 2 grid B/3-4	Tumpuan Kiri (+)	84.0462
	Tumpuan Kiri (-)	189.518
	Lapangan (+)	63.946
	Lapangan (-)	79.8646
	Tumpuan Kanan (+)	82.2577
	Tumpuan Kanan (-)	193.182

1. Tulangan Tumpuan Kiri:

Tulangan Tumpuan Kiri Positif Balok B1:

1. Mengecek persyaratan SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok:

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint.

Jika:

- Mu Tumpuan Positif $> \frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif, maka digunakan Mu Tumpuan Positif
- Mu Tumpuan Positif $< \frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif, maka digunakan $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif

Cek Mu:

- Mu Tumpuan Positif : 84,0462 kN.m
- $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif : $\frac{1}{2} \times 189,5178 = 94,7589$ kN.m

Maka digunakan $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif sebesar 94,7589 kN.m

2. Menghitung nilai Mn:

$$\text{Mu (Tumpuan +)} = 94,7589 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mn (Tumpuan +)} = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{94,7589}{0,9} = 105,2877 \text{ kN.m}$$

3. Menghitung nilai d:

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang}$$

$$d = 450 - \left(\frac{19}{2}\right) - 40 - 10 = 390,5 \text{ mm}$$

4. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{25}}{420} = 0,0029762$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Sehingga diambil rasio minimum sebesar $\rho_{min} = 0,0033$. Rasio tulangan yang digunakan nanti harus lebih besar dari rasio minimum ($\rho \geq \rho_{min}$).

5. Menghitung nilai R_n dan m :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{105,3 \times 10^6}{300 \times 390,5^2} = 2,301517$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

6. Menghitung rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,7647} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 2,301517}{420}} \right) \\ &= 0,00581 \end{aligned}$$

Nilai $\rho > \rho_{min}$, maka rasio tulangan yang diambil $\rho = 0,00581$.

7. Nilai rasio tulangan yang diambil tidak boleh melebihi nilai rasio tulangan maksimum sesuai Pasal 18.6.3.1:

$$\rho_{max} = 0,025$$

8. Hitung nilai luas tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho b d = 0,00581 \times 300 \times 390,5 = 681,09 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang akan dipakai: 19 mm

9. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{681,09}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = 2,4 \approx 3 \text{ buah tulangan}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 3 = 850,59 \text{ mm}^2$$

Dipakai 3D19

10. Kontrol A_s :

A_s terpasang harus lebih besar dari A_s perlu

$$A_s \text{ terpasang} = 850,59 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 681,09 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi syarat).}$$

Tulangan Tumpuan Kiri Negatif (bawah) Balok B1:

1. Menghitung nilai Mn

$$Mu = 189,5178 \text{ kN.m}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{189,5178}{0,9} = 210,58 \text{ kN.m}$$

2. Menghitung nilai d

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang}$$

$$d = 450 - \left(\frac{22}{2}\right) - 40 - 10 = 389 \text{ mm}$$

3. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{25}}{420} = 0,0029762$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Sehingga diambil rasio minimum sebesar $\rho_{min} = 0,0033$. Rasio tulangan yang digunakan nanti harus lebih besar dari rasio minimum ($\rho \geq \rho_{min}$).

4. Menghitung nilai R_n dan m:

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{210,58 \times 10^6}{300 \times 389} = 4,6386$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

5. Menghitung rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,7647} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 4,6386}{420}} \right) \\ &= 0,01262 \end{aligned}$$

Nilai $\rho > \rho_{min}$, maka rasio tulangan yang diambil $\rho = 0,01262$.

6. Nilai rasio tulangan yang diambil tidak boleh melebihi nilai rasio tulangan maksimum sesuai Pasal 18.6.3.1:

$$\rho_{max} = 0,025$$

7. Hitung nilai luas tulangan yang dibutuhkan.

$$A_s = \rho b d = 0,01262 \times 300 \times 389 = 1472,47 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang akan dipakai: 22 mm

8. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{1472,47}{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2} = 3,874 \approx 4 \text{ buah tulangan}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 4 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Dipakai 4D22

9. Kontrol A_s :

A_s terpasang harus lebih besar dari A_s perlu

$$A_s \text{ terpasang} = 1520,53 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1472,47 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi syarat).}$$

Cek kembali syarat SRPMK untuk kekuatan lentur terpasang pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint.

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan tulangan terpasang:

$$A_s \text{ Pasang Tumpuan Kiri (+)} = 3D19 = 850,49 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang Tumpuan Kiri (-)} = 4D22 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan kiri (+)}} \geq \frac{1}{2} \times M_{\text{lentur tumpuan kiri (-)}}$$

$$850,49 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$850,49 \text{ mm}^2 \geq 760,265 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi pada daerah Tumpuan Kiri, dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 4D22

Tulangan Tekan : 3D19

2. Tulangan Tumpuan Kanan:

Tulangan Tumpuan Kanan Positif (atas) Balok B1:

1. Mengecek persyaratan SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok:

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint.

Jika:

- Mu Tumpuan Positif $> \frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif, maka digunakan Mu Tumpuan Positif
- Mu Tumpuan Positif $< \frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif, maka digunakan $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif

Cek Mu:

- Mu Tumpuan Positif : 82,2577 kN.m
- $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif : $\frac{1}{2} \times 193,182 = 96,591$ kN.m

Maka digunakan $\frac{1}{2}$ Mu Tumpuan Negatif sebesar 96,591 kN.m

2. Menghitung nilai Mn:

$$\text{Mu (Tumpuan +)} = 96,591 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mn (Tumpuan +)} = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{96,591}{0,9} = 107,32 \text{ kN.m}$$

3. Menghitung nilai d:

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang}$$

$$d = 450 - \left(\frac{19}{2}\right) - 40 - 10 = 390,5 \text{ mm}$$

4. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{25}}{420} = 0,0029762$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Sehingga diambil rasio minimum sebesar $\rho_{min} = 0,0033$. Rasio tulangan yang digunakan nanti harus lebih besar dari rasio minimum ($\rho \geq \rho_{min}$).

5. Menghitung nilai R_n dan m :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{107,32 \times 10^6}{300 \times 390,5^2} = 2,346$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

6. Menghitung rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,7647} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 2,346}{420}} \right) \\ &= 0,00593 \end{aligned}$$

Nilai $\rho > \rho_{min}$, maka rasio tulangan yang diambil $\rho = 0,00593$.

7. Nilai rasio tulangan yang diambil tidak boleh melebihi nilai rasio tulangan maksimum sesuai Pasal 18.6.3.1:

$$\rho_{max} = 0,025$$

8. Hitung nilai luas tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho b d = 0,00593 \times 300 \times 390,5 = 695,134 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang akan dipakai: 19 mm

9. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{695,134}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = 2,452 \approx 3 \text{ buah tulangan}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 3 = 850,59 \text{ mm}^2$$

Dipakai 3D19

10. Kontrol A_s :

A_s terpasang harus lebih besar dari A_s perlu

A_s terpasang = $850,59 \text{ mm}^2 > A_s$ perlu = $695,134 \text{ mm}^2$ (memenuhi syarat).

Tulangan Tumpuan Kanan Negatif (bawah) Balok B1:

1. Menghitung nilai M_n

$$M_u = 193,182 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{193,182}{0,9} = 214,65 \text{ kN.m}$$

2. Menghitung nilai d

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang}$$

$$d = 450 - \left(\frac{22}{2}\right) - 40 - 10 = 389 \text{ mm}$$

3. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{25}}{420} = 0,0029762$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Sehingga diambil rasio minimum sebesar $\rho_{min} = 0,0033$. Rasio tulangan yang digunakan nanti harus lebih besar dari rasio minimum ($\rho \geq \rho_{min}$).

4. Menghitung nilai R_n dan m :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{214,65 \times 10^6}{300 \times 389} = 4,7283$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

5. Menghitung rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,7647} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 4,7283}{420}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0129$$

Nilai $\rho > \rho_{min}$, maka rasio tulangan yang diambil $\rho = 0,0129$.

6. Nilai rasio tulangan yang diambil tidak boleh melebihi nilai rasio tulangan maksimum sesuai Pasal 18.6.3.1:

$$\rho_{max} = 0,025$$

7. Hitung nilai luas tulangan yang dibutuhkan.

$$A_s = \rho b d = 0,0129 \times 300 \times 389 = 1505,8 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang akan dipakai: 22 mm

8. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{1505,8}{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2} = 3,961 \approx 4 \text{ buah tulangan}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 4 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Dipakai 4D22

9. Kontrol A_s :

A_s terpasang harus lebih besar dari A_s perlu

$$A_s \text{ terpasang} = 1520,53 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1505,8 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi syarat).}$$

Cek kembali syarat SRPMK untuk kekuatan lentur terpasang pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint.

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan tulangan terpasang:

$$A_s \text{ Pasang Tumpuan Kanan (+)} = 3D19 = 850,49 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang Tumpuan Kanan (-)} = 4D22 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan kiri (+)}} \geq \frac{1}{2} \times M_{\text{lentur tumpuan kiri (-)}}$$

$$850,49 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$850,49 \text{ mm}^2 \geq 760,265 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi pada daerah Tumpuan Kiri, dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 4D22

Tulangan Tekan : 3D19

3. Tulangan Lapangan:

Tulangan Lapangan Positif (atas) Balok B1:

1. Mengecek persyaratan SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok:

Kekuatan momen negatif atau positif pada area lapangan sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Jika:

- Mu Lapangan Positif $> \frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum, maka digunakan Mu Lapangan Positif
- Mu Lapangan Positif $< \frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum, maka digunakan $\frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum

Cek Mu:

- Mu Lapangan Positif : 63,946 kN.m
- $\frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum : $\frac{1}{4} \times 193,1823 = 48,296$ kN.m

Maka digunakan Mu Lapangan Positif sebesar 63,946 kN.m

2. Menghitung nilai Mn:

$$Mu \text{ (Tumpuan +)} = 63,946 \text{ kN.m}$$

$$Mn \text{ (Tumpuan +)} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{63,946}{0,9} = 71,051 \text{ kN.m}$$

3. Menghitung nilai d:

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang}$$

$$d = 450 - \left(\frac{19}{2}\right) - 40 - 10 = 390,5 \text{ mm}$$

4. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{25}}{420} = 0,0029762$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Sehingga diambil rasio minimum sebesar $\rho_{min} = 0,0033$. Rasio tulangan yang digunakan nanti harus lebih besar dari rasio minimum ($\rho \geq \rho_{min}$).

5. Menghitung nilai R_n dan m :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{71,051 \times 10^6}{300 \times 390,5^2} = 1,5531$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

6. Menghitung rasio tulangan:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,7647} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,5531}{420}} \right) \\ &= 0,00384\end{aligned}$$

Nilai $\rho > \rho_{min}$, maka rasio tulangan yang diambil $\rho = 0,00384$.

7. Nilai rasio tulangan yang diambil tidak boleh melebihi nilai rasio tulangan maksimum sesuai Pasal 18.6.3.1:

$$\rho_{max} = 0,025$$

8. Hitung nilai luas tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho b d = 0,00384 \times 300 \times 390,5 = 450,318 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang akan dipakai: 19 mm

9. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{450,318}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = 1,588 \approx 2 \text{ buah tulangan}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 2 = 567,06 \text{ mm}^2$$

Dipakai 2D19

10. Kontrol A_s :

A_s terpasang harus lebih besar dari A_s perlu

A_s terpasang = $567,06 \text{ mm}^2 > A_s$ perlu = $450,318 \text{ mm}^2$ (Memenuhi syarat)

Tulangan Lapangan Negatif (bawah) Balok B1:

1. Mengecek persyaratan SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok:

Kekuatan momen negatif atau positif pada area lapangan sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Jika:

- Mu Lapangan Negatif $> \frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum, maka digunakan Mu Lapangan Positif
- Mu Lapangan Negatif $< \frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum, maka digunakan $\frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum

Cek Mu:

- Mu Lapangan Negatif : $79,865 \text{ kN.m}$
- $\frac{1}{4}$ Mu Tumpuan Negatif maksimum : $\frac{1}{4} \times 193,1823 = 48,296 \text{ kN.m}$

Maka digunakan Mu Lapangan Negatif sebesar $79,865 \text{ kN.m}$

2. Menghitung nilai M_n

$$Mu = 79,865 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{79,865}{0,9} = 88,738 \text{ kN.m}$$

3. Menghitung nilai d

$$d = h - \left(\frac{\phi}{2}\right) - \text{tebal selimut beton} - \text{diameter sengkang}$$

$$d = 450 - \left(\frac{22}{2}\right) - 40 - 10 = 389 \text{ mm}$$

4. Menghitung rasio minimum:

Nilai rasio minimum diambil nilai terbesar dari dua persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{25}}{420} = 0,0029762$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Sehingga diambil rasio minimum sebesar $\rho_{min} = 0,0033$. Rasio tulangan yang digunakan nanti harus lebih besar dari rasio minimum ($\rho \geq \rho_{min}$).

5. Menghitung nilai R_n dan m :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{88,738 \times 10^6}{300 \times 389} = 1,9548$$

Nilai parameter (m):

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

6. Menghitung rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19,7647} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,9548}{420}} \right) \\ &= 0,00489 \end{aligned}$$

Nilai $\rho > \rho_{min}$, maka rasio tulangan yang diambil $\rho = 0,00489$.

7. Nilai rasio tulangan yang diambil tidak boleh melebihi nilai rasio tulangan maksimum sesuai Pasal 18.6.3.1:

$$\rho_{max} = 0,025$$

8. Hitung nilai luas tulangan yang dibutuhkan.

$$A_s = \rho b d = 0,00489 \times 300 \times 389 = 570,724 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang akan dipakai: 22 mm

9. Hitung jumlah tulangan dan nilai luasan tulangan yang terpasang:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{570,724}{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2} = 1,501 \approx 2 \text{ buah tulangan}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 2 = 760,3 \text{ mm}^2$$

Dipakai 2D22

10. Kontrol A_s :

A_s terpasang harus lebih besar dari A_s perlu

A_s terpasang = $760,3\text{mm}^2 > A_s$ perlu = $570,724\text{ mm}^2$ (memenuhi syarat)

Cek kembali syarat SRPMK untuk kekuatan lentur terpasang pada balok

Kekuatan momen negatif atau positif pada area lapangan sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan tulangan terpasang:

A_s Pasang Lapangan (+) = 2D19 = $567,06\text{ mm}^2$

A_s Pasang Lapangan (-) = 4D22 = $1520,53\text{ mm}^2$

$$M_{\text{lentur lapangan (+)}} \geq \frac{1}{4} \times M_{\text{lentur tumpuan maksimal (-)}}$$

$$567,06\text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 1520,53\text{ mm}^2$$

$$567,06\text{ mm}^2 \geq 380,1325\text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi pada daerah Lapangan, dipasang tulangan:

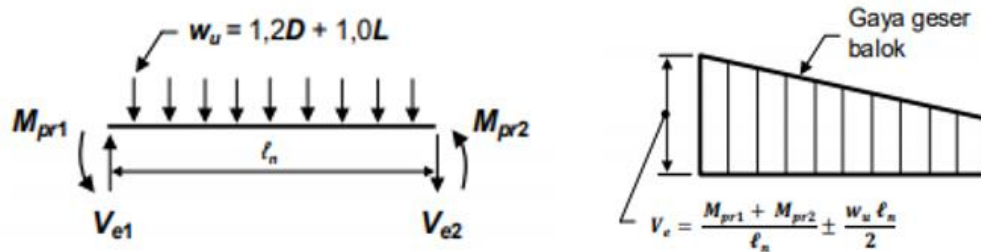
Tulangan Tarik : 2D22

Tulangan Tekan : 2D19

4.4.2 Perhitungan Tulangan Sengkang Balok

Menghitung besar gaya geser desain (V_e) yang diperlukan:

Gaya geser desain (V_e) dihitung berdasarkan tinjauan gaya-gaya yang ada pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Untuk mendapat nilai V_e , harus menentukan nilai momen (M_{pr}) diantara kedua *joint* balok tersebut, dan berat total (W_u) yang terjadi pada balok tersebut. Momen-momen ujung M_{pr} ditentukan dengan tegangan tarik baja sebesar ($1,25F_y$). Untuk penjelasan lebih detail dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Penjelasan Perhitungan Gaya Geser Desain Balok

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Tulangan Geser / Senggang pada Daerah Tumpuan Kanan dan Kiri Balok:

1. Hitung Momen Kapasitas M_{pr}

a. Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan

Tulangan yang terpasang pada tumpuan kanan negatif, $A_s = 1520,53 \text{ mm}^2$ (4D22)

$$a_1 = \frac{A_s \cdot 1,25 F_y}{0,85 \cdot F'_c \cdot b} = \frac{1520,53 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 125,22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= 1,25 A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 1520,53 \times 420 \left(389 - \frac{125,22}{2} \right) \times 10^6 \\ &= 260,55 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Tulangan yang terpasang pada tumpuan kiri positif, $A_s = 850,59 \text{ mm}^2$ (3D19)

$$a_2 = \frac{A_s \cdot 1,25 F_y}{0,85 \cdot F'_c \cdot b} = \frac{850,59 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 70,05 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= 1,25 A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 850,59 \times 420 \left(390,5 - \frac{70,05}{2} \right) \times 10^6 \\ &= 158,74 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kiri

Tulangan yang terpasang pada tumpuan kiri negatif, $A_s = 1520,53 \text{ mm}^2$ (4D22)

$$a_3 = \frac{A_s \cdot 1,25 F_y}{0,85 \cdot F'_c \cdot b} = \frac{1520,53 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 125,22 \text{ mm}$$

$$M_{pr3} = 1,25 A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 1520,53 \times 420 \left(389 - \frac{125,22}{2} \right) \times 10^6$$

$$= 260,55 \text{ kN.m}$$

Tulangan yang terpasang pada tumpuan kanan positif, $A_s = 850,59 \text{ mm}^2$
(3D19)

$$a_4 = \frac{A_s \cdot 1,25 F_y}{0,85 \times F'_c \times b} = \frac{850,59 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 70,05 \text{ mm}$$

$$M_{pr4} = 1,25 A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 850,59 \times 420 \left(390,5 - \frac{70,05}{2} \right) \times 10^6$$

$$= 158,74 \text{ kN.m}$$

2. Hitung gaya geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur

$$W_u = 1,2D + 1,0L$$

$$= 1,2 (17,11) + 1,0 (4,09)$$

$$= 24,622 \text{ kN/m}$$

$$V \text{ akibat gravitasi} = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{24,622 \times 4,4}{2} = 54,17 \text{ kN}$$

a. Struktur bergoyang ke kanan

$$V_s \text{ gempa kanan} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} = \frac{260,55 + 158,74}{4,4} = 95,3 \text{ kN}$$

