

## BAB VI

### PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

#### 6.1 Struktur Primer

Struktur primer merupakan komponen utama suatu bangunan gedung yang dirancang untuk menahan gaya gempa dan tingkat kekakuannya menentukan perilaku suatu bangunan gedung. Adapun yang termasuk ke dalam struktur primer antara lain yaitu balok induk, kolom dan dinding struktur. Komponen struktur primer harus direncanakan sedemikian rupa hingga dapat memperkecil kemungkinan keruntuhan bangunan gedung akibat gaya gempa yang terjadi. Perencanaan komponen struktur primer dilakukan dengan bantuan program bantu komputer dengan pemodelan struktur yang mengacu pada SNI 2847-2019, SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020.

#### 6.2 Data Perencanaan Struktur Primer

Adapun data perencanaan untuk komponen struktur primer dari gedung Hotel Delmare yaitu sebagai berikut:

Mutu beton ( $f_c'$ )	: 40 MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	: 400 MPa
Mutu baja tulangan sengkang	: 400 MPa
Modulus elastisitas beton ( $E_c$ )	: $4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{40} = 29725,41$ MPa
Modulus elastisitas baja ( $E_s$ )	: 200000 MPa
Jumlah lantai	: 10 Lantai
Tinggi tiap lantai	: 4 m
Tinggi gedung	: 40 m
Panjang gedung	: 49 m
Lebar gedung	: 24 m
Dimensi balok induk	: 40/60 cm
Dimensi kolom	: 80/80 cm
Tebal dinding struktur	: 30 cm
Kategori desain seismik	: D
Klasifikasi situs tanah	: Tanah lunak
Nilai $S_{Ds}$	: 0,63
Nilai $S_{D1}$	: 0,22

Nilai R : 7 (SNI 1726-2019 Tabel 12)  
 Nilai C<sub>d</sub> : 5,5 (SNI 1726-2019 Tabel 12)

### 6.3 Pembebanan

#### 6.3.1 Menghitung Beban Gravitasi

- **Berat Struktur Lantai 10 (Atap)**

##### **Beban Mati**

Berat sendiri pelat	= $49 \times 24 \times 0,10 \times 2400$	= 282240 Kg
Beban tambahan	= $49 \times 24 \times 104$	= 122304 Kg
Berat balok induk (x)	= $(0,40 \times 0,60 \times 7) \times 32 \times 2400$	= 129024 Kg
Berat balok induk (y)	= $(0,40 \times 0,60 \times 6) \times 30 \times 2400$	= 103680 Kg
Berat balok anak (x)	= $(0,30 \times 0,50 \times 7) \times 28 \times 2400$	= 70560 Kg
Berat balok anak (y)	= $(0,30 \times 0,50 \times 6) \times 28 \times 2400$	= 60480 Kg
Berat balok lift	= $(0,30 \times 0,40 \times 3,5) \times 2 \times 2400$	= 2016 Kg
Berat kolom	= $(0,80 \times 0,80 \times 2) \times 40 \times 2400$	= 122880 Kg
Berat dinding (x)	= $221 \times 2 \times 250$	= 110500 Kg
Berat dinding (y)	= $174 \times 2 \times 250$	= 87000 Kg
Berat dinding geser (x)	= $21 \times 0,30 \times 2 \times 2400$	= 30240 Kg
Berat dinding geser (y)	= $12 \times 0,30 \times 2 \times 2400$	= 17280 Kg
		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black; margin-bottom: 5px;"/> + Total beban mati atap = 1138204 Kg

##### **Beban Hidup**

Beban hidup atap =  $49 \times 24 \times 100 \times 0,3 = 35280$  Kg

- **Berat Struktur Lantai 2 – 9 (Lantai)**

##### **Beban Mati**

Berat sendiri pelat	= $49 \times 24 \times 0,12 \times 2400$	= 338688 Kg
Beban tambahan	= $49 \times 24 \times 114$	= 134064 Kg
Berat balok induk (x)	= $(0,40 \times 0,60 \times 7) \times 32 \times 2400$	= 129024 Kg
Berat balok induk (y)	= $(0,40 \times 0,60 \times 6) \times 30 \times 2400$	= 103680 Kg
Berat balok anak (x)	= $(0,30 \times 0,50 \times 7) \times 28 \times 2400$	= 70560 Kg
Berat balok anak (y)	= $(0,30 \times 0,50 \times 6) \times 28 \times 2400$	= 60480 Kg
Berat kolom	= $(0,80 \times 0,80 \times 4) \times 40 \times 2400$	= 245760 Kg
Berat dinding (x)	= $221 \times 4 \times 250$	= 221000 Kg



**Tabel 6. 1** Berat Tiap Lantai

Lantai Ke -	Beban Mati (Kg)	Beban Hidup (Kg)	Total Beban (Kg)
10	1138204	35280	1173484
9	1572296	88200	1660496
8	1572296	88200	1660496
7	1572296	88200	1660496
6	1572296	88200	1660496
5	1572296	88200	1660496
4	1572296	88200	1660496
3	1572296	88200	1660496
2	1572296	88200	1660496
1	1461296	88200	1549496
<b>TOTAL</b>			<b>16006948</b>

### 6.3.2 Menghitung Beban Gempa

Perhitungan beban gravitasi didasarkan pada SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung dengan analisis sistem ganda.

- **Data Respon Spektra Kota Mataram**

Berdasarkan data tanah kota mataram, maka jenis tanah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dimana:

$d_i$  = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 meter sampai 30 meter

$N_i$  = tahanan penetrasi standar 60% energi ( $N_{60}$ ) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi.

Penentuan jenis tanah dapat dilakukan berdasarkan data dan perhitungan pada Tabel 6.2. Namun sebelum itu, perlu digarisbawahi bahwasanya data tanah yang penulis gunakan hanya mencapai kedalaman 24 m < 30 m karena adanya keterbatasan data. Guna hasil yang lebih akurat, sebaiknya digunakan data tanah hingga kedalaman 30 m sebagaimana tercantum dalam SNI 1726-2019 Pasal 5.1.

**Tabel 6. 2** Perhitungan Penentuan Jenis Tanah Kota Mataram

Kedalaman (di) (m)	NSPT (Ni)	$\bar{N}$
1	2	0,50
3	3	1,00
4	5	0,80
6	3	2,00
7	2	3,50
8	3	2,67
10	5	2,00
12	12	1,00
13	21	0,62
14	22	0,64
16	18	0,89
18	19	0,95
19	32	0,59
20	32	0,63
22	34	0,65
24	40	0,60
<b><math>\Sigma di = 197</math></b>		<b><math>\Sigma \bar{N} = 19,02</math></b>

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{\bar{N}_i}} = \frac{197}{19,02} = 10,36 < 15 \text{ (Termasuk jenis tanah lunak, SE)}$$

Fungsi dari respon spektra adalah untuk mencari nilai respon maksimum berupa kecepatan maksimum, simpangan maksimum maupun percepatan maksimum. Berdasarkan hasil analisis respon spektra Kota Mataram yang diketahui memiliki jenis tanah lunak, didapat data respon spektra seperti yang tertera pada Tabel 6.3.