- Total reaksi geser di ujung kiri balok:

$$V_e \text{ (ujung kiri balok)} = 54,17 - 95,3$$

$$= 41,13 \text{ kN (arah gaya geser kebawah)}$$

- Total reaksi geser di ujung kanan balok:

$$V_e \text{ (ujung kanan balok)} = 54,17 + 95,3$$

$$= 149,47 \text{ kN (arah gaya geser keatas)}$$

b. Struktur bergoyang ke kiri

$$V_s \text{ gempa kiri} = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_n} = \frac{260,55 + 158,74}{4,4} = 95,3 \text{ kN}$$

- Total reaksi geser di ujung kiri balok:

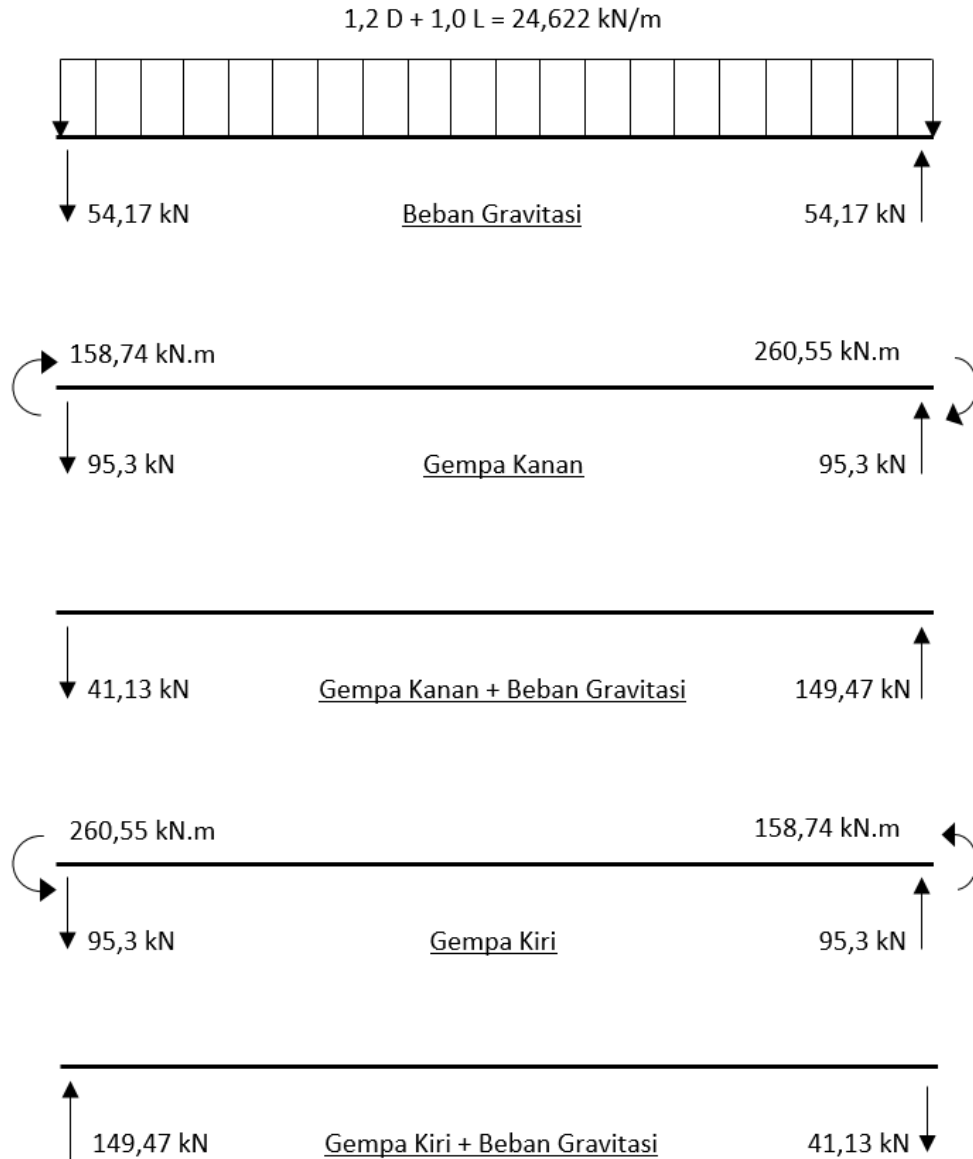
$$V_e \text{ (ujung kiri balok)} = 54,17 + 95,3$$

$$= 149,47 \text{ kN (arah gaya geser keatas)}$$

- Total reaksi geser di ujung kanan balok:

$$\begin{aligned}
 V_e \text{ (ujung kanan balok)} &= 54,17 - 95,3 \\
 &= 41,13 \text{ kN (arah gaya geser kebawah)}
 \end{aligned}$$

Berikut pada gambar 4.21 dibawah ini merupakan gambar dari desain gaya geser untuk balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4 akibat beban gravitasi, dan gempa.



Gambar 4.21 Desain Gaya Geser Untuk Balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4 Akibat Beban Gravitasi, dan Gempa.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

3. Hitung tulangan sengkang untuk gaya geser tumpuan kanan dan kiri balok

Analisis geser pada balok akan dibagi menjadi 2 daerah, yaitu daerah tumpuan dan lapangan. Sehingga perlu dicari nilai V_e masing-masing daerah.

Pada komponen struktur tulangan sengkang balok dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berlaku ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019, kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu V_c harus diambil = 0 pada perencanaan geser apabila:

- Gaya geser akibat gempa di ujung-ujung melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser perlu maksimum disepanjang bentang.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$.

Dikarenakan gaya geser akibat gempa = 95,3 kN > $0,5 \times 149,47$ kN dan gaya aksial yang sangat kecil (kurang dari $A_g f'_c / 20$), maka $V_c = 0$ sehingga:

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} = \frac{149,47}{0,75} = 199,3 \text{ kN}$$

Kontrol kuat geser nominal tidak boleh lebih besar dari V_s maksimal

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= \frac{2}{3} b_w d \sqrt{f'_c} \\ &= \frac{2}{3} \times 300 \times 390,5 \times \sqrt{25} \\ &= 390500 \text{ N} \sim 390,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Mengecek V_s :

$$V_s \text{ max} > V_s = 390,5 > 199,3 \text{ kN (Memenuhi)}$$

Penggunaan sengkang pada balok ini menggunakan 2 kaki diameter 10 mm pada tumpuan kanan dan kiri balok, dipasang pada daerah sepanjang $2h = 900$ dari muka kolom.

Diameter tulangan geser 3 kaki diameter 10 mm ($A_v = 235,62 \text{ mm}^2$), diperoleh S sebesar:

$$S = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_s} = \frac{235,62 \times 420 \times 390,5}{199,3 \times 10^3} = 193,9 \text{ mm} \sim \text{menggunakan spasi } 150 \text{ mm.}$$

Untuk persyaratan spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari syarat dibawah ini:

- a) $d/4 = \frac{390,5}{4} = 97,6 \text{ mm} \rightarrow$ gunakan spasi 75 mm
- b) $6db = 6 \times 19 = 114 \text{ mm} \rightarrow$ gunakan spasi 100 mm
- c) 150 mm

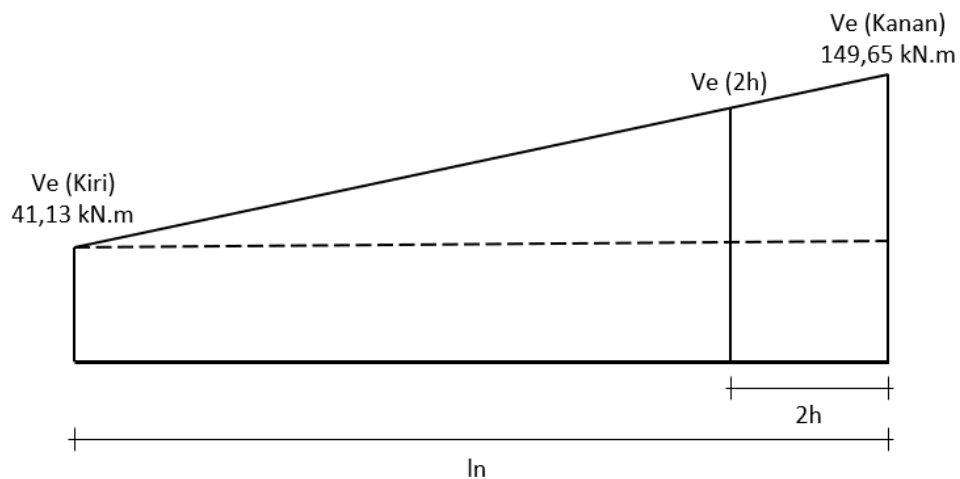
Maka untuk penggunaan spasi tulangan sengkang daerah tumpuan memakai spasi terkecil dari persyaratan yaitu 75 mm.

4. Hitung tulangan sengkang untuk gaya geser pada area lapangan balok

Total reaksi gaya geser pada area lapangan balok diambil terbesar pada bagian jarak $2h$ dari ujung balok kanan dan kiri. Berikut dibawah ini merupakan perhitungan total reaksi gaya geser pada daerah lapangan balok:

Menghitung nilai V_e pada jarak $2h$ dari ujung balok:

- Struktur bergoyang ke-kanan:



Gambar 4.22 Diagram Momen Struktur Bergoyang ke-Kanan.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

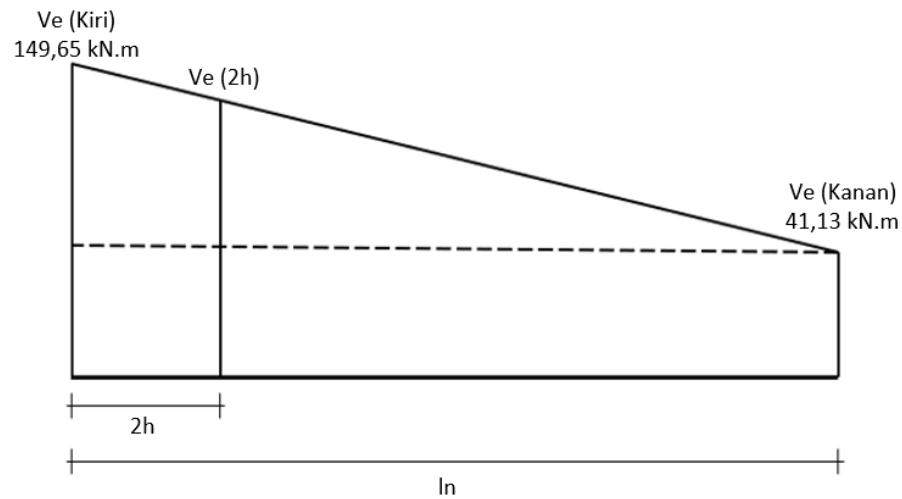
$$\frac{Ve(2h)}{Ve(Kanan) - Ve(Kiri)} = \frac{(ln - 2h)}{ln}$$

$$Ve(2h) = \frac{(ln - 2h)(Ve(Kanan) - Ve(Kiri))}{ln} + Ve(Kiri)$$

$$= \frac{(4,4 - 0,9)(149,65 - 41,13)}{4,4} + 41,13$$

$$= 127,453 \text{ kN.m}$$

- Struktur bergoyang ke-kiri:



Gambar 4.23 Diagram Momen Struktur Bergoyang ke-Kiri.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

$$\frac{Ve(2h)}{Ve(Kanan) - Ve(Kiri)} = \frac{(ln - 2h)}{ln}$$

$$Ve(2h) = \frac{(ln - 2h)(Ve(Kiri) - Ve(Kanan))}{ln} + Ve(Kanan)$$

$$= \frac{(4,4 - 0,9)(149,65 - 41,13)}{4,4} + 41,13$$

$$= 127,453 \text{ kN.m}$$

Menghitung nilai kuat beton V_c :

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b.d$$

$$= 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{25} \times 300 \times 389$$

$$= 99195 \text{ N} \sim 99,2 \text{ kN}$$

Menghitung V_s rencana:

$$V_s = \left(\frac{Ve(2h)}{\phi}\right) - V_c$$

$$= \left(\frac{127,453}{0,75}\right) - 99,2$$

$$= 70,74 \text{ kN}$$

Menghitung nilai A_v :

- Diameter tulangan geser yang digunakan adalah 10 mm
- Jumlah kaki dari tulangan geser menggunakan 2 kaki

Sehingga luasan aktual tulangan geser pada daerah lapangan:

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,1 \text{ mm}^2.$$

Diameter tulangan geser 2 kaki diameter 10 mm ($A_v = 157,1 \text{ mm}^2$), diperoleh S sebesar:

$$S = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \times 420 \times 389}{70,74 \times 10^3} = 362,8 \text{ mm} \sim \text{menggunakan spasi } 350 \text{ mm}.$$

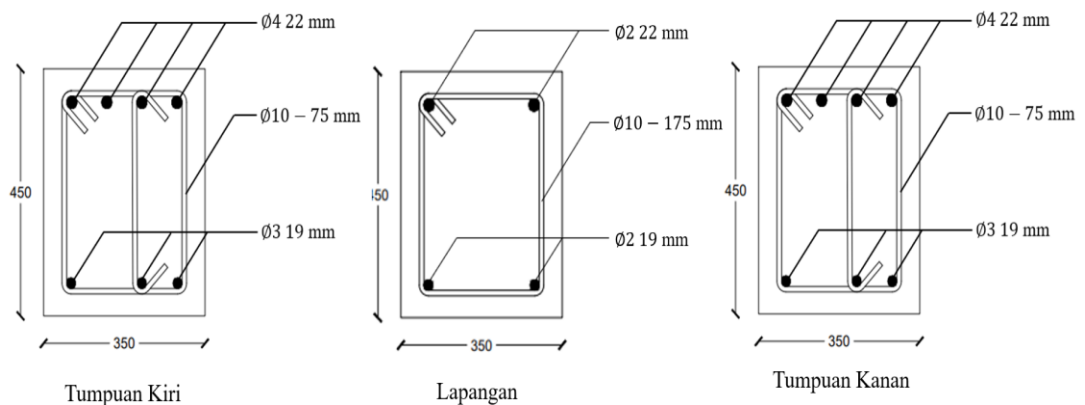
Menentukan jarak tulangan geser (S):

Untuk persyaratan spasi sengkang pengekuat tidak boleh melebihi nilai terkecil dari syarat dibawah ini:

$$d/2 = \frac{389}{2} = 194,5 \text{ mm} \longrightarrow \text{gunakan spasi } 175 \text{ mm}$$

Maka untuk penggunaan spasi tulangan sengkang daerah lapangan memakai spasi terkecil dari persyaratan yaitu 175 mm.

Berikut merupakan gambar penampang balok tumpuan kiri, lapangan, dan tumpuan kanan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Penampang Balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4 Tumpuan dan Lapangan

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.5 Perhitungan Struktur Kolom

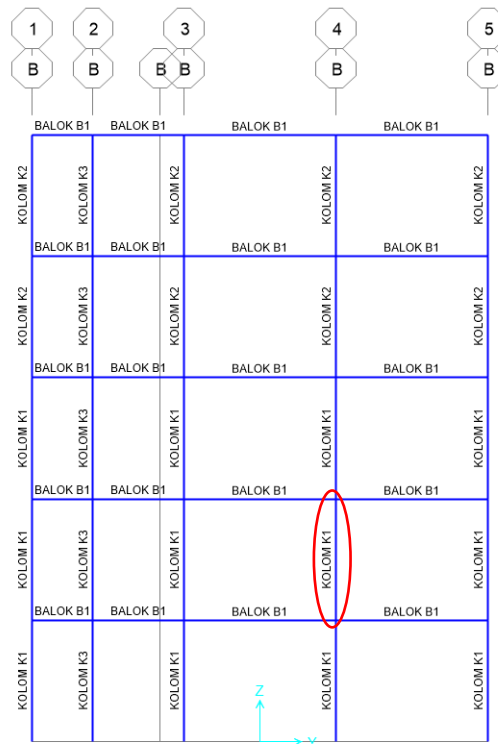
Perhitungan struktur kolom diawali dengan mengambil beban aksial yang menghasilkan momen terbesar pada daerah kolom tersebut dengan menggunakan *software* SAP2000 v22. Beban aksial yang bekerja pada kolom didapat melalui faktor kombinasi pembebanan seperti dibawah ini:

- a. $U = 1,4D$
- b. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- c. $U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
- d. $U = 1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E + L$
- e. $U = 1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E + L$
- f. $U = 0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E$
- g. $U = 0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E$

Dari kombinasi-kombinasi pembebanan diatas ini, beban aksial yang akan diambil merupakan beban aksial yang bekerja melalui salah satu kombinasi diatas ini. Berikut dibawah ini merupakan perhitungan tulangan kolom.

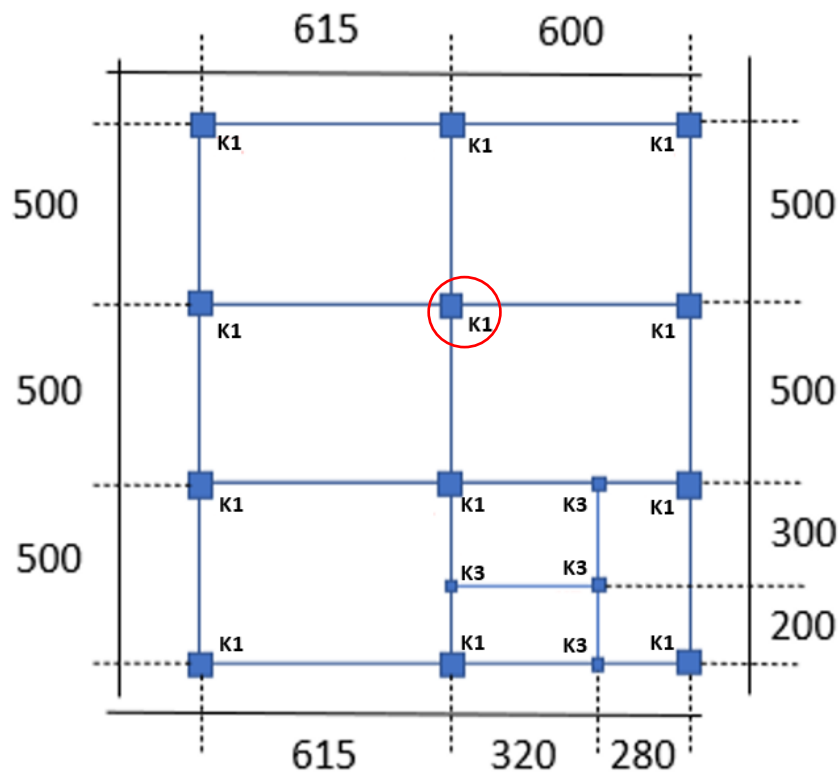
4.5.1 Perhitungan Tulangan Utama Kolom

Untuk contoh perhitungan, kolom yang akan ditinjau pada lantai 2 dengan nama kolom (K1 Lantai 2 Grid B-4) yang dapat dilihat pada lingkaran merah Gambar 4.25, dan Gambar 4.26.



Gambar 4.25 Bagian Kolom yang akan ditinjau Tampak Samping.

(Sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 4.26 Bagian Kolom yang akan ditinjau Tampak Atas.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pemilihan Tulangan Utama Kolom:

Syarat luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.

Asumsi memakai $0,01A_g$, maka:

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= 0,01A_g \\ &= 0,01 \times 600 \times 600 \\ &= 3600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pemilihan tulangan kolom memakai 8D25 mm, maka:

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1}{4}\pi D^2 \times n = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 8 = 3927 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol } A_s &= A_s \text{ terpasang} > A_s \text{ perlu} \\ &= 3927 \text{ mm}^2 > 3600 \text{ mm}^2 \longrightarrow (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

Rasio tulangan yang terpasang adalah:

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{3927}{600 \times 600} = 1,09\%$$

($1\% \leq \rho_{\text{terpasang}} \leq 6\%$) \longrightarrow Memenuhi.

Beban aksial (Pu) dan Mn pada Kolom:

Beban aksial (Pu) diambil pada joint kolom atas dan bawah melalui kombinasi-kombinasi yang terjadi pada kolom. Dari beban aksial (Pu) yang didapat, kemudian mengambil data Mn melalui diagram interaksi menggunakan *software* spcolumn untuk mencari Mn yang ada pada kolom dengan rasio tulangan 1,09% atau 8D25 mm. Berikut dibawah ini merupakan beban aksial dan momen yang ada pada kolom yang ditinjau:

Tabel 4.5 Beban Pu dan Mn pada Kolom K1 Lantai 1 Grid B-4 Joint Atas.

No.	Kombinasi beban	Aksial (kN)	Momen (kN.m)
1	1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E + L	2173	578
2	1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E + L	2180	576
3	0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E	1096	617
4	0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E	1092	616

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Tabel 4.6 Beban Pu dan Mn pada Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 Joint Bawah.

No.	Kombinasi beban	Aksial (kN)	Momen (kN.m)
1	1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E +L	1719	680
2	1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E +L	1724	679
3	0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E	874	576
4	0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E	879	577

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Tabel 4.7 Beban Pu dan Mn pada Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 Joint Atas.

No.	Kombinasi beban	Aksial (kN)	Momen (kN.m)
1	1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E +L	1674	685
2	1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E +L	1679	686
3	0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E	848	571
4	0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E	853	572

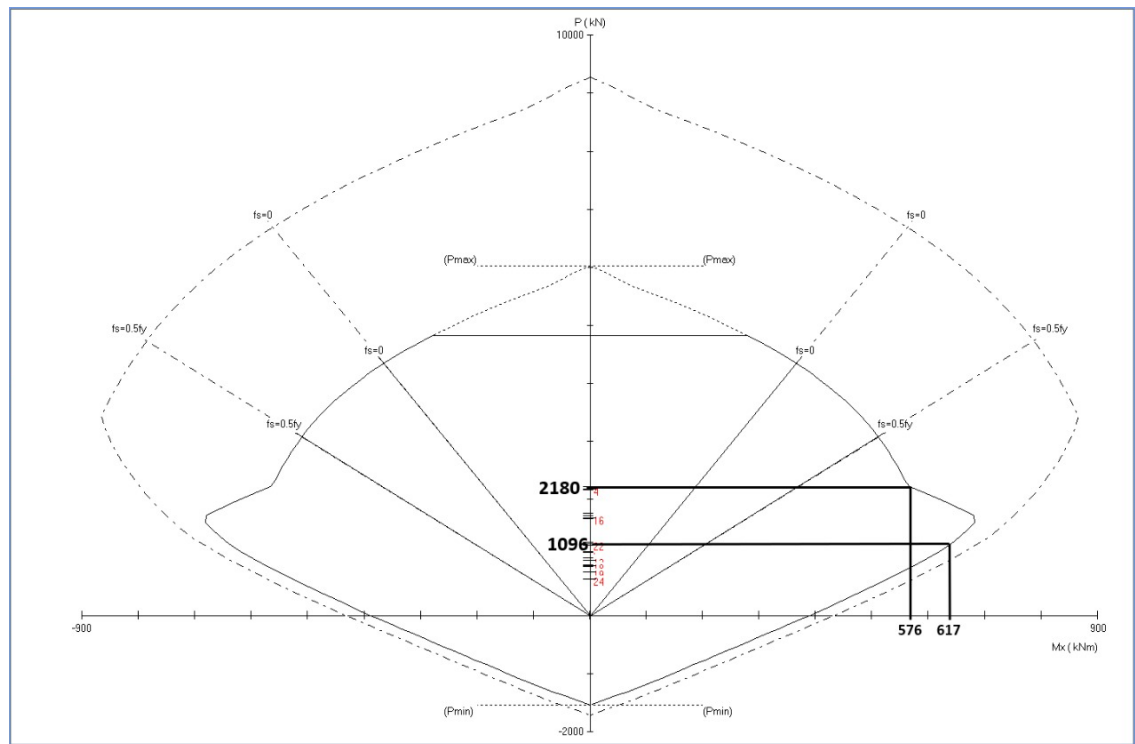
(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Tabel 4.8 Beban Pu dan Mn pada Kolom K1 Lantai 3 Grid B-4 Joint Bawah.

No.	Kombinasi beban	Aksial (kN)	Momen (kN.m)
1	1,2D + 0,2SDS.D + 1,3E +L	1230	639
2	1,2D + 0,2SDS.D - 1,3E +L	1233	640
3	0,9D - 0,2SDS.D + 1,3E	632	528
4	0,9D - 0,2SDS.D - 1,3E	635	529

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

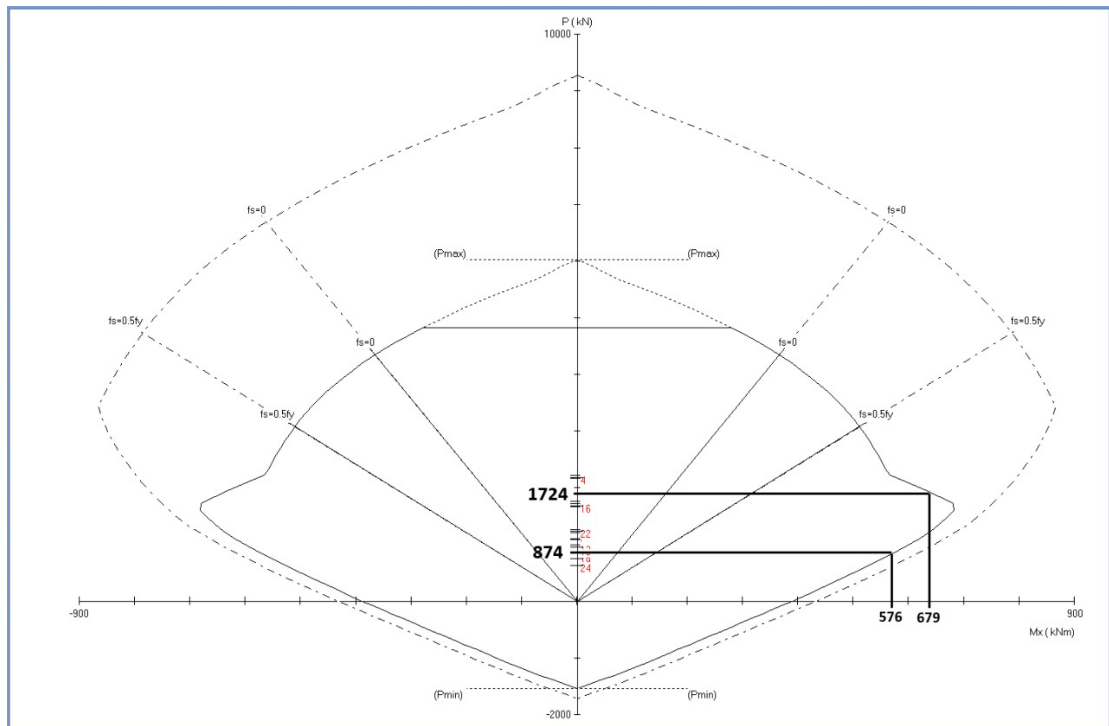
Momen diatas didapat melalui diagram interaksi menggunakan *software* spcolumn yang dapat dilihat pada gambar 4.27 sampai gambar 4.30 dibawah ini.



Gambar 4.27 Diagram Interaksi Kolom K1 Lantai 1 Grid B-4 (Joint Atas).

(Sumber: Dokumen Pribadi)

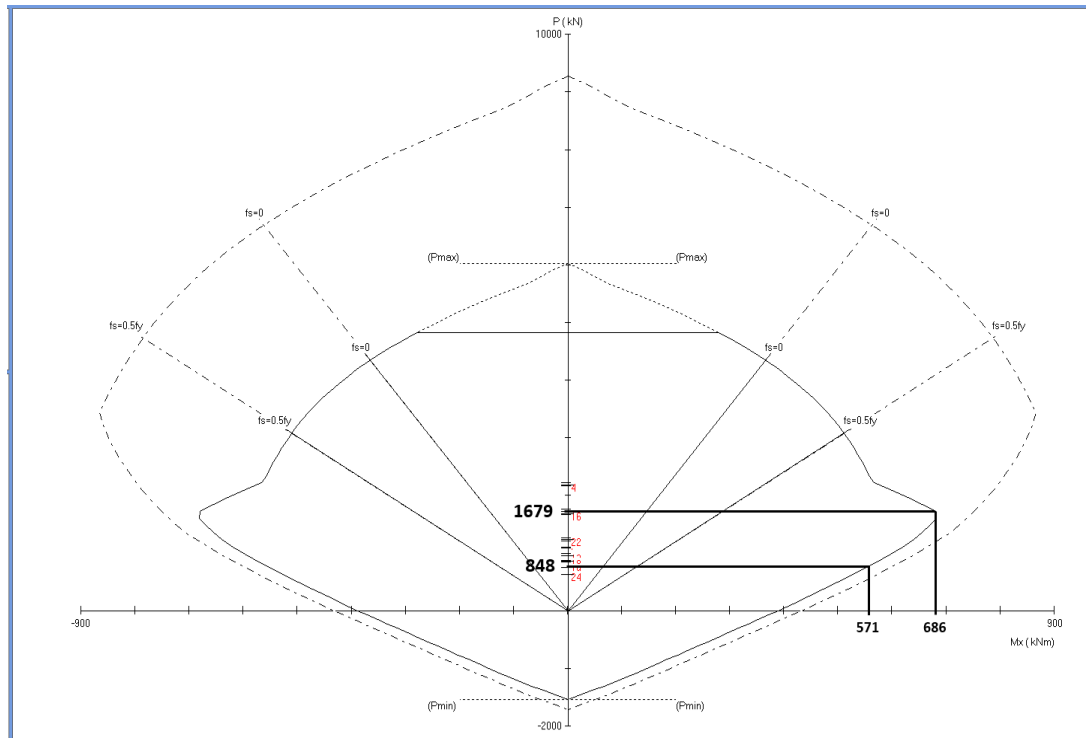
Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.27 pada beban aksial Pu 2180 kN dan 1096 kN diambil momen yang terkecil, yaitu 576 kN.m. Maka untuk momen Mpr pada kolom K1 Lantai 1 Grid B-4 (Joint Atas) diambil nilai momen sebesar 576 kN.m.



Gambar 4.28 Diagram Interaksi Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Bawah).

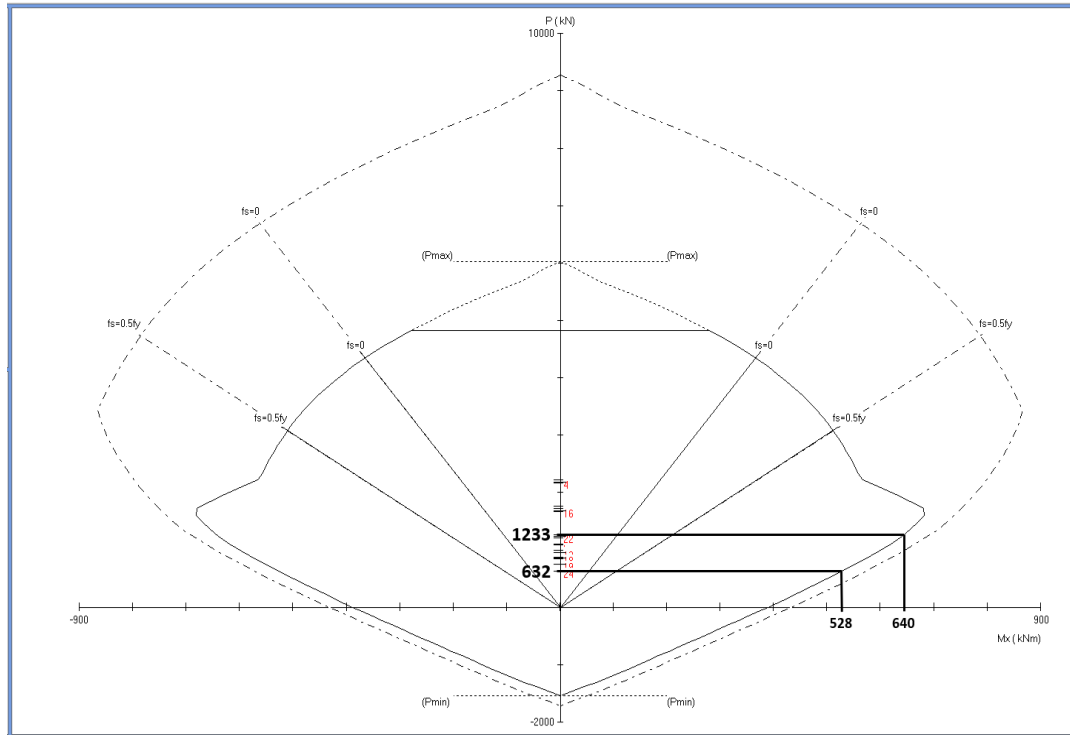
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.28 pada beban aksial P_u 1724 kN dan 874 kN diambil momen yang terkecil, yaitu 576 kN.m. Maka untuk momen M_{pr} pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Bawah) diambil nilai momen sebesar 576 kN.m.



Gambar 4.29 Diagram Interaksi Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Atas).
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.29 pada beban aksial P_u 1679 kN dan 848 kN diambil momen yang terkecil, yaitu 571 kN.m. Maka untuk momen M_{pr} pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Atas) diambil nilai momen sebesar 571 kN.m.



Gambar 4.30 Diagram Interaksi Kolom K1 Lantai 3 Grid B-4 (Joint Bawah).

(Sumber: Dokumen Pribadi)

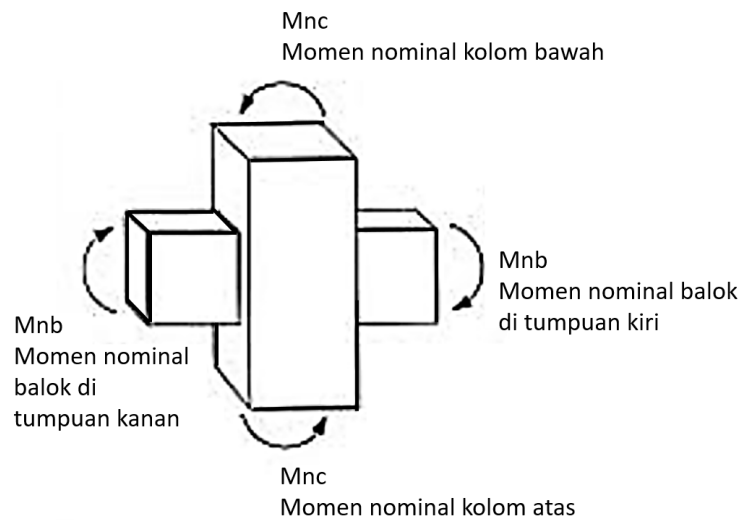
Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.30 pada beban aksial P_u 1233 kN dan 632 kN diambil momen yang terkecil, yaitu 528 kN.m. Maka untuk momen M_{pr} pada kolom K1 Lantai 3 Grid B-4 (Joint Bawah) diambil nilai momen sebesar 528 kN.m.

4.5.2 Persyaratan Kolom Kuat Balok Lemah (*Strong Columns Weak Beams*)

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.3.2 mensyaratkan kekuatan lentur kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$. Dengan keterangan sebagai berikut:

- $\sum M_{nc}$ adalah jumlah kekuatan lentur kolom atau momen kolom yang ada pada muka *joint* kolom.
- $\sum M_{nb}$ adalah jumlah kekuatan lentur balok yang merangka ke dalam *joint*.

Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen-momen kolom berlawanan dengan momen-momen balok. Konsep kolom kuat balok lemah dapat dilihat pada gambar 4.31.



Gambar 4.31 Konsep Kolom Kuat Balok lemah

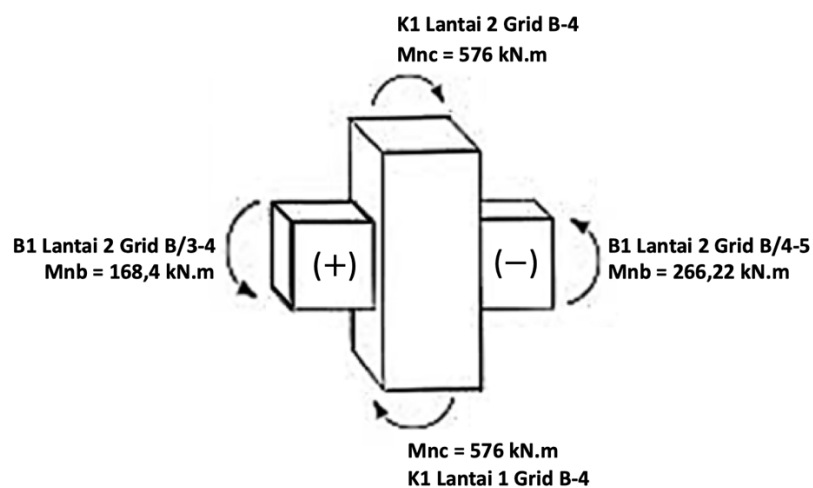
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Perhitungan kolom kuat balok lemah harus dihitung berdasarkan dua kondisi. Kondisi pertama yaitu struktur bergoyang ke-kanan dan kondisi kedua yaitu struktur bergoyang ke-kiri. Berikut perhitungan kolom kuat balok lemah berdasarkan kedua kondisi:

1. Struktur Bergoyang Ke-Kanan:

Untuk kolom tengah yang ditinjau pada gambar 4.25, meliputi data:

- Kuat momen terpasang balok pada kolom bagian *joint* bawah:



Gambar 4.32 Momen Kolom dan Momen Balok pada Kolom Bagian Bawah.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada kondisi struktur bergoyang ke-kanan, balok B1 Lantai 2 grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan negatif sebesar 216,44 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 2 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri positif sebesar 168,4 kN.m seperti pada Gambar 4.32. Maka perhitungan kolom kuat balok lemah sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} = 576 + 576 = 1152 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nb} = 216,44 + 168,4 = 384,84 \text{ kN.m}$$

Maka,

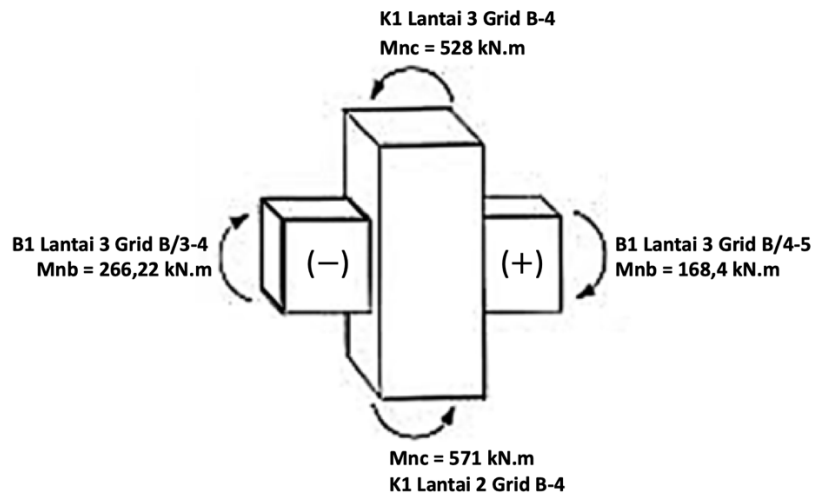
$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$$1152 \geq 1,2 (384,84)$$

$$1152 \text{ kN.m} \geq 461,808 \text{ kN.m} \longrightarrow \text{OK, syarat pada Pasal 18.7.3.2}$$

terpenuhi.