**Tabel 6. 3** Nilai Respon Spektra untuk Jenis Tanah Lunak di Kota Mataram

<b>Tanah Lunak (SE)</b>	
<b>Variabel</b>	<b>Nilai</b>
PGA (g)	0,4619
S <sub>s</sub> (g)	1,0512
S <sub>1</sub> (g)	0,4103
F <sub>A</sub>	1,1
F <sub>V</sub>	2,4
S <sub>MS</sub> (g)	1,1563
S <sub>M1</sub> (g)	0,9847
S <sub>DS</sub> (g)	0,74
S <sub>D1</sub> (g)	0,65
T <sub>0</sub> (detik)	0,18
T <sub>S</sub> (detik)	0,88

(Sumber: Data Respon Spektra Kota Mataram)

- **Periode Fundamental Struktur**

Periode fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau harus dicari dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan pada analisis yang teruji. Sebagai alternatif dalam pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (T), diijinkan menggunakan periode fundamental pendekatan (T<sub>a</sub>) yang dihitung sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2.1.

$$T_a = C_t \cdot hn^x$$

Dimana:

h<sub>n</sub> = ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C<sub>t</sub> = ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726-2019

x = ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726-2019

Sistem ganda termasuk ke dalam pilihan semua sistem struktur lainnya, maka diperoleh nilai:

$$C_t = 0,0488$$

$$x = 0,75$$

$$T_a = 0,0488 \cdot 40^{0,75} = 0,77$$

Kota Mataram memiliki nilai S<sub>D1</sub> = 0,65, menurut SNI 1726-2019 Tabel 17, maka Kota Mataram memiliki koefisien C<sub>u</sub> = 1,4

$$C_u > T_a = 1,4 > 0,77 \quad (\text{OK})$$

- **Beban Geser Dasar Seismik**

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1 disebutkan bahwa gaya geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

Koefisien respon seismik (C<sub>s</sub>), berdasarkan SNI 1726-2019 harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Sehingga, beban geser dasar seismik dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_s = \frac{0,74}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,1057$$

$$V = 0,1057 \times 14217988 = 1502841,33 \text{ Kg}$$

- **Beban Gempa Statik Ekvivalen**

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.3, disebutkan bahwa gaya seismik lateral ( $F_x$ ) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k}$$

Sehingga, gaya seismik lateral ( $F_x$ ) sebagai contoh untuk menghitung beban gempa pada lantai 6 dapat dihitung sebagai berikut:

$$k = 1 - \left( \frac{0,77 - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) (1 - 2) = 1,135$$

$$C_{vx} = \frac{1478720 \cdot 24^{1,135}}{474293608,89} = 0,115$$

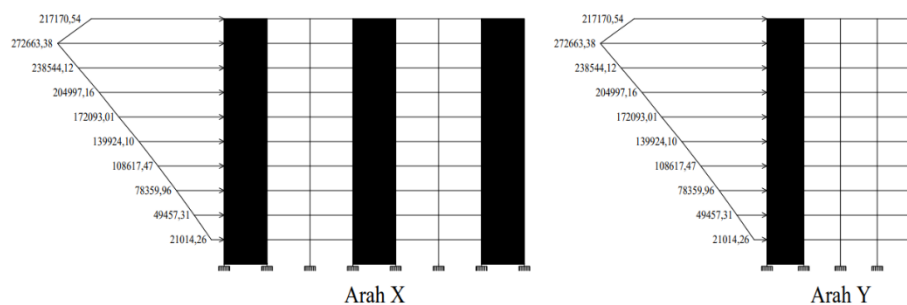
$$F_x = 0,115 \times 1502841,33 = 172699,69 \text{ Kg}$$

Dengan cara yang sama, perhitungan besarnya gaya seismik lateral tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 6.4 berikut.

**Tabel 6. 4** Distribusi Gaya Gempa pada Tiap Lantai

Lantai ke -	Tinggi ( $h_x$ ) (m)	Berat (w) (Kg)	k	$w_x \cdot h_x^k$	$F_x$ (Kg)
10	40	1173484	1,135	77235197,73	217170,54
9	36	1660496	1,135	96970843,23	272663,38
8	32	1660496	1,135	84836561,75	238544,12
7	28	1660496	1,135	72905820,05	204997,16
6	24	1660496	1,135	61203688,07	172093,01
5	20	1660496	1,135	49763037,19	139924,10
4	16	1660496	1,135	38629048,79	108617,47
3	12	1660496	1,135	27868176,22	78359,96
2	8	1660496	1,135	17589154,71	49457,31
1	4	1549496	1,135	7473577,62	21014,26
				$\Sigma = 534475105,37$	

Berdasarkan hasil perhitungan gaya gempa pada tiap lantai, dapat digambarkan distribusi gaya gempa pada tiap lantai pada Gambar 6.1.



**Gambar 6. 1** Distribusi Gaya Gempa Tiap Lantai pada Arah X dan Arah Y

- **Kombinasi Pembebanan**

Adapun kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1727-2020 yang akan diinput ke dalam program bantu komputer yaitu sebagai berikut:

COMB 1	$1,4D$
COMB 2	$1,2D + 1,6L$
COMB 3	$1,2D + L + GX + 0,3GY$
COMB 4	$1,2D + L + GX - 0,3GY$
COMB 5	$1,2D + L - GX + 0,3GY$
COMB 6	$1,2D + L - GX - 0,3GY$
COMB 7	$0,9D + GX + 0,3GY$
COMB 8	$0,9D + GX - 0,3GY$
COMB 9	$0,9D - GX + 0,3GY$
COMB 10	$0,9D - GX - 0,3GY$
COMB 11	$1,2D + L + 0,3GX + GY$
COMB 12	$1,2D + L + 0,3GX - GY$
COMB 13	$1,2D + L - 0,3GX + GY$
COMB 14	$1,2D + L - 0,3GX - GY$
COMB 15	$0,9D + 0,3GX + GY$
COMB 16	$0,9D + 0,3GX - GY$
COMB 17	$0,9D - 0,3GX + GY$
COMB 18	$0,9D - 0,3GX - GY$

- **Batasan Simpangan Antar Lantai**

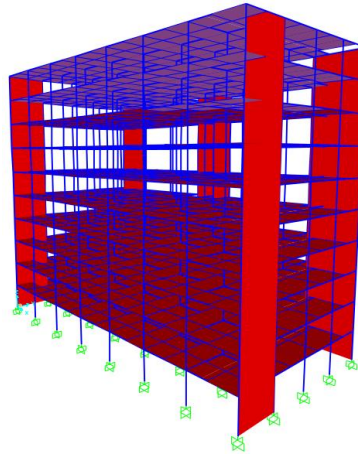
Simpangan antar lantai akibat pengaruh gempa rencana pada kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, berfungsi untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan gedung yang dapat menimbulkan adanya korban jiwa dan juga mencegah benturan antar gedung. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi sebagai pusat massa di tingkat teratas dan terbawah gedung. Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin ( $\Delta_a$ ) seperti yang didapatkan dari Tabel 2.10 untuk semua tingkat. Gedung Hotel Delmare termasuk ke dalam kategori risiko II dengan dinding geser dari beton yang termasuk ke dalam semua struktur lainnya, maka simpangan antar lantai izin ( $\Delta_a$ ) ditentukan berdasarkan  $0,020h_{sx}$ . Pemodelan dengan menggunakan program bantu struktur dapat dilihat pada Gambar 6.1.



$$\delta_M = \frac{Cd \cdot \delta_{max}}{Ie}$$

Dimana:

$\delta_{max}$  = perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis



**Gambar 6. 2** Pemodelan dengan Program Struktur

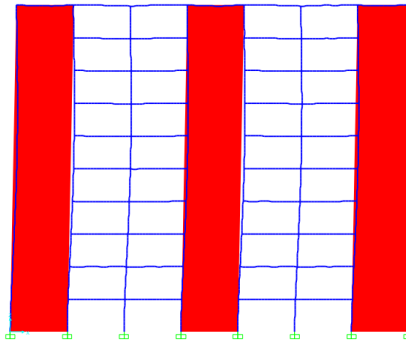
Sehingga, perhitungan defleksi pada tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 6.5 sebagai berikut:

**Tabel 6. 5** Nilai Simpangan Tiap Lantai

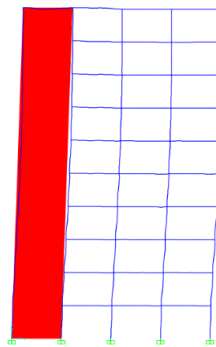
Lantai	hx (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta a$ (ijin) (mm)	Keterangan $\Delta xy < \Delta a$
Atap	4000	53,61672	41,01084	1,67	2,37	80	OK
10	4000	53,31384	40,57950	3,45	3,35	80	OK
9	4000	52,68619	39,96993	12,49	9,98	80	OK
8	4000	50,41549	38,15468	23,22	17,87	80	OK
7	4000	46,19372	34,90568	33,70	25,58	80	OK
6	4000	40,06560	30,25460	42,88	32,36	80	OK
5	4000	32,26974	24,37062	49,86	37,57	80	OK
4	4000	23,20477	17,54052	53,13	40,06	80	OK
3	4000	13,54417	10,25580	48,83	36,92	80	OK
2	4000	4,66542	3,54385	25,66	19,49	80	OK
1	0	0	0	0	0	80	OK

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 6.5, diperoleh nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur gedung Hotel Delmare bernilai lebih kecil dibanding simpangan tingkat ijin, dimana simpangan tingkat desain rerata bernilai 23,66 mm, lebih kecil dibanding simpangan tingkat ijin 80 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa simpangan gedung tingkat desain telah memenuhi persyaratan. Maka, perencanaan gedung Hotel Delmare dinyatakan mampu menahan beban akibat gravitasi dan beban gempa dan telah memenuhi persyaratan dalam peraturan SNI 1726-2019.