- Kuat momen terpasang balok pada kolom bagian atas:



Gambar 4.33 Momen Kolom dan Momen Balok pada Kolom Bagian Atas.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada kondisi struktur bergoyang ke-kanan, balok B1 Lantai 3 grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan negatif sebesar 266,22 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 3 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri positif sebesar 168,4 kN.m seperti pada Gambar 4.33. Maka perhitungan kolom kuat balok lemah sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} = 571 + 528 = 1099 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nb} = 266,22 + 168,4 = 434,62 \text{ kN.m}$$

Maka,

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

$$1099 \geq 1,2 (434,62)$$

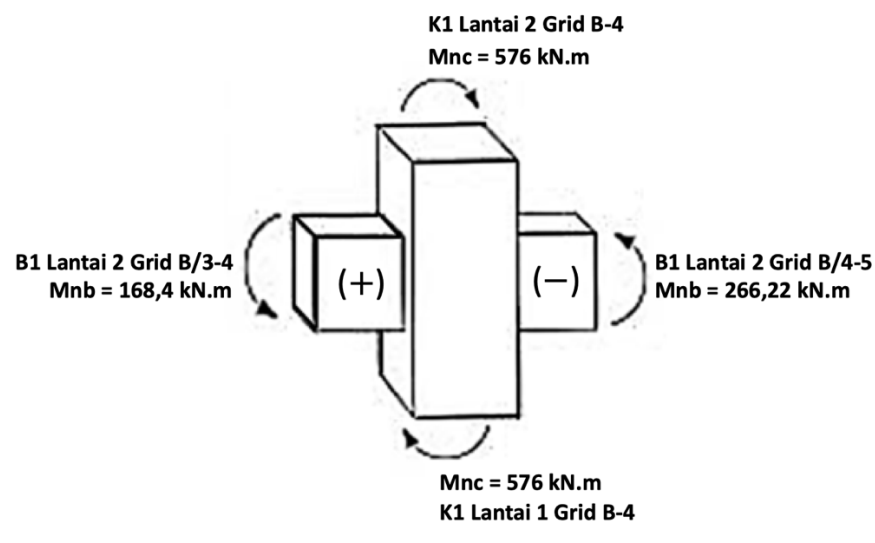
1099 kN.m \geq 521,54 kN.m \rightarrow OK, syarat pada Pasal 18.7.3.2

terpenuhi.

2. Struktur Bergoyang Ke-Kiri:

Untuk kolom tengah yang ditinjau pada gambar 4.20, meliputi data:

- Kuat momen terpasang balok pada kolom bagian bawah:



Gambar 4.34 Momen Kolom dan Momen Balok pada Kolom Bagian Bawah.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada kondisi struktur bergoyang ke-kiri, balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan positif sebesar 129,5 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 2 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri negatif sebesar 266,22 kN.m seperti pada Gambar 4.34. Maka perhitungan kolom kuat balok lemah sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} = 576 + 576 = 1152 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nb} = 129,5 + 266,22 = 395,72 \text{ kN.m}$$

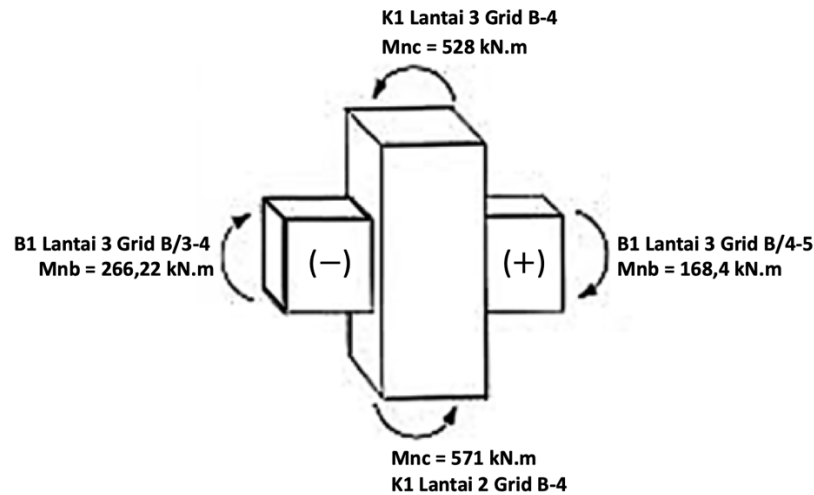
Maka,

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

$$1152 \geq 1,2 (395,72)$$

1152 kN.m \geq 474,86 kN.m \rightarrow OK, syarat pada Pasal 18.7.3.2 terpenuhi.

- Kuat momen terpasang balok pada kolom bagian atas:



Gambar 4.35 Momen Kolom dan Momen Balok pada Kolom Bagian Atas.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada kondisi struktur bergoyang ke-kiri, balok B1 Lantai 3 Grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan positif sebesar 168,4 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 3 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri negatif sebesar 266,22 kN.m seperti pada Gambar 4.35. Maka perhitungan kolom kuat balok lemah sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} = 571 + 528 = 1099 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nb} = 168,4 + 266,22 = 434,62 \text{ kN.m}$$

Maka,

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

$$1099 \geq 1,2 (434,62)$$

1099 kN.m \geq 521,54 kN.m \rightarrow OK, syarat pada Pasal 18.7.3.2 terpenuhi.

Dari hasil perhitungan kolom kuat balok lemah diatas pada kedua kondisi struktur bergoyang ke-kanan dan bergoyang ke-kiri, terlihat bahwa syarat pada SNI 2847-2019; Pasal 18.7.3.2 sudah terpenuhi. Maka dapat disimpulkan bahwa konsep kolom kuat balok lemah ini sudah terpenuhi.

4.5.3 Perhitungan Tulangan Senggang Kolom

Berdasarkan Pasal 18.7.5.1, ujung-ujung kolom sepanjang l_o harus dikekang dengan spasi sesuai Pasal 18.7.5.3 oleh tulangan transversal (A_{sh}). Panjang l_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari:

- a) $l_o \geq h = 600 \text{ mm}$
- b) $1/6 l_n = 592 \text{ mm}$
- c) 450 mm

l_o dipakai yang terbesar yaitu 600 mm .

Spasi maksimum adalah yang terkecil antara:

- a) $1/4$ dimensi terkecil penampang kolom $= 1/4 \times 600 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- b) 6 kali diameter tulangan longitudinal $= 6 \times 19 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$
- c) $s_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right) = 100 + \left(\frac{350-209,5}{3}\right) = 146,8 \text{ mm}$

- d) Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Sehingga diambil $S = 114 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm}$.

A_{sh} min dihitung berdasarkan syarat Pasal 18.7.5.4 pada Tabel 18.7.5.4, diperoleh nilai terbesar dari hasil 2 rumus, dengan asumsi $S = 100 \text{ mm}$, $f_c' = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ MPa}$, selimut beton $= 40 \text{ mm}$, dan diameter sengkang sebesar 13 mm . Berikut pada tabel 4.5 dibawah ini merupakan perhitungan 2 rumus yang disyaratkan:

Tabel 4.9 Persyaratan A_{sh} min berdasarkan SNI 2847-2019.

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{sh}/S	$Pu \leq 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \frac{b_c \times f_c'}{f_y}$ (a)

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
untuk sengkang pengekang persegi	$P_u > 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b), dan (c)	$0,09 \frac{b_c \times f_c'}{f_y}$ (b) $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_y A_{ch}}$ (c)

(Sumber: SNI 2847-2019; Pasal 18.7.5.4)

$$\begin{aligned} \text{a) } A_{sh} &= S \times 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{b_c \times f_c'}{f_y} \\ &= 100 \times 0,3 \times \left(\frac{600 \times 600}{520 \times 520} - 1 \right) \times \frac{520 \times 25}{420} \\ &= 307,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } A_{sh} &= S \times 0,09 \frac{b_c \times f_c'}{f_y} \\ &= 100 \times 0,09 \times \frac{520 \times 25}{420} \\ &= 278,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk memenuhi Pasal 18.7.5.4 maka diambil nilai terbesar antara (a) dan (b), yaitu $A_{sh} = 307,7 \text{ mm}^2$.

Maka tulangan yang akan dipasang sebesar 3D13,

$$A_{sh} \text{ pakai} = n \times \frac{1}{4} \pi \times D^2 = 3 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2 = 398,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_{sh}

$$A_{sh} \text{ pakai} \geq A_{sh} = 398,2 \text{ mm}^2 \geq 307,7 \text{ mm}^2 \longrightarrow \text{Memenuhi.}$$

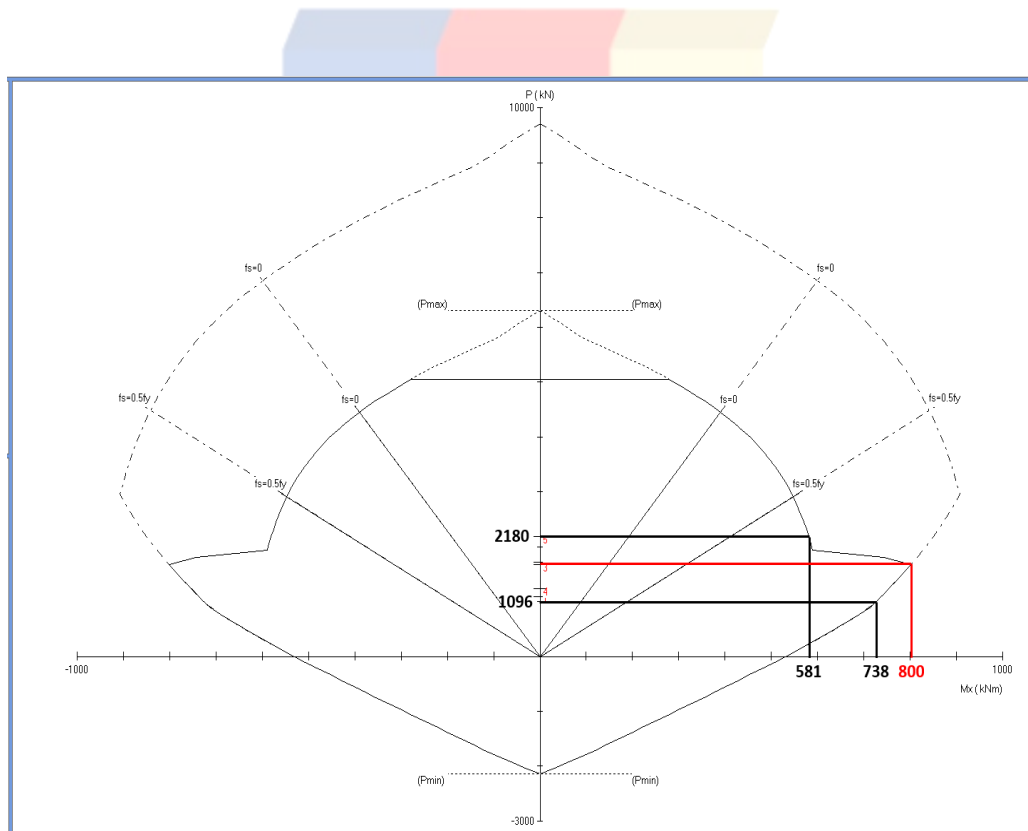
Penulangan Kolom Daerah Tumpuan dan Lapangan:

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.7.6.1.1, gaya geser desain V_e harus ditentukan di muka-muka joint pada setiap ujung kolom menggunakan kekuatan lentur maksimum M_{pr} , disetiap ujung kolom yang terkait dengan beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada kolom. Kekuatan momen balok M_{pr} dihitung menggunakan faktor reduksi $\phi = 1,0$ dan juga diambil sama dengan momen diagram interaksi dari kolom dengan menggunakan nilai $f_y = 1,25f_y$. Selain itu gaya geser kolom tidak perlu lebih besar dari gaya geser rencana yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan M_{pr} dan nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan hasil analisis struktur.

Untuk mendapat Mpr kolom atas dan bawah, maka digunakan bantuan *software* spcolumn dengan data seperti dibawah ini:

- Pu K1 Lantai 1 Grid B-4 (Joint Atas) = 2180 kN dan 1096 kN.
- Pu K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Bawah) = 1719 kN dan 874 kN.
- Pu K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Atas) = 1674 kN dan 848 kN.
- Pu K1 Lantai 3 Grid B-4 (Joint Bawah) = 1233 kN dan 632 kN.

Kekuatan momen Mpr diambil nilai maksimum yang dihitung menggunakan faktor reduksi $\phi = 1,0$ dan diagram interaksi kolom dengan menggunakan $f_y = 1,25f_y$ pada bantuan *software* spcolumn, dapat dilihat pada gambar 4.36 sampai dengan gambar 4.39 dibawah ini.

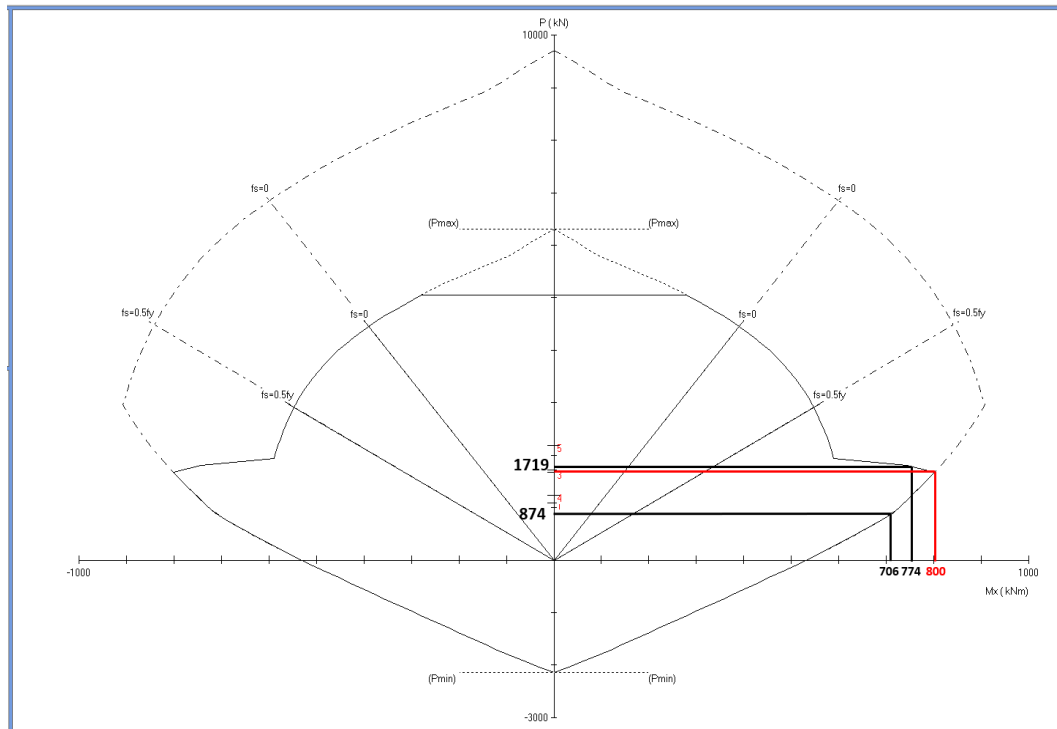


Gambar 4.36 Diagram Interaksi $1,25F_y$ K1 Lantai 1 Grid B-4 (Joint Atas).

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.36 terlihat pada beban aksial Pu 2180 kN dan 1096 kN terdapat momen maksimum diantara kedua beban aksial tersebut, momen maksimum tersebut ada pada ujung garis diagram interaksi dengan nilai

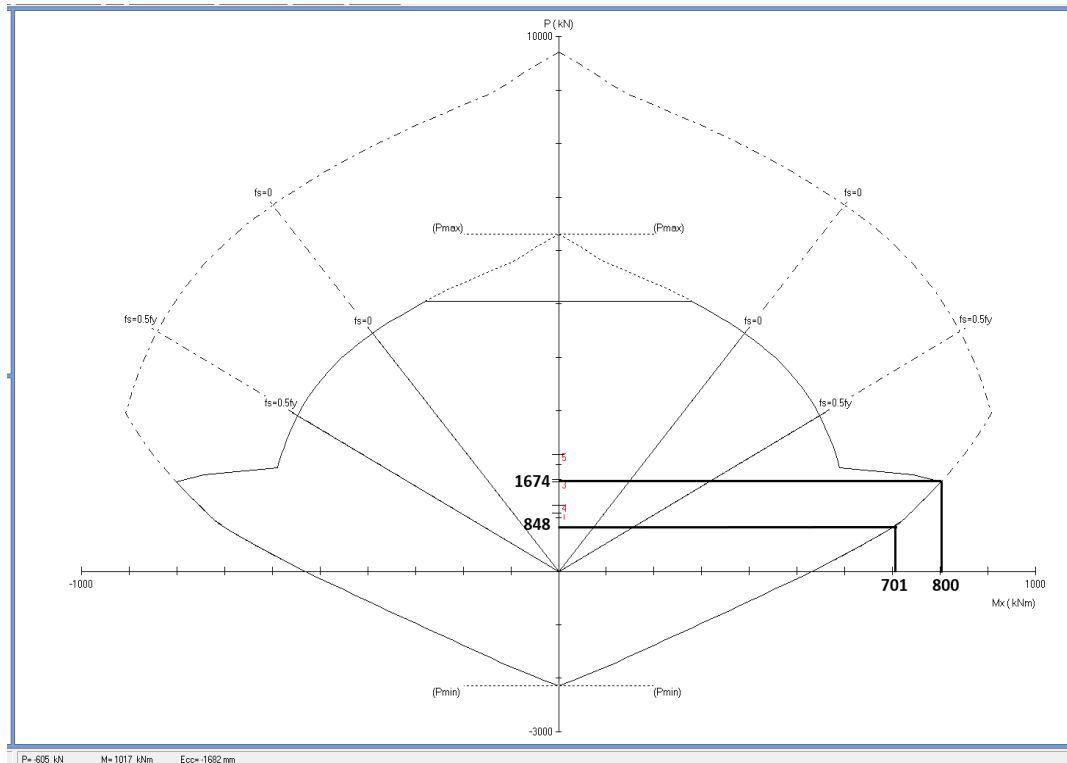
momen sebesar 800 kN yang ditandai dengan garis merah. Maka untuk momen Mpr pada kolom K1 Lantai 1 Grid B-4 (Joint Atas) diambil nilai momen sebesar 800 kN.m.