Hasil output simpangan antar lantai pada arah X dan arah Y dapat dilihat pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4.



**Gambar 6. 3** Output Simpangan antar Lantai Arah X



**Gambar 6. 4** Output Simpangan antar Lantai Arah Y

Selanjutnya dilakukan perhitungan kontrol T-Rayleigh berdasarkan perumusan berikut:

Periode Struktur:

$$T_R = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \Delta x^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot \Delta x}}$$
 dengan syarat  $T_a < 3,5 T_R$

**Tabel 6. 6** T-Rayleigh Arah X

Lantai	Berat (w) (Kg)	Gaya Gempa (F) (Kg)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta x^2$ (mm)	$W_i \cdot \Delta x^2$	$F_i \cdot \Delta x$
Atap	1173484	217170,54	1,67	2,37	3256294,46	361763,01
10	1660496	272663,38	3,45	3,35	19787834,94	941254,44
9	1660496	238544,12	12,49	9,98	258989615,06	2979140,42
8	1660496	204997,16	23,22	17,87	895267384,82	4759981,99
7	1660496	172093,01	33,70	25,58	1886334582,94	5800343,02
6	1660496	139924,10	42,88	32,36	3053032981,40	5999835,64
5	1660496	108617,47	49,86	37,57	4127251033,01	5415158,94
4	1660496	78359,96	53,13	40,06	4687824275,05	4163522,83
3	1660496	49457,31	48,83	36,92	3959743583,73	2415156,03
2	1549496	21014,26	25,66	19,49	1020227782,33	539221,80
1	0	0	0	0	0	0
<b>JUMLAH</b>					<b>19911715367,75</b>	<b>33375378,12</b>

$$T_{RX} = 6,3 \sqrt{\frac{19911715367,75}{9810 \times 33375378,12}} = 1,55 \text{ detik}$$

$$3,5T_{RX} = 3,5 \times 1,55 = 5,44$$

$$T_a < 3,5T_{RX} = 0,77 < 5,44 \text{ (OK)}$$

Maka, boleh dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

**Tabel 6. 7 T-Rayleigh Arah Y**

Lantai	Berat (w) (Kg)	Gaya Gempa (F) (Kg)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta y^2$ (mm)	$W1 \cdot \Delta y^2$	$F1 \cdot \Delta y$
Atap	1173484	217170,54	2,37	5,63	6604347,82	515201,71
10	1660496	272663,38	3,35	11,24	18664671,78	914151,29
9	1660496	238544,12	9,98	99,68	165514339,43	2381593,36
8	1660496	204997,16	17,87	319,32	530225687,69	3663188,86
7	1660496	172093,01	25,58	654,39	1086604699,23	4402304,75
6	1660496	139924,10	32,36	1047,29	1739024051,25	4528208,33
5	1660496	108617,47	37,57	1411,28	2343428999,14	4080436,89
4	1660496	78359,96	40,06	1605,16	2665365341,09	3139450,66
3	1660496	49457,31	36,92	1362,77	2262878080,20	1825753,91
2	1549496	21014,26	19,49	379,90	588661015,81	409592,04
1	0	0	0	0	0	0
<b>JUMLAH</b>					<b>11406971233,45</b>	<b>25859881,81</b>

$$T_{RY} = 6,3 \sqrt{\frac{11406971233,45}{9810 \times 25859881,81}} = 1,33 \text{ detik}$$

$$3,5T_{RY} = 3,5 \times 1,33 = 4,68$$

$$T_a < 3,5T_{RY} = 0,77 < 4,68 \text{ (OK)}$$

Maka, boleh dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

- **Analisa Sistem Ganda**

Sebagai contoh perhitungan dilakukan perhitungan untuk COMB3 yang memiliki *base reaction* arah X dan arah Y yang didapat dari *output* program bantu struktur sebagai berikut:

$$\text{Arah X} = 1117352,10 \text{ Kg}$$

$$\text{Arah Y} = 1105352,10 \text{ Kg}$$

$$V = 1502841,33 \text{ Kg}$$

Sehingga perhitungan presentase beban yang diterima oleh dinding struktural dan SRPMK dapat dihitung sebagai berikut:

**Dinding Geser**

$$F_x = \frac{1117352,10}{1502841,33} \times 100 = 74,35\% \leq 75\% \quad \text{(OK)}$$

$$F_y = \frac{1105352,10}{1502841,33} \times 100 = 73,55\% \leq 75\% \quad (\text{OK})$$

### SRPMK

$$F_x = 100 - 74,35 = 25,65\% \geq 25\% \quad (\text{OK})$$

$$F_y = 100 - 73,55 = 26,45\% \geq 25\% \quad (\text{OK})$$

**Tabel 6. 8** Presentase *Base Shear* DS dan SRPMK

Kombinasi	Dinding Struktural $\leq 75\%$			SRPMK $\geq 25\%$		
	Fx	Fy	Kontrol	Fx	Fy	Kontrol
COMB1	50%	50%	OK	50%	50%	OK
COMB2	50%	50%	OK	50%	50%	OK
COMB3	74,35%	73,55%	OK	25,65%	26,45%	OK
COMB4	72,22%	71,39%	OK	27,78%	28,61%	OK
COMB5	74,35%	73,55%	OK	25,65%	26,45%	OK
COMB6	72,22%	71,39%	OK	27,78%	28,61%	OK
COMB7	74,02%	73,36%	OK	25,98%	26,64%	OK
COMB8	71,69%	71,09%	OK	28,31%	28,91%	OK
COMB9	74,02%	73,36%	OK	25,98%	26,64%	OK
COMB10	71,69%	71,09%	OK	28,31%	28,91%	OK
COMB11	72,93%	72,40%	OK	27,07%	27,60%	OK
COMB12	72,26%	71,64%	OK	27,74%	28,36%	OK
COMB13	72,94%	72,41%	OK	27,06%	27,59%	OK
COMB14	72,26%	71,64%	OK	27,74%	28,36%	OK
COMB15	72,53%	71,95%	OK	27,47%	28,05%	OK
COMB16	72,43%	71,88%	OK	27,57%	28,12%	OK
COMB17	72,53%	71,95%	OK	27,47%	28,05%	OK
COMB18	72,43%	71,88%	OK	27,57%	28,12%	OK

Perhitungan untuk COMB lainnya dilakukan dengan cara yang sama dengan perhitungan untuk COMB 3 dengan hasil perhitungan seperti yang tertulis pada Tabel 6.8. Berdasarkan perhitungan pada Tabel 6.8 yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa sistem rangka pemikul momen khusus telah mampu memikul paling sedikit  $25,65\% \geq 25\%$  gaya seismik desain dan dinding geser menerima gaya gempa maksimal  $74,35\% \leq 75\%$ . Sehingga konfigurasi struktur pada tugas akhir ini telah memenuhi persyaratan dalam peraturan SNI 1726-2019.

## 6.4 Perencanaan Balok Induk

Perencanaan balok induk dilakukan dengan cara memeriksa momen-momen yang terjadi pada setiap balok induk. Adapun momen pada balok induk didapatkan dari *output* program analisis struktur dan harus diambil satu balok induk dengan momen yang paling besar. Pada hasil pemeriksaan struktur yang telah direncanakan, diperoleh momen terbesar terdapat pada balok induk 558.