Gambar 4.37 Diagram Interaksi $1,25F_y$ K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Bawah).

(Sumber: Dokumen Pribadi)

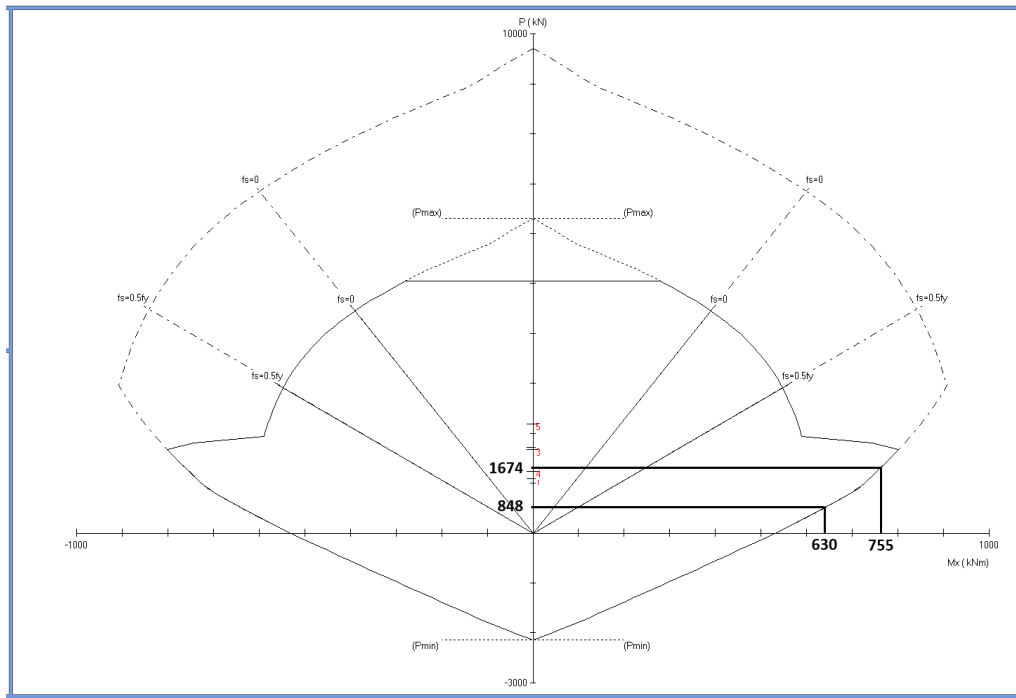
Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.37 terlihat pada beban aksial P_u 1719 kN dan 874 kN terdapat momen maksimum diantara kedua beban aksial tersebut, momen maksimum tersebut ada pada ujung garis diagram interaksi dengan nilai momen maksimum tersebut ada pada ujung garis diagram interaksi dengan nilai momen sebesar 800 kN yang ditandai dengan garis merah. Maka untuk momen Mpr pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Bawah) diambil nilai momen sebesar 800 kN.m.



Gambar 4.38 Diagram Interaksi $1,25F_y$ K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Atas).

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.38 terlihat pada beban aksial P_u 1674 kN dan 848 kN momen maksimum yang ada terdapat pada garis diagram interaksi dengan beban aksial P_u 1674 kN dengan nilai momen sebesar 800 kN. Maka untuk momen M_{pr} pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Atas) diambil nilai momen sebesar 800 kN.m.



Gambar 4.39 Diagram Interaksi $1,25F_y$ K1 Lantai 3 Grid B-4 (Joint Bawah).

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil yang didapatkan pada gambar 4.39 terlihat pada beban aksial P_u 1233 kN dan 630 kN momen maksimum yang ada terdapat pada garis diagram interaksi dengan beban aksial P_u 1233 kN dengan nilai momen sebesar 755 kN. Maka untuk momen M_{pr} pada kolom K1 Lantai 3 Grid B-4 (Joint Bawah) diambil nilai momen sebesar 755 kN.m.

Dari hasil pencarian momen maksimum diatas, maka didapat hasil momen maksimum seperti dibawah ini:

1. M_{pr} Kolom K1 Lantai 1 Grid B-4 (Joint Atas) = 800 kN.m.
2. M_{pr} Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Bawah) = 800 kN.m.
3. M_{pr} Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 (Joint Atas) = 800 kN.m.
4. M_{pr} Kolom K1 Lantai 3 Grid B-4 (Joint Bawah) = 755 kn.m.

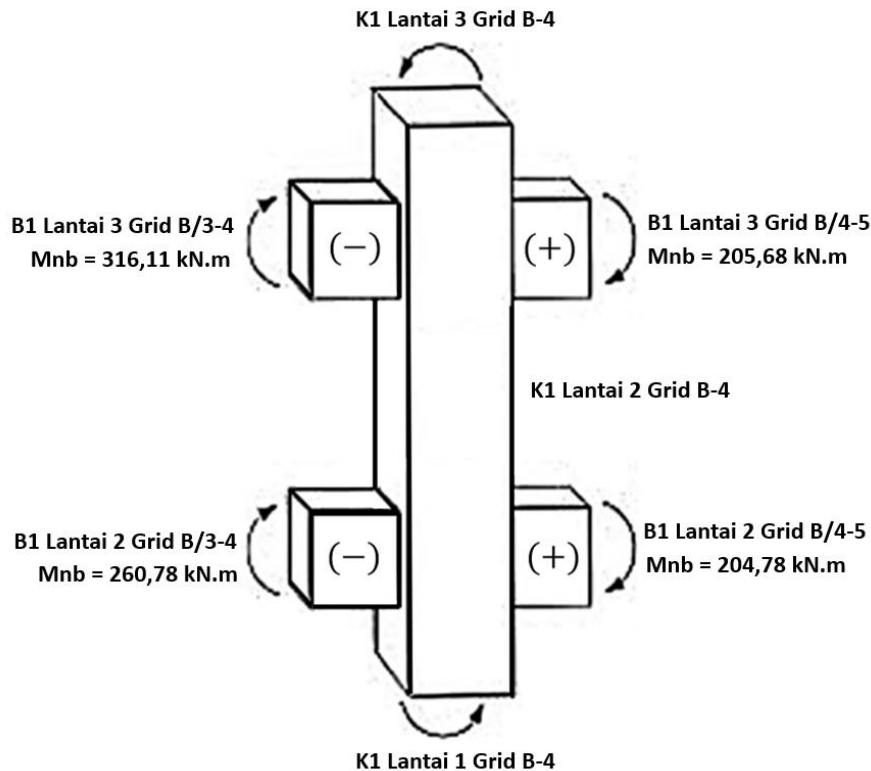
Setelah mendapat nilai M_{pr} kolom pada joint atas dan bawah, maka V_e :

$$V_e = \frac{M_{pr \text{ Atas}} + M_{pr \text{ Bawah}}}{l_u} = \frac{(800 + 800)}{(4 - 0,45)} = 450,7 \text{ kN}$$

Kemudian perhitungan gaya geser desain perlu dilakukan pada dua kondisi. Kondisi pertama yaitu struktur bergoyang ke-kanan dan kondisi kedua yaitu struktur bergoyang ke-kiri.

a. Struktur Bergoyang ke-Kanan:

Pengambilan momen balok pada joint hubungan balok kolom jika struktur bergoyang ke-kanan dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.40 Hubungan Balok Kolom yang Ditinjau Goyang Kanan

(Sumber: Dokumen Pribadi)

1. K1 Lantai 2 Grid B-4 *Joint* Atas:

Dari Gambar 4.40 dapat dilihat pada hubungan balok kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* atas terdapat dua balok yaitu B1 Lantai 3 Grid B/3-4 dan Grid B1 Lantai 3 Grid B/4-5. Pada kondisi struktur bergoyang ke-kanan balok B1 Lantai 3 Grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan negatif sebesar 316,11 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 3 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri positif sebesar 205,68 kN.m seperti pada Gambar 4.40. Sehingga jumlah momen balok yang bekerja pada hubungan balok kolom adalah sebagai berikut:

$$\sum M_b = M_{b1} + M_{b2}$$

$$\sum M_b = 316,11 + 205,68$$

$$\sum M_b = 521,79 \text{ kN.m}$$

Selanjutnya jumlah momen balok yang bekerja pada *joint* hubungan balok kolom tersebut akan di *transfer* ke muka kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* atas dengan menggunakan perbandingan kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

$$k = \frac{\frac{6EI}{h_1^2}}{\frac{6EI}{h_1^2} + \frac{6EI}{h_2^2}} = \frac{\frac{1}{h_1^2}}{\frac{1}{h_1^2} + \frac{1}{h_2^2}} = \frac{h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{4^2}{4^2 + 4^2} = 0,5$$

Maka dari hasil perbandingan kekakuan kolom tersebut, didapatkan hasil bahwa pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* atas, akan menerima momen sebagai berikut:

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = k \cdot \sum M_b$$

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = 0,5 \times 521,79$$

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = 260,895 \text{ kN.m}$$

2. K1 Lantai 2 Grid B-4 *Joint* Bawah:

Dari Gambar 4.35 dapat dilihat pada hubungan balok kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* bawah terdapat dua balok yaitu B1 Lantai 2 Grid B/3-4 dan Grid B/4-5. Pada kondisi struktur bergoyang ke-kanan balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan negatif sebesar 260,78 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 2 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri positif sebesar 204,78 kN.m seperti pada Gambar 4.35. Sehingga jumlah momen balok yang bekerja pada hubungan balok kolom adalah sebagai berikut:

$$\sum M_b = M_{b1} + M_{b2}$$

$$\sum M_b = 260,78 + 204,78$$

$$\sum M_b = 465,56 \text{ kN.m}$$

Selanjutnya jumlah momen balok yang bekerja pada *joint* hubungan balok kolom tersebut akan di *transfer* ke muka kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* bawah dengan menggunakan perbandingan kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

$$k = \frac{\frac{6EI}{h_1^2}}{\frac{6EI}{h_1^2} + \frac{6EI}{h_2^2}} = \frac{\frac{1}{h_1^2}}{\frac{1}{h_1^2} + \frac{1}{h_2^2}} = \frac{h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{4^2}{4^2 + 4^2} = 0,5$$

Maka dari hasil perbandingan kekakuan kolom tersebut, didapatkan hasil bahwa pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* bawah, akan menerima momen sebagai berikut:

$$M_{pr} \text{ Joint Bawah} = k \cdot \sum M_b$$

$$M_{pr} \text{ Joint Bawah} = 0,5 \times 465,56$$

$$M_{pr} \text{ Joint Bawah} = 232,78 \text{ kN.m}$$

Dari hasil $M_{pr} \text{ Joint Atas}$ dan $M_{pr} \text{ Joint Bawah}$ dari balok yang bertemu di hubungan balok kolom, selanjutnya akan dihitung gaya geser desain sebagai berikut:

$$V_u = \frac{M_{pr} \text{ Joint Atas} + M_{pr} \text{ Joint Bawah}}{ln} = \frac{260,895 + 232,78}{(4-0,45)} = 139,06 \text{ kN}$$

Pengecekan:

Sesuai Pasal 18.7.6.1.1 dikatakan bahwa gaya geser kolom tidak perlu lebih besar dari gaya geser rencana yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan M_{pr} . nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan hasil analisis struktur. Berdasarkan nilai analisis struktur pada *software* SAP 2000, V_u yang didapatkan senilai 121,9 kN.

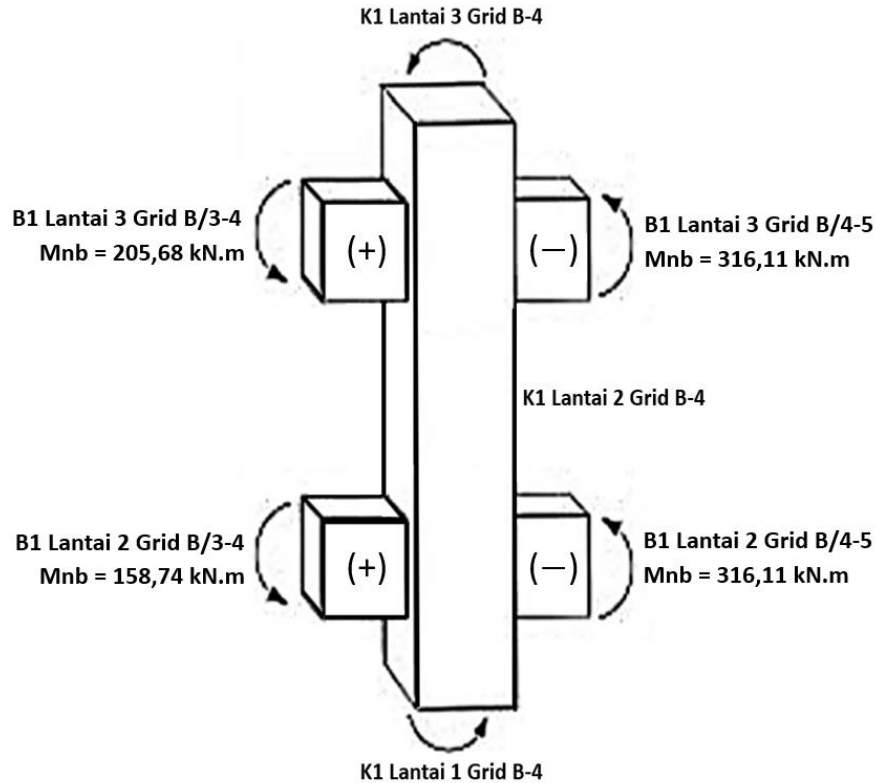
$$V_u \geq V_u \text{ analisis struktur}$$

$$139,06 \text{ kN} \geq 121,9 \text{ kN}$$

Maka Pasal 18.7.6.1.1 terpenuhi.

b. Struktur Bergoyang ke-Kiri:

Pengambilan momen balok pada joint hubungan balok kolom jika struktur bergoyang ke-kanan dapat dilihat pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41 Hubungan Balok Kolom yang Ditinjau Goyang Kiri

(Sumber: Dokumen Pribadi)

1. K1 Lantai 2 Grid B-4 *Joint Atas*:

Dari Gambar 4.41 dapat dilihat pada hubungan balok kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint atas* terdapat dua balok yaitu B1 Lantai 3 Grid B/3-4 dan Grid B/4-5. Pada kondisi struktur bergoyang ke-kiri balok B1 Lantai 3 Grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan positif sebesar 205,68 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 3 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri negatif sebesar 316,11 kN.m seperti pada Gambar 4.41. Sehingga jumlah momen balok yang bekerja pada hubungan balok kolom adalah sebagai berikut:

$$\sum M_b = M_{b1} + M_{b2}$$

$$\sum M_b = 205,68 + 316,11$$

$$\sum M_b = 521,79 \text{ kN.m}$$

Selanjutnya jumlah momen balok yang bekerja pada *joint* hubungan balok kolom tersebut akan di *transfer* ke muka kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* atas dengan menggunakan perbandingan kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

$$k = \frac{\frac{6EI}{h_1^2}}{\frac{6EI}{h_1^2} + \frac{6EI}{h_2^2}} = \frac{\frac{1}{h_1^2}}{\frac{1}{h_1^2} + \frac{1}{h_2^2}} = \frac{h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{4^2}{4^2 + 4^2} = 0,5$$

Maka dari hasil perbandingan kekakuan kolom tersebut, didapatkan hasil bahwa pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* atas, akan menerima momen sebagai berikut:

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = k \cdot \sum M_b$$

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = 0,5 \times 521,79$$

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = 260,895 \text{ kN.m}$$

2. K1 Lantai 2 Grid B-4 *Joint* Bawah:

Dari Gambar 4.36 dapat dilihat pada hubungan balok kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* bawah terdapat dua balok yaitu B1 Lantai 2 Grid B/3-4 dan Grid B/4-5. Pada kondisi struktur bergoyang ke-kanan balok B1 Lantai 2 Grid B/3-4 menggunakan momen tumpuan kanan positif sebesar 158,74 kN.m, dan untuk balok B1 Lantai 2 Grid B/4-5 menggunakan momen tumpuan kiri negatif sebesar 316,11 kN.m seperti pada Gambar 4.36. Sehingga jumlah momen balok yang bekerja pada hubungan balok kolom adalah sebagai berikut:

$$\sum M_b = M_{b1} + M_{b2}$$

$$\sum M_b = 158,74 + 316,11$$

$$\sum M_b = 474,85 \text{ kN.m}$$

Selanjutnya jumlah momen balok yang bekerja pada *joint* hubungan balok kolom tersebut akan di *transfer* ke muka kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* bawah dengan menggunakan perbandingan kekakuan yang dihitung sebagai berikut:

$$k = \frac{\frac{6EI}{h_1^2}}{\frac{6EI}{h_1^2} + \frac{6EI}{h_2^2}} = \frac{\frac{1}{h_1^2}}{\frac{1}{h_1^2} + \frac{1}{h_2^2}} = \frac{h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{4^2}{4^2 + 4^2} = 0,5$$

Maka dari hasil perbandingan kekakuan kolom tersebut, didapatkan hasil bahwa pada kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 *joint* bawah, akan menerima momen sebagai berikut:

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = k \cdot \sum M_b$$

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = 0,5 \times 474,85$$

$$M_{pr} \text{ Joint Atas} = 237,425 \text{ kN.m}$$

Dari hasil $M_{pr} \text{ Joint Atas}$ dan $M_{pr} \text{ Joint Bawah}$ dari balok yang bertemu di hubungan balok kolom, selanjutnya akan dihitung gaya geser desain sebagai berikut:

$$V_u = \frac{M_{pr} \text{ Joint Atas} + M_{pr} \text{ Joint Bawah}}{h} = \frac{260,895 + 237,425}{(4-0,45)} = 140,37 \text{ kN}$$

Pengecekan:

Sesuai Pasal 18.7.6.1.1 dikatakan bahwa gaya geser kolom tidak perlu lebih besar dari gaya geser rencana yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan M_{pr} . nilai V_u tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan hasil analisis struktur. Berdasarkan nilai analisis struktur pada *software* SAP 2000, V_u yang didapatkan senilai 121,9 kN.

$$V_u \geq V_u \text{ analisis struktur}$$

$$140,37 \text{ kN} \geq 121,9 \text{ kN}$$

Maka Pasal 18.7.6.1.1 terpenuhi.

Pengambilan nilai V_u saat dihitung kedua kondisi gempa kanan dan gempa kiri akan diambil nilai terbesarnya yaitu pada kondisi struktur bergoyang ke-kiri sebesar 140,37 kN.