**Tabel 6. 9** Resume Momen Balok Induk

Momen Tumpuan (-) (Nmm)	697902565
Momen Tumpuan (+) (Nmm)	526039657
Momen Lapangan (+) (Nmm)	137103461,20
Torsi (Nmm)	4352013,25
Geser (N)	230702,76
Geser (1,2D + 1L) (N)	64604,3

### 6.4.1 Penulangan Lentur Balok Induk

- **Data perencanaan**

Bentang balok (L) = 6000 mm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 40 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa

Dimensi balok = 40/60 cm

Tebal selimut beton (s) = 40 mm

Tulangan utama = D25 mm

Tulangan sengkang =  $\emptyset$ 13 mm

Tinggi efektif balok induk:

$$d = h - s - (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. utama}}) - \emptyset_{\text{tul. sengkang}} = 600 - 40 - (\frac{1}{2} \cdot 25) - 13 = 534,5 \text{ mm}$$

$$d' = s + (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. utama}}) + \emptyset_{\text{tul. sengkang}} = 40 + (\frac{1}{2} \cdot 25) + 13 = 65,5 \text{ mm}$$

- **Syarat Batas Penulangan**

$$\beta = 0,85 - \left(\frac{f_c' - 30}{7}\right)(0,05) = 0,85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0,05) = 0,78$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,78}{400} \left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0,039$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,039 = 0,029$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 11,76$$

- **Daerah Tumpuan Momen Negatif**

$$M_u = 697902565 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{697902565}{0,9} = 775447294,44 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{775447294,44}{400 \cdot 534,5^2} = 6,79 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11,76} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,76 \cdot 6,79}{400}} \right) = 0,0191$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0191 < \rho_{\text{max}} = 0,029 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0191)$$

Luas tulangan tarik:

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0191 \cdot 400 \cdot 534,5 = 4086,18 \text{ mm}^2$$

Dipakai **9D25** ( $A_S = 4418 \text{ mm}^2$ )

Luas tulangan tarik pakai:

$$A_{S \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 9 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 = 4415,63 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2 \cdot t_s - 2 \cdot D_{\text{geser}} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 9 \cdot 25}{9 - 1} = 8,63 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1 spasi bersih tulangan yang sejajar pada satu lapisan horizontal tidak boleh kurang dari:

$$s > 25 \geq D_{\text{lentur}}$$

$$8,63 > 25 \geq 25 \quad (\text{TIDAK OK})$$

Maka tulangan disusun 2 lapis:

$$\text{Lapis 1} = 5D25$$

$$\text{Lapis 2} = 4D25$$

Kontrol lapis 1:

$$s = \frac{b - 2 \cdot t_s - 2 \cdot D_{\text{geser}} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 25}{5 - 1} = 42,25 \text{ mm}$$

$$s > 25 \geq D_{\text{lentur}}$$

$$42,25 > 25 \geq 28 \text{ (OK)}$$

Jarak vertikal:

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2019 Pasal 25.2.2 dijelaskan bahwa tulangan yang dipasang dua lapis atau lebih, tulangan atas harus tepat di atas tulangan bawah dengan spasi

bersih minimal 25 mm. Oleh sebab itu, direncanakan spasi vertikal antar tulangan  $s = 25$  mm.

Sehingga diperoleh tinggi efektif balok:

$$d' = \frac{6(ts + D_{geser} + 0,5D_{lentur}) + 2(ts + D_{geser} + D_{lentur} + 25 + 0,5D_{lentur})}{5 + 4}$$

$$d' = \frac{6(40 + 13 + 0,5 \cdot 25) + 2(40 + 13 + 25 + 25 + 0,5 \cdot 25)}{5 + 4}$$

$$d' = 69,33 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 600 - 69,33 = 530,67 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan tumpuan momen negatif:

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{4415,63 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 129,87$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 4415,63 \cdot 400 \left( 530,67 - \frac{129,87}{2} \right) = 822597387,41 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 822597387,41 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 775447294,44 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

#### • Daerah Tumpuan Momen Positif

$$M_u = 526039657 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{526039657}{0,9} = 584488507,78 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{584488507,78}{400 \cdot 534,5^2} = 5,11 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11,76} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,76 \cdot 5,11}{400}} \right) = 0,0139$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0139 < \rho_{\text{max}} = 0,029 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0139)$$

Luas tulangan tarik:

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0139 \cdot 400 \cdot 534,5 = 2977,66 \text{ mm}^2$$

Dipakai **7D25** ( $A_s = 3436 \text{ mm}^2$ )

Luas tulangan tarik pakai:

$$A_s \text{ pakai} = n \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 7 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 = 3434,38 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2 \cdot ts - 2 \cdot D_{geser} - n \cdot D_{lentur}}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 7 \cdot 25}{7 - 1} = 19,83 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1 spasi bersih tulangan yang sejajar pada satu lapisan horizontal tidak boleh kurang dari:

$$s > 25 \geq D_{\text{lentur}}$$

$$19,83 < 25 \geq 25 \quad (\text{TIDAK OK})$$

Maka tulangan disusun 2 lapis:

$$\text{Lapis 1} = 5D25$$

$$\text{Lapis 2} = 2D25$$

Kontrol lapis 1:

$$s = \frac{b - 2 \cdot ts - 2 \cdot D_{geser} - n \cdot D_{lentur}}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 25}{5 - 1} = 42,25 \text{ mm}$$

$$s > 25 \geq D_{lentur}$$

$$42,25 > 25 \geq 25 \quad (\text{OK})$$

Jarak vertikal:

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2019 Pasal 25.2.2 dijelaskan bahwa tulangan yang dipasang dua lapis atau lebih, tulangan atas harus tepat di atas tulangan bawah dengan spasi bersih minimal 25 mm. Oleh sebab itu, direncanakan spasi vertikal antar tulangan  $s = 25$  mm.

Sehingga diperoleh tinggi efektif balok:

$$d' = \frac{6(ts + D_{geser} + 0,5D_{lentur}) + 2(ts + D_{geser} + D_{lentur} + 25 + 0,5D_{lentur})}{5 + 2}$$

$$d' = \frac{6(40 + 13 + 0,5 \cdot 25) + 2(40 + 13 + 25 + 25 + 0,5 \cdot 25)}{5 + 2}$$

$$d' = 89,14 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 600 - 89,14 = 510,86 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan tumpuan momen positif:

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{3434,38 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 101,01$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 3434,38 \cdot 400 \left( 510,86 - \frac{101,01}{2} \right) = 632408049,17 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 632408049,17 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 584488507,78 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

- **Daerah Lapangan Momen Positif**

$$M_u = 137103461,20 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{137103461,20}{0,9} = 152337179,11 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{152337179,11}{400 \cdot 534,5^2} = 1,33 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11,76} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,76 \cdot 1,33}{400}} \right) = 0,0034$$



$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0034 < \rho_{\text{min}} = 0,0035 \text{ (dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,0035)$$

### Tulangan perlu

Luas tulangan tarik:

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 400 \cdot 534,5 = 748,30 \text{ mm}^2$$

Dipakai **3D25** ( $A_S = 1473 \text{ mm}^2$ )

Luas tulangan tekan:

$$A_{S' \text{ perlu}} = 0,5 \cdot A_{S \text{ perlu}} = 0,5 \cdot 748,30 = 374,15 \text{ mm}^2$$

Dipakai **2D25** ( $A_S = 982 \text{ mm}^2$ )

### Tulangan pakai

Luas tulangan tarik pakai:

$$A_{S \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 3 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 = 1471,88 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tekan pakai:

$$A_{S' \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 = 981,25 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2 \cdot t_s - 2 \cdot D_{\text{geser}} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 25}{2 - 1} = 244 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1 spasi bersih tulangan yang sejajar pada satu lapisan horizontal tidak boleh kurang dari:

$$s > 25 \geq D_{\text{lentur}}$$

$$244 > 25 \geq 25 \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan disusun 1 lapis

Kontrol tulangan lapangan momen positif:

$$a = \frac{A_{S \text{ pakai}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{981,25 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 28,86$$

$$M_n = A_{S \text{ pakai}} \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 981,25 \cdot 400 \left( 534,5 - \frac{28,86}{2} \right) = 204127417,28 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 204127417,28 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 152337179,11 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

- **Syarat Pendetailan**

Syarat pendetailan peluangan lentur balok induk disesuaikan dengan peraturan SNI 2847-2019 sebagai berikut:

#### **Pasal 18.6.1**

Gaya Tekan Aksial

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

$$0 < \frac{(400 \cdot 600) \cdot 40}{10}$$

$$0 < 960000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

### Bentang Bersih

$$\ell_n \geq 4 \times \text{tinggi efektif}$$

$$6000 - (2 \cdot (0,5 \cdot 800)) \geq 4 \times 534,5$$

$$5200 \text{ mm} \geq 2138 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### Perbandingan Ukuran Balok Induk

$$b_w \geq 0,3h$$

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

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

### Jarak Tiap Sisi Komponen Struktur

Lebar komponen struktur  $c_2 = 800 \text{ mm}$

$$0,75 \times c_2 = 0,75 \times 800 = 600 \text{ mm}$$

Dipakai yang terkecil, yaitu 600 mm.

### **Pasal 18.6.3.1**

Luas tulangan minimal  $A_{s \min}$  tidak boleh kurang dari:

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{0,25 \cdot \sqrt{40}}{400} \cdot 400 \cdot 534,5 = 845,12 \text{ mm}^2$$

Tidak boleh kurang dari:

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{1,4}{400} \cdot 400 \cdot 534,5 = 748,30 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan lentur terkecil yang dipakai yaitu  $A_s = 981,25 \text{ mm}^2$ , maka persyaratan di atas terpenuhi.

### Syarat Batas Rasio Penulangan

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

$$0,0035 \leq 0,0191 \leq 0,029 \quad (\text{OK})$$

$$0,0035 \leq 0,0139 \leq 0,029 \quad (\text{OK})$$

$$0,0035 \leq 0,0035 \leq 0,029 \quad (\text{OK})$$

### Tulangan Menerus

Harus disediakan sedikitnya 2 tulangan menerus yang ditempatkan pada sisi atas dan sisi bawah. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka persyaratan ini terpenuhi mengingat jumlah tulangan pada daerah lapangan dan tumpuan sudah lebih dari atau sama dengan persyaratan di atas.

### Pasal 18.6.3.2

Momen positif pada muka join  $\geq \frac{1}{2}$  . momen negatif

$$584488507,78 \geq \frac{1}{2} \cdot -775447294,44$$

$$584488507,78 \text{ Nmm} \geq -387723647,20 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Momen positif atau negatif  $\geq \frac{1}{4}$  . momen maksimum pada join

Pada syarat ini, diambil momen terkecil pada tengah bentang

$$152337179,11 \geq \frac{1}{4} \cdot -775447294,44$$

$$152337179,11 \text{ Nmm} \geq -193861823,6 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan Longitudinal Balok

Apabila tulangan longitudinal balok melewati join balok kolom, maka dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok harus  $> 20 \times$  diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

Tinggi efektif balok induk  $> 20 \times 25 \text{ mm}$

$$534,5 \text{ mm} > 500 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### 6.4.2 Penulangan Geser Balok Induk

#### • Probable Moment Capacities ( $M_{pr}$ )

Kapasitas momen-momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kanan:

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 3434,38 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 126,26 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr+} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 3434,38 \cdot 400 \cdot \left( 534,5 - \frac{126,26}{2} \right) \\ &= 809427420,58 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 4415,63 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 162,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 4415,63 \cdot 400 \cdot \left( 534,5 - \frac{162,34}{2} \right) \\ &= 1000868574,08 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{L_n} = \frac{809427420,6 + 1000868574,08}{5200} = 348134 \text{ N}$$

Kapasitas momen-momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kiri:

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 4415,63 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 162,34 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}
&= 1,25 \cdot 4415,63 \cdot 400 \cdot \left(534,5 - \frac{162,34}{2}\right) \\
&= 1000868574,08 \text{ Nmm} \\
a_{pr-} &= \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 3434,38 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 126,26 \text{ mm} \\
M_{pr-} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr+}}{2}\right) \\
&= 1,25 \cdot 3434,38 \cdot 400 \cdot \left(534,5 - \frac{126,26}{2}\right) \\
&= 809427420,58 \text{ Nmm} \\
V_{sway} &= \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{Ln} = \frac{1000868574,08 + 809427420,58}{5200} = 348134 \text{ N}
\end{aligned}$$

- **Gaya Geser Sesuai SNI 2847-2019**

Rekasi geser pada balok akibat gaya gravitasi dengan kombinasi pembebanan 1,2D + 1L diperoleh dari *output* program bantu struktur yaitu sebesar 64604,3 N.

$$V_u = 64604,3 \text{ N} = 6460,43 \text{ Kg}$$

$$q_u = \frac{V_u \cdot 2}{ln} = \frac{6460,43 \cdot 2}{5,2} = 2484,78 \text{ Kg/m}$$

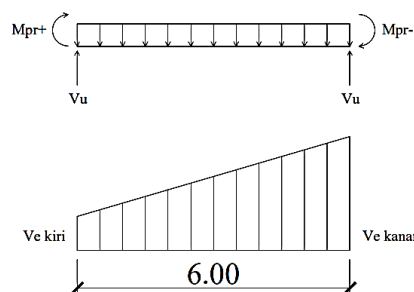
**Struktur bergoyang ke kanan:**

Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{sway} - V_u = 348134 - 64604,3 = 283529,55 \text{ N} = 28352,95 \text{ Kg}$$

Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$V_{e \text{ kanan}} = V_{sway} + V_u = 348134 + 63604,3 = 411738,15 \text{ N} = 41173,81 \text{ Kg}$$



**Gambar 6. 5** Diagram Geser Struktur Bergoyang ke Kanan

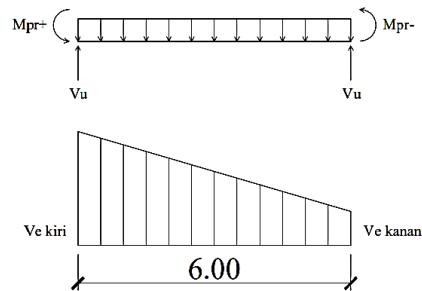
**Struktur bergoyang ke kiri:**

Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{sway} + V_u = 348134 + 63604,3 = 411738,15 \text{ N} = 41173,81 \text{ Kg}$$

Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$V_{e \text{ kanan}} = V_{sway} - V_u = 348134 - 64604,3 = 283529,55 \text{ N} = 28352,95 \text{ Kg}$$



**Gambar 6. 6** Diagram Geser Struktur Bergoyang ke Kiri

- **Syarat Pendetailan**

Syarat pendetailan tulangan geser balok induk mengacu pada peraturan SNI 2847-2019. Adapun syarat-syarat pendetailan tulangan geser antara lain adalah sebagai berikut:

- Cek Syarat Geser

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa ( $V_{sway}$ ) mewakili setengah kekuatan geser perlu maksimum ( $V_e$ ) dalam bentang tersebut.

$$V_{sway} \geq \frac{1}{2} \cdot V_e$$

$$348134 \geq \frac{1}{2} \cdot 411738,15$$

$$348134 \text{ N} \geq 205869,08 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.6.5.2 juga disebutkan bahwa gaya tekan aksial terfaktor ( $P_u$ ) termasuk pengaruh gempa kurang dari nilai berikut:

$$P_u < \frac{A_g \cdot f'_c}{20}$$

$$0 < \frac{(400 \cdot 600) \cdot 40}{20}$$

$$0 < 480000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

- Tulangan geser pada daerah sendi plastis (tumpuan)

Oleh karena kedua syarat dari Pasal 18.6.5.2 SNI 2847-2019 terpenuhi, maka kekuatan geser balok didesain dengan mengasumsikan  $V_c = 0$ . Maka tulangan geser di daerah sendu plastis dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{S \max} &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 534,5 \\ &= 901459,95 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{411738,15}{0,75} - 0 = 548984,20 \text{ N}$$

$$V_s \leq V_{S \max} = 548984,20 \text{ N} \leq 901459,95 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Direncanakan spasi tulangan geser,  $s = 100$  mm, maka luas tulangan geser perlu adalah:

$$A_{v \text{ perlu}} = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} = \frac{548984,20 \cdot 100}{400 \cdot 534,5} = 256,77 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D13:

$$A_{v \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 = 265,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ pakai}} \geq A_{v \text{ perlu}} = 265,33 \text{ mm}^2 \geq 256,77 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- Cek syarat geser sesuai dengan SNI 2847-2019 Pasal 18.6.4.1 dan Pasal 18.6.4.4

Kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi balok diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak  $\leq 50$  mm dari perletakan. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari ketiga persyaratan di bawah:

1.  $d/4 = 534,5/4 = 133,63$  mm
2.  $6 \cdot D_{\text{longitudinal}} = 6 \cdot 25 = 150$  mm
3. 150 mm

Cek persyaratan:

$$S_{\text{pakai}} < 133,63 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 133,63 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan sengkang **2Ø13 – 100** mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

- Tulangan geser pada daerah ujung sendi plastis (lapangan)

Jarak ujung sendi plastis dari muka kolom yaitu sebesar  $2h = 2 \cdot 600 = 1200$  mm.