Kemudian berdasarkan Pasal 18.7.6.2 bahwa tulangan transversal sepanjang l_o harus didesain untuk menahan geser dengan asumsi $V_c = 0$, jika syarat a dan b terpenuhi;

- a. Gaya geser (V_e) akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang l_o ;

$$\frac{1}{2}V_e \geq V_u$$

$$\frac{1}{2} \times 450,7 \text{ kN} \geq 140,37 \text{ kN}$$

$$225,35 \text{ kN} \geq 140,37 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{Terpenuhi})$$

- b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa harus kurang dari $A_g f'_c / 20$;

$$P_u = 1724 \text{ kN}$$

$$\frac{A_g f'_c}{20} = \frac{600 \times 600 \times 25}{20} = 450 \text{ N}$$

$$\text{Maka, } P_u \geq \frac{A_g f'_c}{20} \dots\dots\dots(\text{Tidak terpenuhi})$$

Dikarenakan syarat $V_c = 0$ tidak terpenuhi, maka V_c diambil sesuai Pasal 22.5.6.1.

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

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{1724}{14 \times 600 \times 600} \right) 1 \sqrt{25} \times 600 \times 480$$

$$V_c = 244883 \text{ N} \sim 244,883 \text{ kN}$$

Dimana, $d = 0,8 \times h = 480 \text{ mm}$.

Berdasarkan $A_{sh} = 398,2 \text{ mm}^2$ dan terpasang jarak spasi antar tulangan $S = 100 \text{ mm}$.

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{398,2 \times 420 \times 480}{100} = 802771,2 \text{ N} \sim 802,771 \text{ kN}$$

Maka;

$$\phi(V_s + V_c) = 0,75 \times (802,771 + 244,883)$$

$$= 785,74 \text{ kN} \geq V_u = 205 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

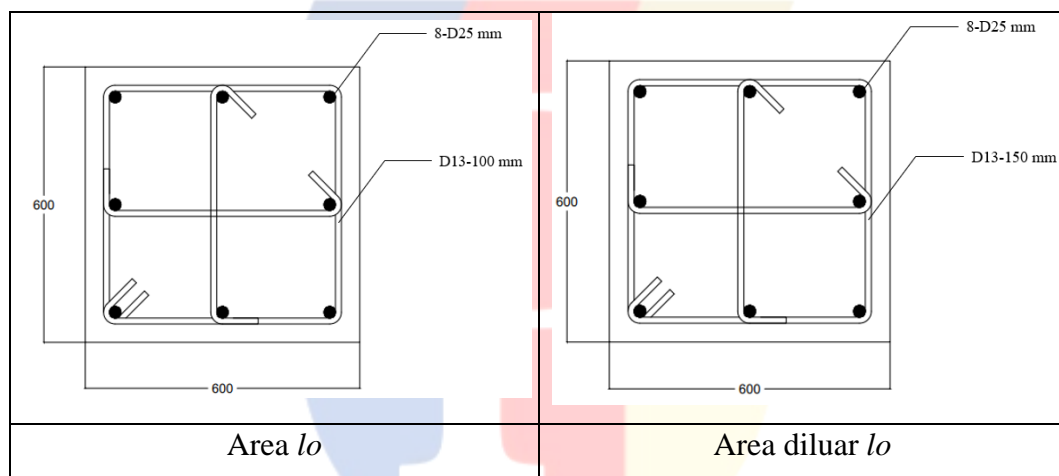
Dapat diartikan bahwa A_{sh} terpasang berdasarkan Pasal 18.7.5.4 di panjang l_o sudah cukup untuk menahan geser. Maka untuk tulangan sengkang pada area l_o akan dipasang 3 kaki D13 mm dengan jarak pemasangan 100 mm.

Selanjutnya untuk sisa panjang kolom diluar jarak l_o harus dipasang tulangan transversal sesuai dengan Pasal 18.7.5.5 bahwa spasi jarak tulangan S tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil = $6 \times 25 = 150$ mm
- 150 mm

Maka untuk daerah diluar panjang l_o akan dipasang spasi jarak antar tulangan sebesar $S = 150$ mm. Tulangan sengkang pada area diluar l_o dipasang 3 kaki D13 dengan jarak pemasangan 150 mm.

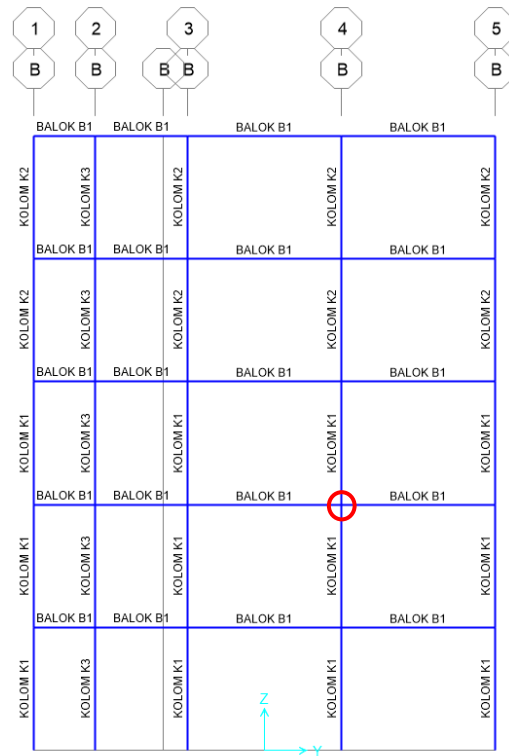
Berikut merupakan gambar penampang kolom K1 Lantai 2 Grid B-4 pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42 Penampang Kolom K1 Lantai 2 Grid B-4

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.6 Perhitungan Hubungan Balok Kolom



Gambar 4.43 Hubungan Balok Kolom yang akan Ditinjau

Hubungan balok kolom akan dihitung pada *joint* atas HBK kolom tengah K1 Lantai 2 Grid B-4 seperti pada Gambar 4.43 dengan kolom yang terkekang keempat sisinya oleh balok dimensi 450 mm × 350 mm. Lebar balok (350 mm) tidak melebihi $\frac{3}{4}$ lebar kolom ($\frac{3}{4} \times 600 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$) sesuai pada Pasal 18.8.3.2. Adapun perhitungan hubungan balok kolom berikut ini:

Perhitungan Tulangan HBK:

Data kolom:

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3,007 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Berdasarkan Pasal 18.8.3.2 bahwa jumlah tulangan transversal dapat diambil $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom, maka jumlah tulangan transversal pada HBK sebagai berikut:

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{1}{2} \times 3,007 = 1,5385 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

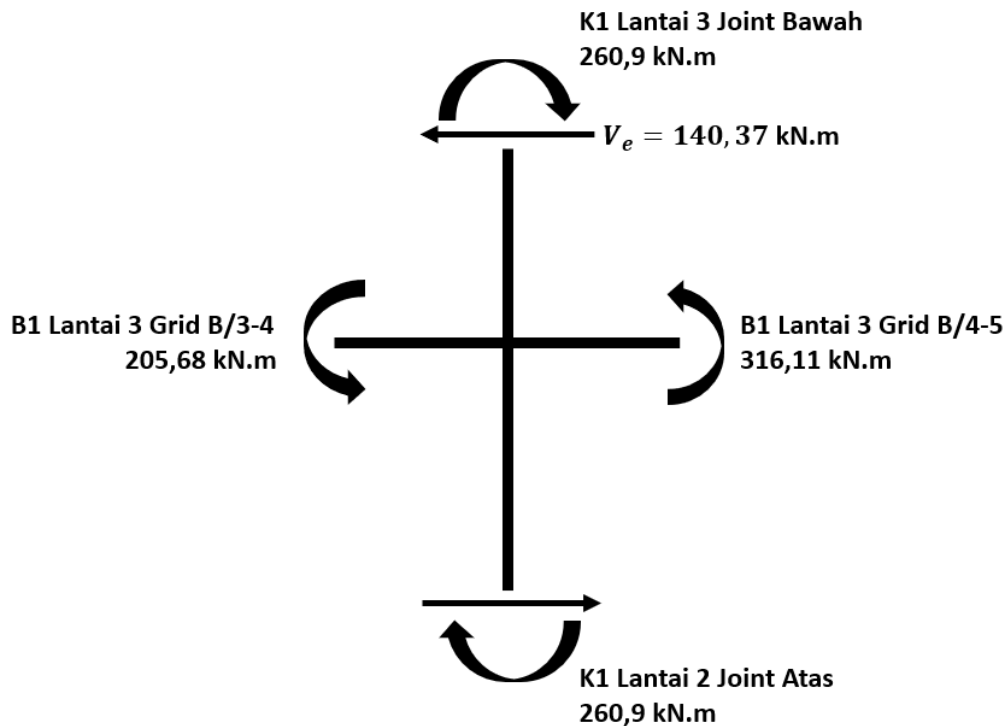
Jarak tulangan transversal boleh diambil $S = 150$ mm sesuai Pasal 18.8.3.2, sehingga:

$$A_{sh} = 150 \times 1,5385 = 230,775 \text{ mm}^2.$$

Maka dipasang 3kaki D10 ($A_{sh} = 3 \times \frac{1}{4}\pi \times 10^2 = 235,62 \text{ mm}^2$) dengan jarak 150 mm.

Menghitung Momen pada HBK:

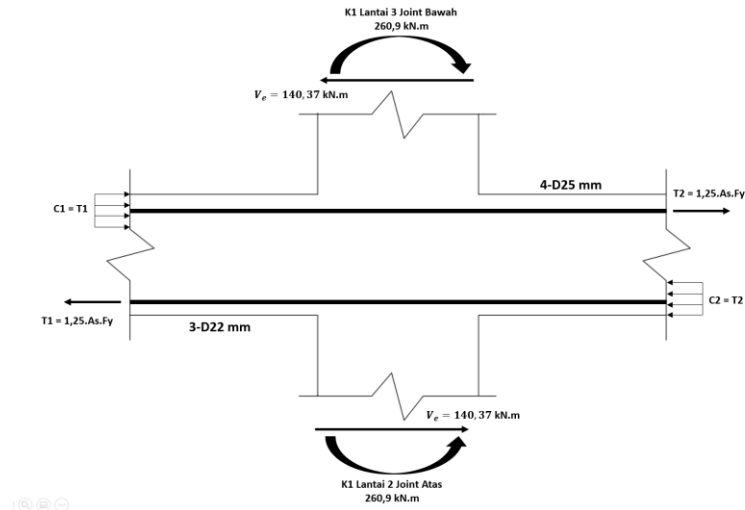
Perhitungan momen pada HBK *joint* sudah dihitung pada subbab 4.5.3 (Gambar 4.40 dan 4.41) dan dirangkum dengan data yang dapat dilihat pada Gambar 4.44. Pengambilan data pada kondisi struktur bergoyang ke kiri karena menghasilkan V_e lebih besar dibandingkan kondisi struktur goyang kanan.



Gambar 4.44 HBK pada K1 Lantai 2 Grid B-4 Joint Atas

(Sumber: Dokumen pribadi)

Menghitung Kuat Geser HBK:



Gambar 4.45 Momen Hubungan Balok Kolom

(Sumber: Dokumen Pribadi)

1. Luas tulangan bawah pada sebelah kiri HBK adalah 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan atas sebelah kiri HBK sebagai berikut:

$$T_1 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 1140,4 \times 420 = 598710 \text{ N} \sim 598,710 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri HBK, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 598,710 \text{ kN}$$

2. Luas tulangan atas pada sebelah kanan HBK adalah 4D25 ($A_s = 1963,5 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan bawah sebelah kanan HBK sebagai berikut:

$$T_2 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 1963,5 \times 420 = 1030837,5 \text{ N} \sim 1030,873 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri HBK, sebesar:

$$C_2 = T_2 = 1,030 \text{ kN}$$

Selanjutnya dengan meninjau keseimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh:

$$V_j = T_1 + C_2 - V_e = 598,710 + 1030,873 - 140,37 = 1489,213 \text{ kN}$$

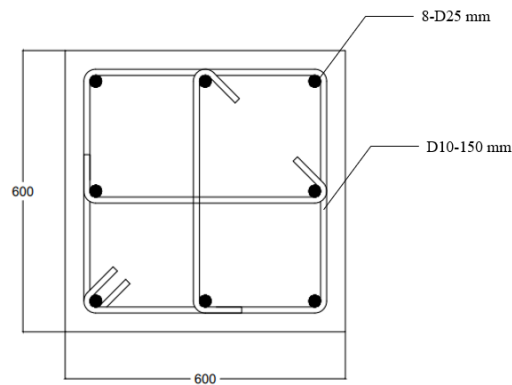
Kuat geser dari HBK yang dikekang keempat sisinya oleh balok adalah:

$$V_n = 1,7\lambda\sqrt{f_c'}A_j = 1,7 \times 1 \times \sqrt{25} \times 600 \times 600 = 3060000 \text{ N} \sim 3060 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,85 \times 3060 = 2601 \text{ kN}$$

Maka $\phi V_n \geq V_j \dots \dots \dots$ (OK)

Jadi dimensi pada hubungan balok kolom mencukupi, dan dipasang sengkang 3 kaki D10 mm dengan jarak 150 mm pada daerah hubungan balok kolom.

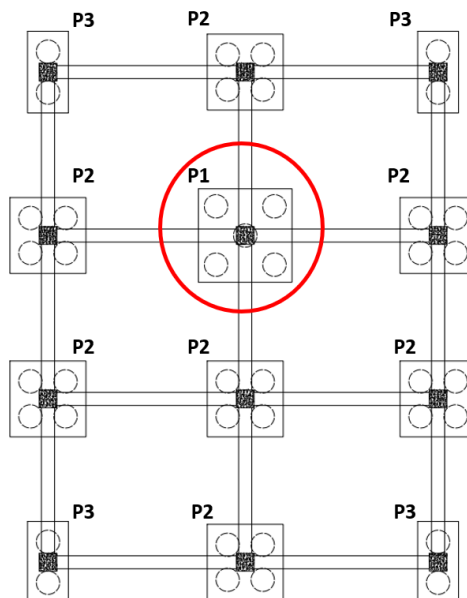


Gambar 4.46 Penampang Hubungan Balok Kolom

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.7 Perhitungan Struktur Pondasi

Pada perencanaan struktur gedung perkantoran ini, pondasi yang direncanakan merupakan jenis pondasi tiang pancang dengan menggunakan pancang spun pile berdiameter 400 mm, dengan tipe pondasi P1 seperti pada Gambar 4.47.



Gambar 4.47 Tipe Pondasi P1 yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.7.1 Daya Dukung Izin Tiang Pancang

a) Berdasarkan spesifikasi tiang pancang

Tiang pancang yang digunakan pada perencanaan struktur ini adalah jenis tiang pancang pabrikasi dari produsen Adhi Beton yang dapat dilihat pada Lampiran D dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Diameter penampang = 400 mm
2. Panjang = 15 m
3. Selimut beton = 75 mm
4. Class = C
5. P_{ijin} = 111,5 ton

b) Berdasarkan daya dukung tanah

Berikut analisis perhitungan daya dukung izin tiang berdasarkan data N SPT (Mayerhof) pada kedalaman 1,5 m dibawah permukaan tanah.

Dengan data sebagai berikut:

- Diameter tiang = 400 mm
- $A_p = \frac{1}{4}\pi D^2 = \frac{1}{4}\pi \times 0,4^2 = 0,1257 \text{ m}^2$
- N = 14
- $l_i = 1,5 \text{ m}$
- $f_i = 12 \text{ t/m}^2$ (untuk pasir $f_i = N/5$ dengan $f_{i,max} = 10 \text{ t/m}^2$ dan untuk lanau/lempung $f_i = N$ dengan $f_{i,max} = 12 \text{ t/m}^2$)
- $A_{st} = 2\pi r = 2\pi \times 0,2 = 1,257 \text{ m}^2$
- $q_c = 20 \times N = 20 \times 14 = 280 \text{ t/m}^2$ (untuk pasir $q_c = 40.N$ dan untuk lanau/lempung $q_c = 20.N$)
- SF1 = faktor keamanan 3
- SF2 = faktor keamanan 5

Analisis daya dukung izin tiang pancang berdasarkan data N SPT dihitung menggunakan persamaan dari Mayerhof :

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{SF1} + \frac{\sum l_i \times f_i \times A_{st}}{SF2}$$
$$= \frac{280 \times 0,1257}{3} + \frac{1,5 \times 12 \times 1,257}{5} = 16,253 \text{ ton}$$

Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan data N SPT pada setiap kedalaman dapat dilihat pada tabel 4.10, jenis tanah dan nilai N-SPT diasumsikan dengan jenis tanah lanau, dan untuk nilai N-SPT sebesar 15. Asumsi data jenis tanah dan nilai N-SPT diambil dari jurnal (Padagi dkk, 2015).

Tabel 4.10 Daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT

Depth (m)	L_i (m)	Jenis Tanah	N-SPT	q_c (t/m ²)	A_p (m ²)	A_{st} (m ²)	f_i (t/m ²)	$l_i \cdot f_i$ (t/m)	$\sum l_i f_i$ (t/m)	P_{ijin} (ton)
1,5	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	18	17.09
3	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	36	21.61
4,5	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	54	26.14
6	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	72	30.66
7,5	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	90	35.19
9	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	108	39.71
10,5	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	126	44.23
12	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	144	48.76
13,5	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	162	53.28
15	1.5	lanau	15	300	0.1257	1.257	12	18	180	57.81

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

P_{ijin} yang dihitung berdasarkan data N-SPT lebih kecil dari P_{ijin} yang diambil berdasarkan spesifikasi pabrikan (P_a data N-SPT < P_a spesifikasi pabrikan), maka dalam perencanaan pondasi digunakan P_a terkecil yaitu 57,81 ton.

4.7.2 Perhitungan Jumlah Tiang

Jumlah tiang pancang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial perlu kolom lantai dasar pada ujung joint bawah dengan gaya dukung tiang. Beban aksial P_u diambil melalui *software* SAP2000 dan didapatkan hasil P_u tak berfaktor pada kolom lantai dasar sebesar 1743 kN, dan nilai P_u terfaktor sebesar 2230 kN. Berikut adalah perhitungan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan:

Data-data:

Gaya aksial P_u tak terfaktor = 1743 kN

P_{ijin} = 57,81 ton = 578,1 kN

Perhitungan:

1. Estimasi jumlah tiang pancang:

$$n = \frac{P_u}{P_{ijin}} = \frac{1743}{578,1} = 3,015 \text{ maka digunakan 4 tiang pancang.}$$

Dalam perhitungan ini, nilai P_u yang digunakan adalah beban aksial tak berfaktor.

2. Jarak antar tiang:

$2,5D \leq S \leq 4D$, dimana D adalah dimensi tiang pancang persegi.

$$2,5 \times 400 \leq S \leq 4 \times 400$$

$$1000 \text{ mm} \leq S \leq 1600 \text{ mm}$$

Ditentukan jarak antar tiang $S = 1000 \text{ mm}$.

3. Jarak antar tiang ketepi pile cap:

$1,5D \leq S \leq 2D$, dimana D adalah dimensi tiang pancang persegi.

$$1,5 \times 400 \leq S \leq 2 \times 400$$

$$600 \text{ mm} \leq S \leq 800 \text{ mm}$$

Ditentukan jarak antar tiang $S = 600 \text{ mm}$.