Pada daerah ini, nilai geser beton ( $V_c$ ) dihitung berdasarkan perumusan di bawah:

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = 0,17 \cdot \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 534,5 = 229872,29 \text{ N}$$

Gaya geser yang terjadi di daerah ujung sendi plastis dihitung berdasarkan perumusan berikut:

$$V_u = V_e - (q_u \cdot 2h) = 411738,15 - (24847,80 \cdot (2 \cdot 0,6)) = 381920,79 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{381920,79}{0,75} - 229872,29 = 279355,43 \text{ N}$$

Direncanakan spasi tulangan geser ( $s$ ) = 150 mm, sehingga luas tulangan geser perlu yaitu:

$$A_{v \text{ perlu}} = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} = \frac{279355,43 \cdot 150}{400 \cdot 534,5} = 195,99 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D13:

$$A_{v \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 = 265,33 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu} = 265,33 \text{ mm}^2 \geq 195,99 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- Cek syarat geser sesuai dengan SNI 2847-2019 Pasal 18.6.4.6

Apabila sengkang pengekang tidak diperlukan, maka sengkang harus dipasang sepanjang bentang balok dengan jarak spasi yang tidak boleh melebihi  $(d/2)$ .

Cek persyaratan:

$$S_{\text{pakai}} < (d/2)$$

$$150 \text{ mm} < (534,5/2)$$

$$150 \text{ mm} < 267,25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan sengkang **2Ø13 – 150 mm** pada daerah lapangan balok.

### 6.4.3 Penulangan Torsi Balok Induk

- **Periksa Kecukupan Penampang**

Sebagaimana diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 22.7.7.1, dimensi penampang harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan berikut:

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

Nilai torsi maksimum dan geser maksimum didapat dari *output* hasil analisa struktur program bantu komputer sebagai berikut:

$$T_u = 4352013,25 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 230702,76 \text{ N}$$

Dimana:

$$V_c = 0,17\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = 0,17\sqrt{40} \cdot 400 \cdot 534,5 = 229872,29 \text{ N}$$

$$b_h = b - 2 \cdot t_s - D_{\text{geser}} = 400 - (2 \cdot 40) - 13 = 307 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot t_s - D_{\text{geser}} = 600 - (2 \cdot 40) - 13 = 507 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = b_h \cdot h_h = 307 \cdot 507 = 155649 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2(b_h + h_h) = 2(307 + 507) = 1628 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$\sqrt{\left(\frac{230702,76}{400 \cdot 534,5}\right)^2 + \left(\frac{4352013,25 \cdot 1628}{1,7 \cdot 155649^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{229872,29}{400 \cdot 534,5} + 0,66\sqrt{40}\right)$$

$$1,08 \text{ MPa} \leq 3,94 \text{ MPa}$$

Maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

- **Periksa Persyaratan Pengaruh Puntir**

Dalam peraturan SNI 2847-2019 Tabel 22.7.4.1(a) disebutkan bahwa tulangan torsi dapat diabaikan apabila persyaratan berikut terpenuhi:

$$T_u < \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana:

$$A_{cp} = b \cdot h = 400 \cdot 600 = 240000 \text{ mm}^2$$

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

Sehingga,

$$4352013,25 < 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \left( \frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$4352013,25 \text{ Nmm} < 11338662,80 \text{ Nmm}$$

Maka tulangan torsi diabaikan dan digunakan tulangan torsi minimum.

- **Kebutuhan Tulangan Torsi Geser**

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6, kebutuhan tulangan torsi geser dihitung sesuai dengan perumusan berikut:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cot \theta$$

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$\phi \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cot \theta \geq T_u$$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{T_u}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta}$$

Dengan nilai  $A_o$  berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6.1.1, yaitu boleh diambil sama dengan  $0,86A_{oh}$  dan nilai  $\theta$  berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6.1.2, yaitu boleh diambil sama dengan  $45^\circ$ .

$$A_o = 0,85 A_{oh} = 0,85 \cdot 155649 = 132301,65 \text{ mm}^2$$

Maka kebutuhan torsi dapat dihitung berdasarkan:

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{11338662,80}{0,75 \cdot 2 \cdot 132301,65 \cdot 400 \cdot \cot 45} = 0,23 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal ( $A_{l \min}$ ) dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 9.6.4.3 sebagai berikut:

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \cdot b_w}{f_{yt}}$$



$$0,23 \geq \frac{0,175 \cdot 400}{400}$$

$$0,23 \geq 0,175$$

Maka diambil nilai  $\frac{A_t}{s} = 0,23 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= 0,42 \sqrt{f'c'} \cdot \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= 0,42 \sqrt{40} \cdot \frac{240000}{400} - (0,23) \cdot 1628 \cdot \frac{400}{400} \\ &= 1219,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai luas tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{1219,35}{4} = 304,84 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya:

- Sisi atas : disalurkan ke tulangan tarik balok
- Sisi bawah : disalurkan ke tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 304,84 mm<sup>2</sup>.

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \cdot \frac{Al}{4} = 2 \cdot \frac{1219,35}{4} = 609,67 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 4D16 mm pada tulangan puntir pada dua sisi yaitu sisi kanan dan sisi kiri:

$$A_{s \text{ pasang}} = 4 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 803,84 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}} = 803,84 \text{ mm}^2 \geq 609,67 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

#### • Tulangan Geser Tumpuan Setelah Torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{f_y \cdot d} = \frac{548984,20}{400 \cdot 534,5} = 2,57 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = 2,57 + 2(0,23) = 3,03 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D13 – 100 mm.

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot 13^2}{100} = 2,65 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s} = 2,65 \leq 3,03 \quad (\text{TIDAK MEMENUHI})$$

Tulangan sengkang terpasang belum mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi, maka dicoba menggunakan sengkang 4 kaki D13 – 100 mm.

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{4 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot 13^2}{100} = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s} = 5,31 \geq 3,03 \quad (\text{OK})$$

- **Tulangan Geser Lapangan Setelah Torsi**

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{279355,43}{400 \cdot 534,5} = 1,31 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \left( \frac{At}{s} \right) = 1,31 + 2(0,23) = 1,77 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D13 – 150 mm.

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot 13^2}{2} = 2,65 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$2,65 \geq 1,77 \quad (\text{OK})$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi mampu menahan gaya geser dan gaya torsi.

- **Penambahan Luas Tulangan Perlu**

- Tumpuan Atas (9D25)

$$A_{S \text{ perlu}} = 4086,18 + 304,84 = 4391,02 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 4391,02 \text{ mm}^2 \leq 4415,63 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- Tumpuan Bawah (7D25)

$$A_{S \text{ perlu}} = 2977,66 + 304,84 = 3282,50 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 3282,50 \text{ mm}^2 \leq 3434,38 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- Lapangan Atas (2D25)

$$A_{S \text{ perlu}} = 374,15 + 304,84 = 678,99 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 678,99 \text{ mm}^2 \leq 981,25 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- Lapangan Bawah (3D25)

$$A_{S \text{ perlu}} = 748,30 + 304,84 = 1053,14 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 1053,14 \text{ mm}^2 \leq 1471,88 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Panjang Penyaluran**

- Panjang penyaluran tulangan tarik

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.1, Panjang penyaluran dalam kondisi tarik harus diambil nilai yang terbesar dari beberapa persyaratan berikut:

1.  $l_d = 300 \text{ mm}$

2.  $l_d = \left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_{ci}}} \right) db \rightarrow \text{untuk } D \geq 22 \text{ mm}$

$$l_d = \left( \frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_d = 930,08 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran yang digunakan adalah 1000 mm.

- Panjang penyaluran tulangan tekan

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 25.4.9.1, Panjang penyaluran dalam kondisi tekan harus diambil nilai yang terbesar dari beberapa persyaratan berikut:

1.  $l_{dc} = 200 \text{ mm}$

2.  $l_{dc} = \left( \frac{0,24 \cdot f_y \cdot \Psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_{ci}}} \right) db \rightarrow \text{untuk } D \geq 22 \text{ mm}$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \cdot 400 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_{dc} = 379,47 \text{ mm}$$

3.  $l_{dc} = 0,043 \cdot f_y \cdot \Psi_r \cdot db = 0,043 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 25 = 430 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$

Maka panjang penyaluran yang digunakan adalah 500 mm.

- Panjang penyaluran kait tulangan lentur

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.3.1, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan suatu kait harus diambil nilai yang terbesar dari persyaratan berikut:

1.  $l_{dh} = 8 \cdot db = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$

2.  $l_{dh} = 150 \text{ mm}$

3.  $l_{dh} = \left( \frac{0,24 \cdot f_y \cdot \Psi_e \cdot \Psi_c \cdot \Psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_{ci}}} \right) db = \left( \frac{0,24 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{40}} \right) 25 = 379,47 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$

Maka Panjang penyaluran kait yang digunakan adalah sebesar 500 mm.

- **Sambungan Lewatan**

- Sambungan lewatan tulangan tarik

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Tabel 25.5.2.1, Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tarik ditentukan berdasarkan perumusan berikut:

$$l_{st} = 1,3 \cdot \left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}} \right) db = 1,3 \cdot \left( \frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}} \right) 25 = 1209,11 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$$

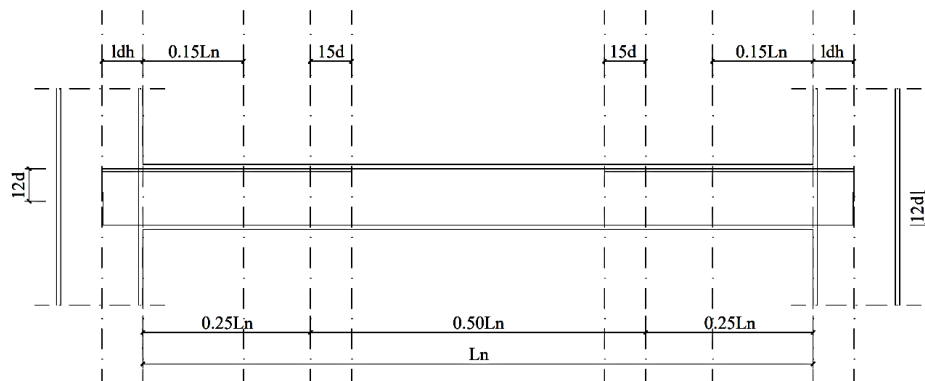
- Sambungan lewatan tulangan tekan

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Tabel 25.5.5.1, Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tekan ditentukan berdasarkan perumusan berikut:

1.  $l_{sc} = 300 \text{ mm}$

2.  $l_{sc} = 0,071 \cdot f_y \cdot db = 0,071 \cdot 400 \cdot 25 = 710 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$

#### 6.4.4 Pemutusan Tulangan Balok Induk



**Gambar 6. 7** Pemutusan Tulangan Balok Induk

$$l_{dh} = 500 \text{ mm}$$

$$12d = 12 \cdot 25 = 300 \text{ mm}$$

$$15d = 15 \cdot 25 = 375 \text{ mm}$$

$$L_n = 6000 - (400 + 400) = 5200 \text{ mm}$$

$$0,25L_n = 0,25 \cdot 5200 = 1300 \text{ mm}$$

$$0,50L_n = 0,50 \cdot 5200 = 2600 \text{ mm}$$

$$0,15L_n = 0,15 \cdot 5200 = 780 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tumpuan dari penjangkaran:

$$l_{dh} + 0,25L_n + 15d = 500 + 1300 + 375 = 2175 \text{ mm}$$

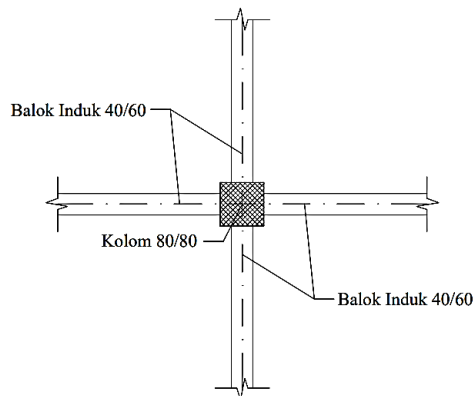
Panjang tulangan tarik lapangan:

$$5200 - (2 \cdot 780) = 3640 \text{ mm}$$

## 6.5 Perencanaan Kolom

Kolom yang direncanakan yaitu kolom K1. Perencanaan kolom pada struktur gedung Hotel Delmare ini akan dibahas mengenai desain penulangan kolom, kontrol kekuatan kolom menggunakan program bantu struktur serta pendetailan kolom sesuai dengan peraturan. Adapun data perencanaan kolom untuk perhitungan kolom K1 di lantai dasar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.7.

Mutu beton	= 40 MPa
Mutu tulangan	= 400 MPa
Panjang (L)	= 4000 mm
Tinggi (h)	= 800 mm
Lebar (b)	= 800 mm
Tulangan lentur	= D25
Tulangan geser	= D13
Tebal selimut	= 40 mm



**Gambar 6. 8** Kolom K1

Perhitungan kolom dilakukan dengan menggunakan nilai gaya dalam yang didapat dari hasil *output* perhitungan program bantu struktur dapat dilihat pada Tabel 6.10 berikut.

**Tabel 6. 10** Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom

<b>Gaya Dalam Akibat Gaya Gempa</b>	<b>Nilai</b>
M1ns Arah X (M3) (Kgm)	7642,82
M2ns Arah X (M3) (Kgm)	93711,31
M1ns Arah Y (M2) (Kgm)	11826,12
M2ns Arah Y (M2) (Kgm)	84209,98
Aksial (Kg)	437448,15
Torsi (Kgm)	2756,30
Geser (Kg)	25229,16
$\Delta_0$ (mm)	4,80

### 6.5.1 Desain Tulangan Memanjang Kolom

- **Menentukan Kolom Sway dan Non Sway**

Sebagaimana disebutkan dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 6.6.4.3, kolom dan tingkat pada struktur boleh dianggap tidak bergoyang apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta_0}{V_{us} \cdot L_c} = \frac{437448,15 \cdot 4,80}{25229,16 \cdot 4000} = 0,21 \leq 0,05 \text{ (Maka kolom termasuk kolom non sway).}$$

- **Kontrol Kelangsingan Kolom**

Kolom 800 × 800 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{40} \\ &= 29725,41 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,7 \cdot (1/12) \cdot b \cdot h^3 \\ &= 0,7 \cdot (1/12) \cdot 800 \cdot 800^3 \\ &= 2,38 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c \cdot I_g &= 29725,41 \times 2,38 \times 10^{10} \\ &= 7,10 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Balok Induk 400 × 600 mm<sup>2</sup> (Arah X)

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{40} \\ &= 29725,41 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,35 \cdot (1/12) \cdot b \cdot h^3 \\ &= 0,35 \cdot (1/12) \cdot 400 \cdot 600^3 \\ &= 2,52 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c \cdot I_g &= 29725,41 \times 2,52 \times 10^9 \\ &= 7,49 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Balok Induk 400 × 600 mm<sup>2</sup> (Arah Y)

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{40} \\ &= 29725,41 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,35 \cdot (1/12) \cdot b \cdot h^3 \\ &= 0,35 \cdot (1/12) \cdot 400 \cdot 600^3 \end{aligned}$$

$$= 2,52 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E_c \cdot I_g = 29725,41 \times 2,52 \times 10^9$$

$$= 7,49 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan faktor panjang tekuk kolom (k) menggunakan persamaan berikut:

Kekakuan Kolom Atas

$$\Psi_A = \frac{\frac{E_c \cdot I_{kolom}}{l_{bawah}} + \frac{E_c \cdot I_{kolom}}{l_{atas}}}{\frac{E_c \cdot I_{balok X}}{l_{kiri}} + \frac{E_c \cdot I_{balok X}}{l_{kanan}} + \frac{E_c \cdot I_{balok Y}}{l_{kiri}} + \frac{E_c \cdot I_{balok Y}}{l_{kanan}}}$$

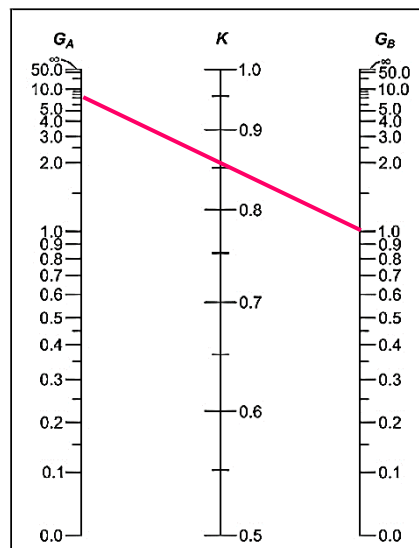
$$\Psi_A = \frac{\frac{7,10 \times 10^{14}}{4000} + \frac{7,10 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{7,49 \times 10^{13}}{7000} + \frac{7,49 \times 10^{13}}{7000} + \frac{7,49 \times 10^{13}}{6000} + \frac{7,49 \times 10^{13}}{6000}}$$

$$\Psi_A = 7,66$$

Kekakuan Kolom Bawah

$$\Psi_B = 1,00 \text{ karena terjepit penuh}$$

Selanjutnya menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k) menggunakan nomogram faktor kekakuan kolom untuk portal tidak bergoyang.