4. Ketebalan pile cap:

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 13.4.2.1, bahwa ketebalan total pile cap harus didesain sehingga tinggi efektif (d) pile cap harus lebih besar sama dengan 300 mm. Maka itu ketebalan pile cap diasumsikan sebesar 1000 mm.

5. Evaluasi ulang jumlah tiang pancang:

Setelah dimensi pile cap dihitung, selanjutnya perlu dilakukan evaluasi ulang dikarenakan adanya tambahan beban yang belum terhitung yaitu beban sendiri dari pile cap. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} P_u &= (B.L.BJ_{beton}) + P_u \text{ awal} \\ &= (3,2 \times 3,2 \times 24) + 1743 \text{ kN} \\ &= 1988,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah tiang pancang:

$$n = \frac{P_u}{P_{ijin}} = \frac{1959}{578,1} = 3,4 \text{ maka digunakan 4 tiang pancang.}$$

Berarti jumlah tiang yang ditentukan diawal masih memenuhi ketentuan.

4.7.3 Efisiensi Kelompok Tiang

Pada perhitungan jumlah tiang diatas dijelaskan tentang jumlah kebutuhan tiang pancang, tetapi kebutuhan tiang pancang mungkin belum cukup dikarenakan adanya garis-garis tegangan dari tiang yang berdekatan sehingga mengurangi daya dukung kelompok tiang, yang biasanya dinyatakan dalam angka efisiensi.

Berikut ini merupakan perhitungan dari kolom K1 Lantai 1 Grid B-4 untuk mengetahui efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus dibawah ini:

Data-data:

$$P_u = 1988,8 \text{ kN}$$

$$P_{ijin} = 57,81 \text{ ton} = 578,1 \text{ kN}$$

$$D_{tiang} = 0,4 \text{ m}$$

$$S_{tiang} = 1 \text{ m}$$

$$\Theta = \text{arc tg} (D/S) = \text{arc tg} (0,4/1) = 21,8^\circ$$

$$m = 2 \text{ tiang (jumlah tiang dalam 1 kolom)}$$

$$n = 2 \text{ tiang (jumlah tiang dalam 1 baris)}$$

Dihitung:

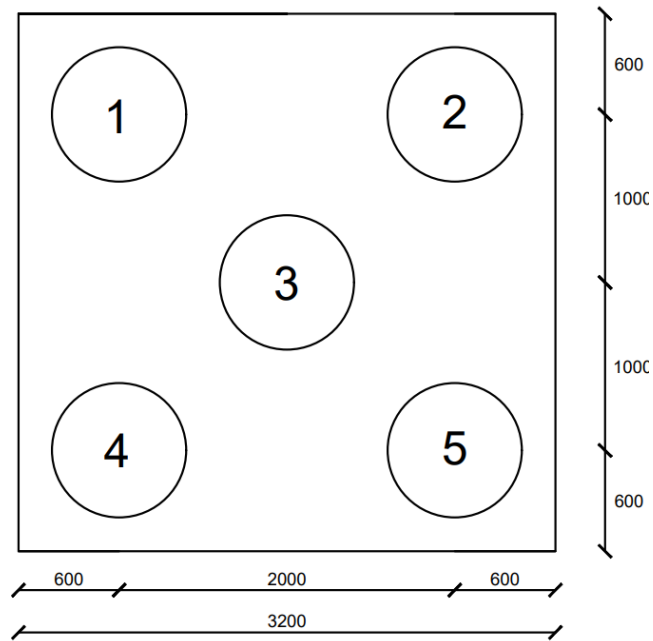
$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \\ &= 1 - 21,8 \times \frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \\ &= 0,7578 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= E_g \times n_p \times P_{ijin} \\ &= 0,7578 \times 4 \times 578,1 \\ &= 1752,34 \text{ kN} < P_u = 1988,8 \text{ kN (Tidak Aman)} \end{aligned}$$

Karena, daya dukung vertikal kelompok tiang kurang dari gaya aksial perlu kolom (P_u), maka jumlah tiang ditambah lagi menjadi 5 tiang pancang. Perhitungannya seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} P_{total} &= E_g \times n_p \times P_{ijin} \\ &= 0,7578 \times 5 \times 578,1 \\ &= 2190,42 \text{ kN} > P_u = 1988,8 \text{ kN (Aman)} \end{aligned}$$

Dengan ini kapasitas kelompok tiang pancang (2190,4 kN) yang direncanakan lebih besar dari beban yang dipikul. Dengan kata lain, pondasi tiang pancang kuat memikul beban yang direncanakan, maka perencanaan pondasi pile cap dengan jumlah tiang pancang sebanyak 5 dapat dilihat pada gambar 4.48.



Gambar 4.48 Rencana Dimensi Pile Cap Tiang Pancang

(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.7.4 Beban Maksimum Setiap Tiang pada Kelompok Tiang

Beban maksimum setiap tiang harus lebih kecil dari daya dukung izin tiang, dikontrol dengan menggunakan rumus :

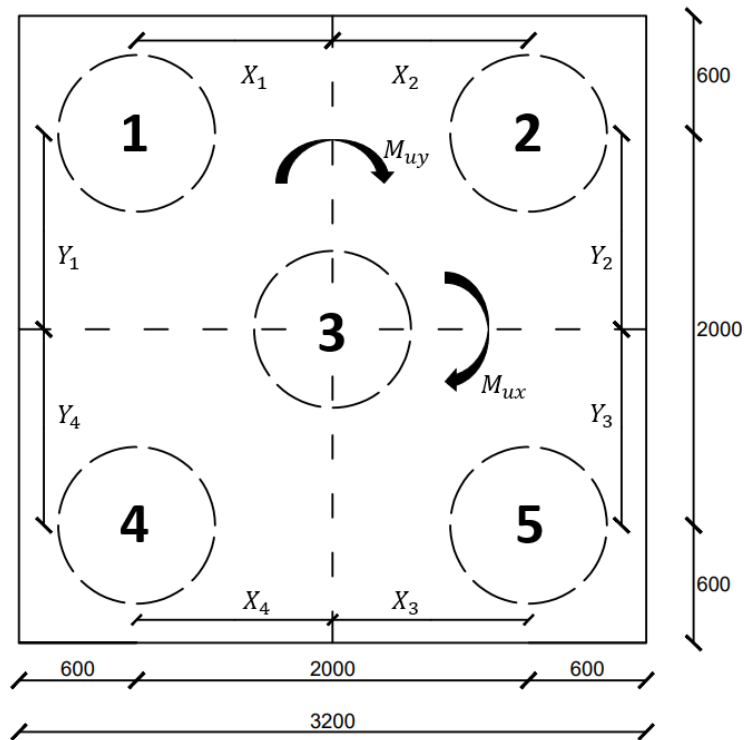
$$P_{max} = \frac{P_u}{n_p} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{n_y \cdot \sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{n_x \cdot \sum y^2} \leq P_{ijin}$$

Data:

$$M_x = 319,6 \text{ kN.m}$$

$$M_y = 333,4 \text{ kN.m}$$

Mekanisme beban yang bekerja pada pondasi dapat dilihat pada gambar 4.49.



Gambar 4.49 Mekanisme Beban yang Bekerja pada Pondasi

(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

Dengan keterangan:

P_u = total beban aksial (kN)

n_p = jumlah tiang dalam kelompok

M_y = momen terhadap sumbu-y (kNm)

M_x = momen terhadap sumbu-x (kNm)

x_i = jarak searah sumbu x dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor i

y_i = jarak searah sumbu y dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor i

n_x = banyak tiang dalam 1 baris arah sumbu-x terjauh

n_y = banyak tiang dalam 1 baris arah sumbu-y terjauh

$\sum x^2$ = jumlah kwadrat dari jarak tiap-tiap tiang ke pusat kelompok tiang (m²)

$\sum y^2$ = jumlah kwadrat dari jarak tiap-tiap tiang ke pusat kelompok tiang (m²)

Sebelum dilakukan perhitungan dengan rumus diatas, perlu dihitung parameter

$\sum X^2$ dan $\sum Y^2$.

Tabel 4.11 Parameter $\sum X^2$

i	X_i (m)	X^2 (m)
1	1	1
2	1	1
3	0	0
4	1	1
5	1	1
$\sum X^2$		4

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Tabel 4.12 Parameter $\sum Y^2$

i	Y_i (m)	Y^2 (m)
1	1	1
2	1	1
3	0	0
4	1	1
5	1	1
$\sum Y^2$		4

(Sumber: Data Olahan Pribadi)

Berikut perhitungan gaya tekan pada tiap tiang pancang berdasarkan nomor tiang (dapat dilihat pada gambar 2.27):

Tiang pancang No.1:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{P_u}{n} - \frac{M_y X_1}{\sum X^2} - \frac{M_x Y_1}{\sum Y^2} \\
 &= \frac{1988,8}{5} - \frac{333,4 \times 1}{4} - \frac{319,6 \times 1}{4} = 391,9 \leq 578,1 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

Tiang pancang No.2:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_y X_1}{\sum X^2} - \frac{M_x Y_1}{\sum Y^2} \\
 &= \frac{1988,8}{5} + \frac{333,4 \times 1}{4} - \frac{319,6 \times 1}{4} = 401,21 \leq 578,1 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

Tiang pancang No.3:

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_y X_1}{\sum X^2} + \frac{M_x Y_1}{\sum Y^2} \\
 &= \frac{1988,8}{5} + \frac{333,4 \times 0}{4} + \frac{319,6 \times 0}{4} = 397,76 \leq 578,1 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

Tiang pancang No.4:

$$\begin{aligned} P_4 &= \frac{P_u}{n} - \frac{M_y X_1}{\sum X^2} + \frac{M_x Y_1}{\sum Y^2} \\ &= \frac{1988,8}{5} - \frac{333,4 \times 1}{4} + \frac{319,6 \times 1}{4} = 394,31 \leq 578,1 \text{ kN (Aman)} \end{aligned}$$

Tiang pancang No.5:

$$\begin{aligned} P_5 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_y X_1}{\sum X^2} + \frac{M_x Y_1}{\sum Y^2} \\ &= \frac{1988,8}{5} + \frac{333,4 \times 1}{4} + \frac{319,6 \times 1}{4} = 561,01 \leq 578,1 \text{ kN (Aman)} \end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas menjelaskan bahwa beban maksimal yang diterima oleh satu tiang pancang masih berada dibawah batas ijin.

4.7.5 Perhitungan Kontrol Gaya Geser Pondasi

Syarat sesuai SNI 2847-2019 Pasal 13.4.2.3 yaitu, pile cap harus didesain sedemikian rupa sehingga sehingga *point* (a) dapat dipenuhi untuk kontrol gaya geser satu arah, dan *point* (b) dapat dipenuhi untuk control gaya geser dua arah:

- a) $\phi V_c \geq V_u$, untuk geser satu arah, nilai $\phi = 0,75$ sesuai pasal 21.2, dan V_c dihitung berdasarkan pasal 22.5.5.1 yaitu $V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b.d$.
- b) $\phi V_c \geq V_u$, untuk geser satu arah, nilai $\phi = 0,75$ sesuai pasal 21.2, dan V_c dihitung berdasarkan pasal 22.6.5.2 yaitu nilai terkecil *point* berikut ini:
 1. $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$
 2. $0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f_c'}$
 3. $0,083\left(2 + \frac{a_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f_c'}$

Perhitungan tinggi efektif pelat pile cap pada arah-X dan arah-Y:

1. Perhitungan arah-x:

$$d_x = h - t_s - (D/2) = 1000 - 75 - (22/2) = 914 \text{ mm}$$

2. Perhitungan arah-y:

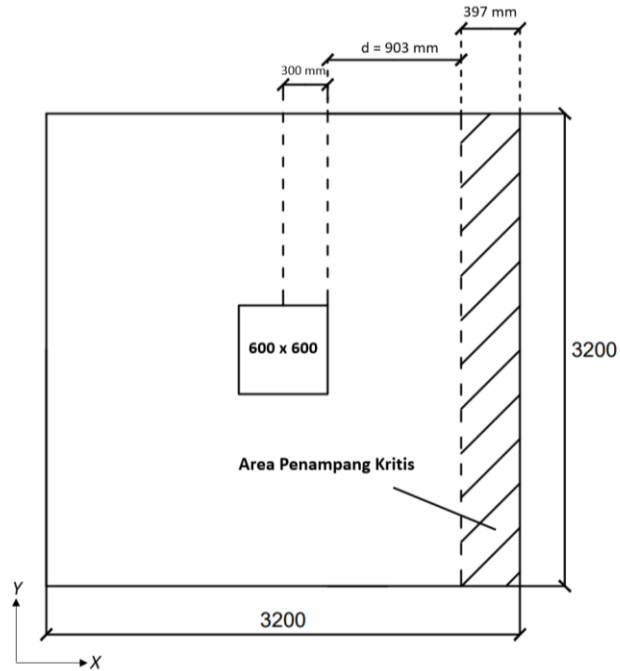
$$d_x = h - t_s - D - (D/2) = 1000 - 75 - 22 - (22/2) = 892 \text{ mm}$$

3. Jadi tinggi efektif (d) adalah:

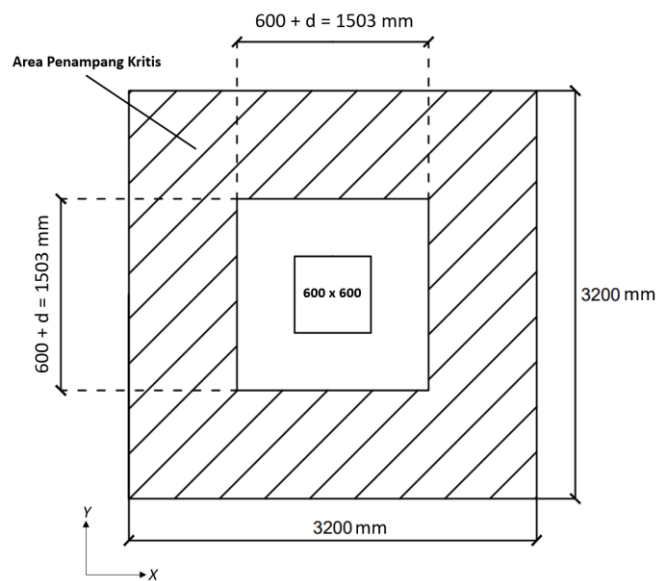
$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{914 + 892}{2} = 903 \text{ mm}$$

Perhitungan gaya geser ultimate (V_u):

Perhitungan gaya geser *ultimate* perlu mengontrol dua kondisi, yaitu kontrol kondisi gaya geser satu arah, seperti pada gambar 4.50, dan kontrol kondisi gaya geser dua arah, seperti pada gambar 4.51.



Gambar 4.50 Kondisi Kontrol Gaya Geser Satu Arah
(Sumber: Y. Lesmana, 2020)



Gambar 4.51 Kondisi Kontrol Gaya Geser Dua Arah
(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

Pada perhitungan ini, digunakan gaya dalam terfaktor, dengan beban aksial P_u terfaktor sebesar 2230 kN. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

1. Aksi satu arah:

$$V_u = \frac{P_u}{A_{pelat}} \times A_{penampang\ kritis}$$

Dimana $A_{penampang\ kritis}$ merupakan luasan pelat dikurangi luasan area kritis.

$$A_{penampang\ kritis} = (3,2 \times 0,397) = 1,2704 \text{ m}^2$$

Sehingga:

$$V_u = \frac{P_u}{A_{pelat}} \times A_{penampang\ kritis}$$

$$V_u = \frac{2230 \text{ kN}}{(3,2 \times 3,2) \text{ m}^2} \times 1,2704 \text{ m}^2$$

$$V_u = 276,659 \text{ kN} \approx 276659 \text{ N}$$

2. Aksi dua arah:

$$V_u = \frac{P_u}{A_{pelat}} \times A_{penampang\ kritis}$$

Dimana $A_{penampang\ kritis}$ merupakan luasan pelat dikurangi luasan area kritis.

$$A_{penampang\ kritis} = (3,2 \times 3,2) - (3,2 \times 1,503) = 5,4304 \text{ m}^2$$

Sehingga:

$$V_u = \frac{P_u}{A_{pelat}} \times A_{penampang\ kritis}$$

$$V_u = \frac{2230 \text{ kN}}{(3,2 \times 3,2) \text{ m}^2} \times 5,4304 \text{ m}^2$$

$$V_u = 1182,597 \text{ kN} \approx 1182597 \text{ N}$$

Kontrol Gaya Geser Satu Arah

Perhitungan kontrol gaya geser satu arah, berdasarkan Pasal 13.4.2.3, nilai ϕV_c harus lebih besar dari nilai V_u , dimana V_c dihitung berdasarkan pasal 22.5.5.1 yaitu $V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b.d$, dan nilai $\phi = 0,75$ sesuai pasal 21.2. Adapun perhitungan detailnya berikut ini:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b.d$$

$$V_c = 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{25} \times 3200 \times 903$$

$$V_c = 2456160 \text{ N}$$

Jadi, syarat $\phi V_c \geq V_u$ untuk kontrol gaya geser satu arah adalah:

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$0,75 \times 2456160 \text{ N} \geq 346347 \text{ N}$$

$$1842120 \text{ N} \geq 276659 \text{ N} \longrightarrow \text{(Memenuhi syarat)}$$

Kontrol Gaya Geser Dua Arah

Perhitungan control gaya geser dua arah, berdasarkan Pasal 13.4.2.3, nilai ϕV_c harus lebih besar dari nilai V_u , nilai $\phi = 0,75$, dan dimana V_c dihitung berdasarkan pasal 22.6.5.2 yaitu nilai terkecil *point* berikut ini:

a) $0,33\lambda\sqrt{f'_c}b_o \cdot d$

b) $0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}b_o \cdot d$

c) $0,083\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}b_o \cdot d$

Keterangan:

Berdasarkan Pasal 22.6.5.3 nilai α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, dan 20 untuk kolom sudut.

Adapun perhitungan detailnya berikut ini:

Parameter:

$$b_o = 4 \times 1503 = 6012 \text{ mm (Keliling dari kotak } 600 + d)$$

$$\beta = 600/600 = 1,0$$

$$\alpha_s = 40 \text{ (Kolom interior)}$$

1. Perhitungan persamaan-(a):

$$V_c = 0,33\lambda\sqrt{f'_c}b_o \cdot d$$

$$V_c = 0,33 \times 1,0 \times \sqrt{25} \times 6012 \times 903$$

$$V_c = 8957579,4 \text{ N}$$

2. Perhitungan persamaan-(b):

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}b_o \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1,0}\right) \times 1,0 \times \sqrt{25} \times 6012 \times 903$$

$$V_c = 13843531,8 \text{ N}$$

3. Perhitungan persamaan-(c):

$$V_c = 0,083 \left(2 + \frac{a_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o \cdot d$$

$$V_c = 0,083 \times \left(2 + \frac{40 \times 903}{6012} \right) \times 1,0 \times \sqrt{25} \times 6012 \times 903$$

$$V_c = 18041723,3 \text{ N}$$

Nilai V_c yang diambil adalah nilai yang terkecil, yaitu $V_c = 8957579,4 \text{ N}$.

Jadi, syarat $\phi V_c \geq V_u$ untuk kontrol gaya geser dua arah adalah:

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$0,75 \times 8957579,4 \text{ N} \geq 1182597 \text{ N}$$

$$6178184,6 \text{ N} \geq 1182597 \text{ N} \longrightarrow \text{(Memenuhi syarat)}$$

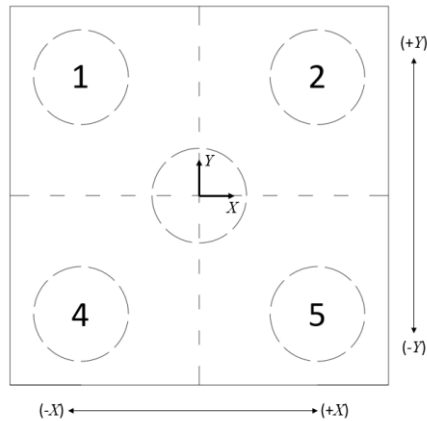
Dengan kedua kondisi kontrol gaya geser satu dan dua arah sudah memenuhi syarat, maka dapat disimpulkan dimensi pelat pondasi aman dari kegagalan. Bila salah satu kondisi kontrol geser tidak memenuhi syarat, maka harus dilakukan revisi baik berupa meningkatkan mutu material, mengubah dimensi, atau merubah tebal pelat.

4.7.6 Desain Tulangan Pile Cap

Perhitungan tulangan pile cap dihitung berdasarkan dua arah, yaitu tulangan arah- x dan tulangan arah- y . Namun sebelum menghitung tulangan arah- x dan tulangan arah- y , perlu dihitung momen *ultimate* pada arah- x dan arah- y .

Menghitung momen *ultimate* pile cap pada arah- x dan arah- y :

Dalam analisa momen *ultimate*, konsep yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.52.

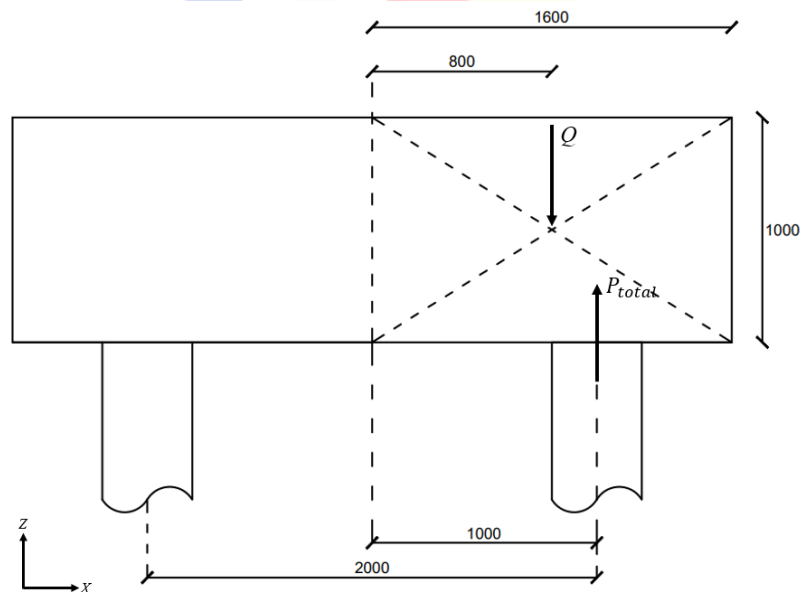


Gambar 4.52 Analisa Momen *Ultimate* Pile Cap pada Arah- x dan Arah- y .

(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

1. Analisa momen M_y (Tulangan arah- X):

Momen M_y akan digunakan untuk mendesain tulangan arah- X dikarenakan momen M_y yang mengakibatkan pelat berdeformasi arah- X . Dalam perhitungan momen M_y , momen ultimate akan ditinjau pada dua arah yaitu; arah ($-X$) dan arah ($+X$) pada gambar 4.52. Pada arah ($+X$), gaya tiang yang diperhitungkan adalah tiang nomor 2 dan tiang nomor 5. Dan pada arah ($-X$), gaya tiang yang akan diperhitungkan adalah tiang nomor 1 dan tiang nomor 4. Adapun perhitungan detailnya sebagai berikut:



Gambar 4.53 Analisa Perhitungan Momen M_y Arah ($+X$).

(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

a. Momen M_y arah (+X) lihat pada Gambar 4.53:

- Gaya total dari tiang:

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_2 + P_5 \\ &= 401,21 + 561,01 \\ &= 962,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

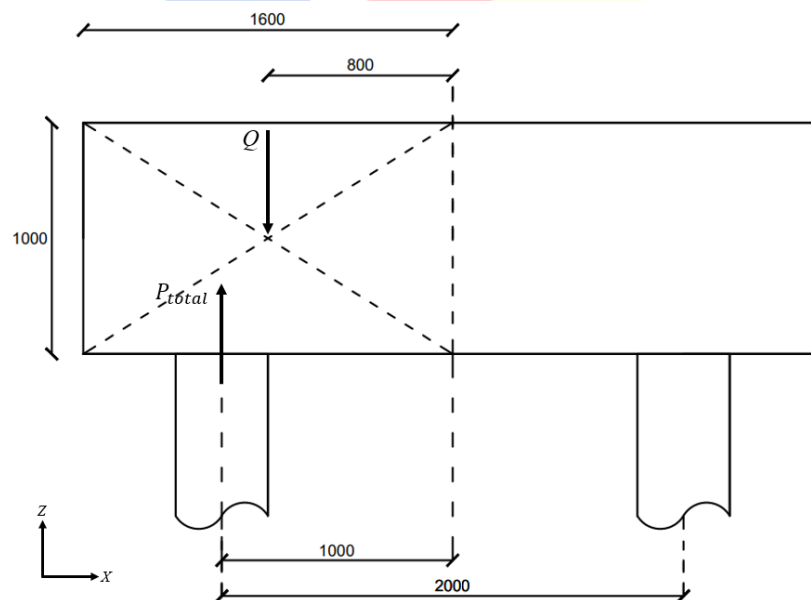
- Gaya dari pile cap (berat sendiri):

$$\begin{aligned} Q &= \text{Volume pile cap} \times BJ_{\text{beton}} \\ &= (1,6 \times 1 \times 3,2) \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 122,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen *ultimate*:

$$\begin{aligned} M_y &= (P_{total} \times 1) - (Q \times 0,8) \\ &= (962,22 \times 1) - (122,88 \times 0,8) \\ &= 962,22 - 98,304 \\ &= 863,916 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Jadi momen M_y arah (+X) adalah $M_y = 863,916 \text{ kN.m} \approx 863.916.000 \text{ N.mm}$



Gambar 4.54 Analisa Perhitungan Momen M_y Arah (-X).

(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

b. Momen M_y arah (-X) lihat pada Gambar 4.54:

- Gaya total dari tiang:

$$\begin{aligned}P_{total} &= P_1 + P_4 \\ &= 381,9 + 394,31 \\ &= 786,21 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Gaya dari pile cap (berat sendiri):

$$\begin{aligned}Q &= \text{Volume pile cap} \times BJ_{\text{beton}} \\ &= (1,6 \times 1 \times 3,2) \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 122,88 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Momen *ultimate*:

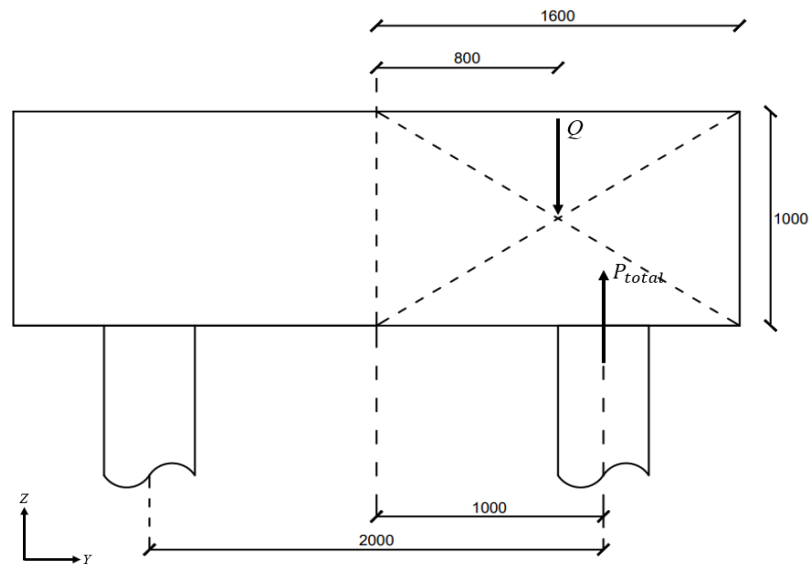
$$\begin{aligned}M_y &= (P_{total} \times 1) - (Q \times 0,8) \\ &= (786,21 \times 1) - (122,88 \times 0,8) \\ &= 786,21 - 98,304 \\ &= 687,906 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Jadi momen M_y arah (-X) adalah $M_y = 687,906 \text{ kN.m} \approx 687.906.000 \text{ N.mm}$

Dari perhitungan momen *ultimate* diatas telah didapatkan momen M_y dari kedua sisi arah-X. Kemudian dari kedua nilai tersebut akan diambil momen terbesar untuk digunakan pada perhitungan tulangan arah-X (M_y). Maka momen *ultimate* (M_y) yang akan digunakan untuk mendesain tulangan arah-X adalah $M_y = 863.916.000 \text{ N.mm}$.

2. Analisa momen M_x (Tulangan arah-Y):

Momen M_x akan digunakan untuk mendesain tulangan arah-Y dikarenakan momen M_x yang mengakibatkan pelat berdeformasi arah-Y. Dalam perhitungan momen M_x , momen ultimate akan ditinjau pada dua arah yaitu; arah (-Y) dan arah (+Y) pada gambar 4.52. Pada arah (+Y), gaya tiang yang akan diperhitungkan adalah tiang nomor 1 dan tiang nomor 2. Dan pada arah (-Y), gaya tiang yang diperhitungkan adalah tiang nomor 4 dan tiang nomor 5. Adapun perhitungan detailnya sebagai berikut:



Gambar 4.55 Analisa Perhitungan Momen M_x Arah (+Y).

(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

a. Momen M_x arah (+Y) lihat pada Gambar 4.55:

- Gaya total dari tiang:

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_1 + P_2 \\ &= 391,9 + 401,21 \\ &= 793,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

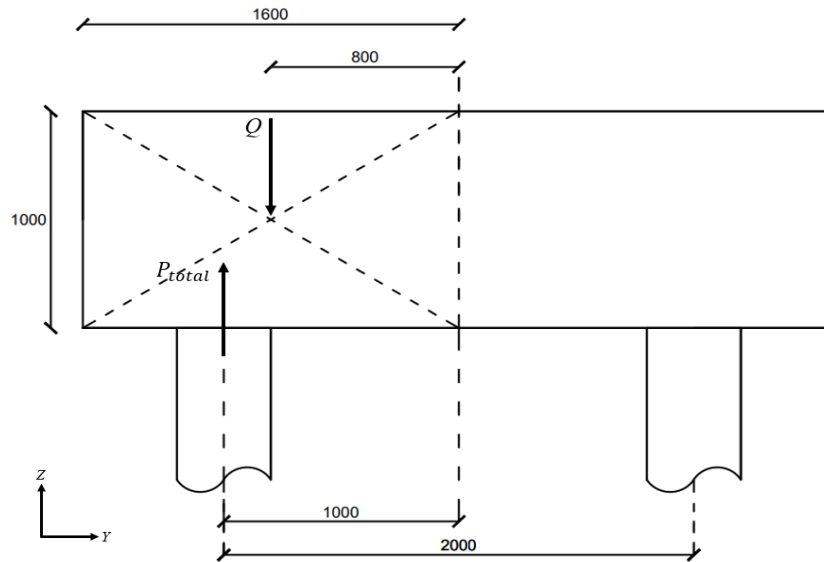
- Gaya dari pile cap (berat sendiri):

$$\begin{aligned} Q &= \text{Volume pile cap} \times BJ_{\text{beton}} \\ &= (1,6 \times 1 \times 3,2) \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 122,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen *ultimate*:

$$\begin{aligned} M_x &= (P_{total} \times 1) - (Q \times 0,8) \\ &= (793,11 \times 1) - (122,88 \times 0,8) \\ &= 793,11 - 98,304 \\ &= 694,806 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Jadi momen M_x arah (-Y) adalah $M_x = 694,806 \text{ kN.m} \approx 694.806.000 \text{ N.mm}$



Gambar 4.56 Analisa Perhitungan Momen M_x Arah (-Y).

(Sumber: Y. Lesmana, 2020)

b. Momen M_x arah (-Y) lihat pada Gambar 4.56:

- Gaya total dari tiang:

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= P_4 + P_5 \\
 &= 394,31 + 561,01 \\
 &= 955,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya dari pile cap (berat sendiri):

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Volume pile cap} \times BJ_{\text{beton}} \\
 &= (1,6 \times 1 \times 3,2) \times 24 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 122,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen *ultimate*:

$$\begin{aligned}
 M_x &= (P_{total} \times 1) - (Q \times 0,8) \\
 &= (955,32 \times 1) - (122,88 \times 0,8) \\
 &= 955,32 - 98,403 \\
 &= 856,917 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Jadi momen M_x arah (-Y) adalah $M_x = 856,917 \text{ kN.m} \approx 856.917.000 \text{ N.mm}$

Dari perhitungan momen *ultimate* diatas telah didapatkan momen M_x dari kedua sisi arah-Y. Kemudian dari kedua nilai tersebut akan diambil momen terbesar untuk digunakan pada perhitungan tulangan arah-Y (M_x). Maka momen *ultimate* (M_x) yang akan digunakan untuk mendesain tulangan arah-Y adalah $M_x = 856.917.000 \text{ N.mm}$.

Penulangan pile cap arah-X:

$$M_{uy} = 863,916 \text{ kN.m} \approx 863.916.000 \text{ N.mm.}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{863,916}{0,9} = 959,906 \text{ kN.m} \approx 959.906.667 \text{ N.mm}$$

$$d = h - t_s - (D/2) = 1000 - 75 - \frac{22}{2} = 914 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{959.906.667}{1000 \times 914^2} = 1,15$$

$$m = \frac{F_y}{0,85.F_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Sehingga diperoleh rasio tulangan ρ :

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,15}{420}} \right]$$

$$\rho = 0,0028165$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,0028165$.

Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0028165 \times 1000 \times 914 \\ &= 2574,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019; Pasal 7.7.2.3, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 500 = 1500 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 125 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan).

Sehingga luasan yang terpasang adalah:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{125} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 3041,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($3041,062 \text{ mm}^2 > 2574,27 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pile cap tulangan arah-X adalah **D22 – 125 mm**.

Penulangan pile cap arah-Y:

$$M_{ux} = 856,917 \text{ kN.m} \approx 856.917.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{856,917}{0,9} = 952,13 \text{ kN.m} \approx 952.130.000 \text{ N.mm}$$

$$d = h - t_s - (D/2) = 1000 - 75 - \frac{22}{2} = 914 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{952.130.000}{1000 \times 914^2} = 1,14$$

$$m = \frac{F_y}{0,85.F_c} = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,7647$$

Sehingga diperoleh rasio tulangan ρ :

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{19,7647} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,14}{420}} \right]$$

$$\rho = 0,00279$$

Nilai ρ harus dipastikan lebih besar dari ρ_{min} .

Nilai ρ_{min} adalah nilai terbesar dari dua perhitungan berikut ini:

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

Atau

$$\rho_{min} = 0,0014$$

Jadi nilai ρ_{min} yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0018$. Sehingga karena nilai $\rho > \rho_{min}$, nilai yang akan digunakan sebagai rasio tulangan adalah $\rho = 0,00279$. Adapun luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,00279 \times 1000 \times 914 \\ &= 2550,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2837-2019; Pasal 7.7.2.3, nilai maksimum spasi pelat adalah harus kurang dari 3h atau 450 mm.

$$S = 3 \times h = 3 \times 500 = 1500 \text{ mm}$$

Atau

$$S = 450 \text{ mm}$$

Jadi dalam hal ini akan digunakan spasi tulangan lentur sebesar 125 mm (selama spasi yang digunakan lebih kecil dari spasi maksimum maka diperbolehkan). Sehingga luasan yang terpasang adalah:

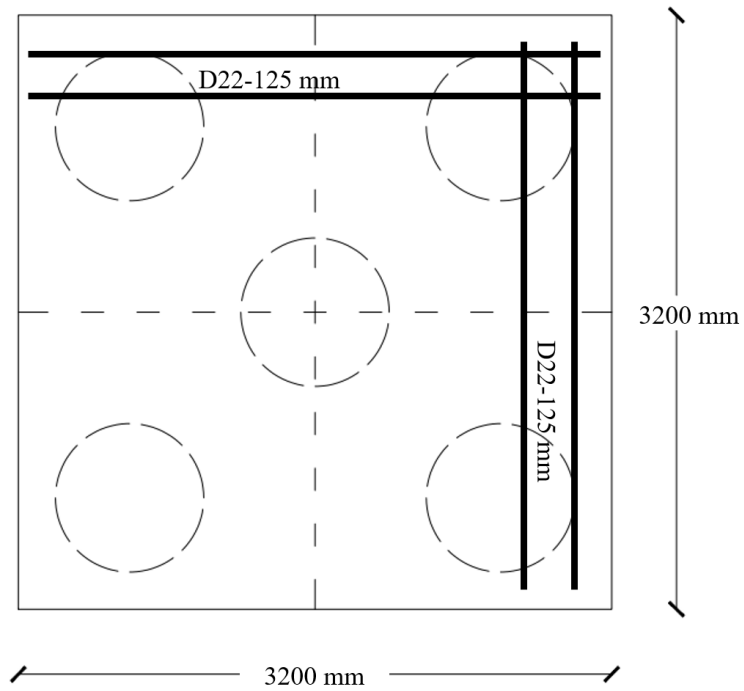
$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1000}{125} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 3041,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $A_{s \text{ pakai}}$ yang dihitung lebih besar dari A_s awal, sehingga memenuhi persyaratan ($3041,062 \text{ mm}^2 > 2550,62 \text{ mm}^2$). Jadi tulangan yang akan digunakan pada pile cap tulangan arah-Y adalah **D22 – 125 mm**.

Berdasarkan perhitungan diatas, maka diperoleh hasil untuk Pile Cap tipe P1, yaitu;

- Tulangan arah-X bagian atas dan bawah pile cap digunakan D22 – 125 mm.
- Tulangan arah-Y bagian atas dan bawah pile cap digunakan D22 – 125 mm.

Berikut merupakan gambar penampang dari tulangan pile cap pada Gambar 4.57.



Gambar 4.57 Penampang Tulangan Pile Cap Tipe P1
(Sumber: Dokumen Pribadi)