**Gambar 6. 9** Nomogram Faktor Kekakuan Kolom untuk Portal Tidak Bergoyang

Dari nomogram di atas, diperoleh nilai k = 0,86

Jari-jari Inersia (r)

Sebagaimana disebutkan dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 6.2.5.2, radius girasi (r) diijinkan untuk dihitung dengan menggunakan perumusan berikut:

$$r = 0,3 b = 0,3 \cdot 0,8 = 0,24 \text{ m}$$

### Kontrol Kelangsingan

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 6.2.5, pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

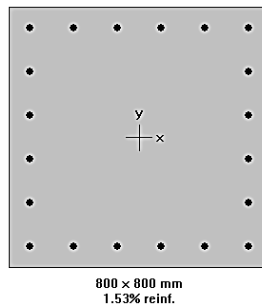
$$\frac{0,86 \cdot 4}{0,24} \leq 34 - 12 \left( \frac{7642,82}{93711,31} \right) \leq 40$$

$$14,33 \leq 33,02 \leq 40 \quad (\text{OK})$$

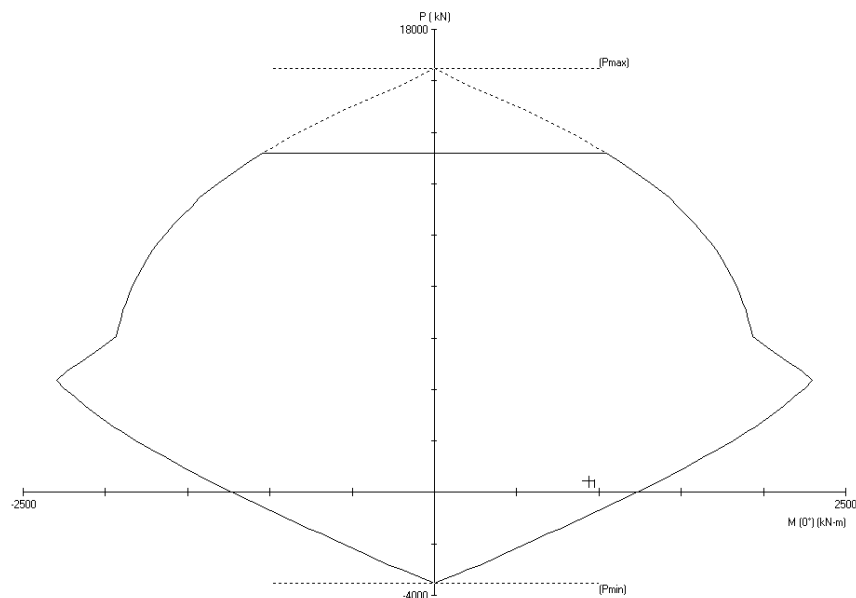
(Maka kelangsingan kolom dapat diabaikan)

### • **Desain Tulangan Longitudinal**

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  dan tidak lebih dari  $0,06A_g$ . Guna mendapatkan konfigurasi tulangan, maka digunakan program bantu struktur untuk mendesain tulangan kolom.

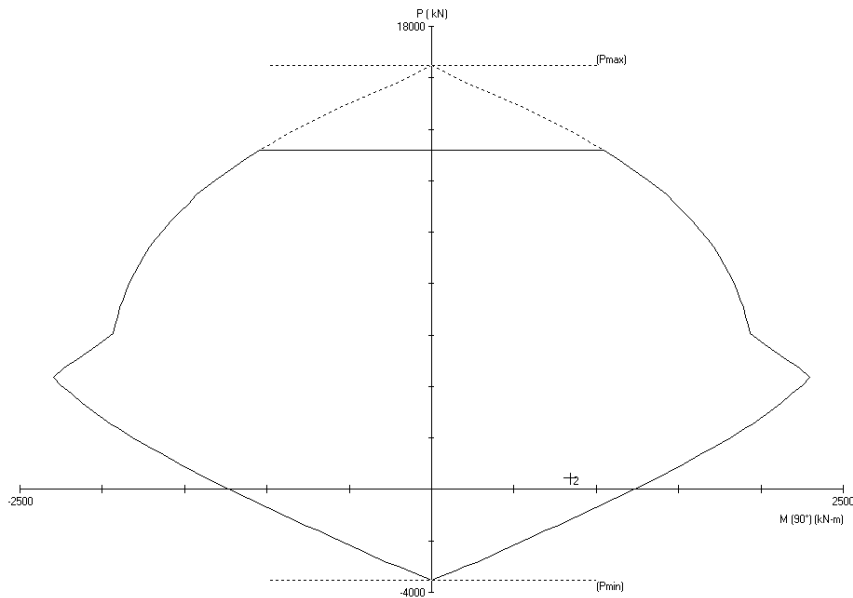


**Gambar 6. 10** Konfigurasi Penulangan Kolom



**Gambar 6. 11** Diagram Interaksi Gaya Aksial dengan Momen Arah X





**Gambar 6. 12** Diagram Interaksi Gaya Aksial dengan Momen Arah Y

Berdasarkan hasil desain menggunakan program bantu komputer, berdasarkan gaya dalam dengan dimensi kolom sebesar  $800 \times 800$  mm diperoleh konfigurasi penulangan 20D25. Berdasarkan konfigurasi tersebut, maka diperoleh rasio tulangan  $\rho = 1,53\% = 0,0153$  sehingga nilai  $0,01 < \rho < 0,06 = 0,01 < 0,0153 < 0,06$  terpenuhi.

### 6.5.2 Perhitungan Kuat Tekan Maksimal Rencana Kolom

Sebagaimana tertulis dalam SNI 2847-2019 Pasal 22.4.2.2, untuk komponen nonprategang dan komponen komposit baja-beton, nilai  $P_n$  max dihitung berdasarkan perumusan berikut:

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

$$\phi P_n \max = 0,75 \cdot 0,85 \cdot ((0,85 \cdot 40 \cdot (640000 - 9812,50)) + (400 \cdot 9812,50))$$

$$\phi P_n \max = 16161501,56 \text{ N}$$

$$\phi P_n \max > P_u = 16161501,56 \text{ N} > 4374481,50 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

### 6.5.3 Syarat Pendetailan

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7.2, kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan berikut:

- Dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri dan tidak kurang dari 300 mm.

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

$$800 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegal lurus nya tidak kurang dari 0,4.

$$\frac{h}{b} \geq 0,4$$

$$\frac{800}{800} \geq 0,4$$

$$1 \geq 0,4 \quad (\text{OK})$$

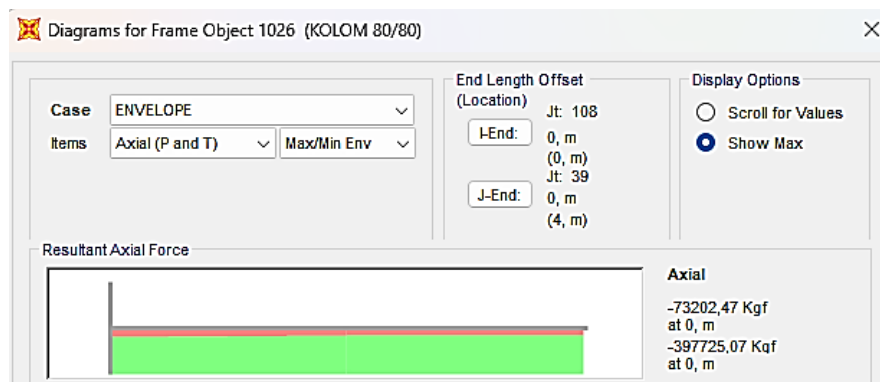
### 6.5.4 Pendetailan *Strong Column Weak Beam*

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan di bawah:

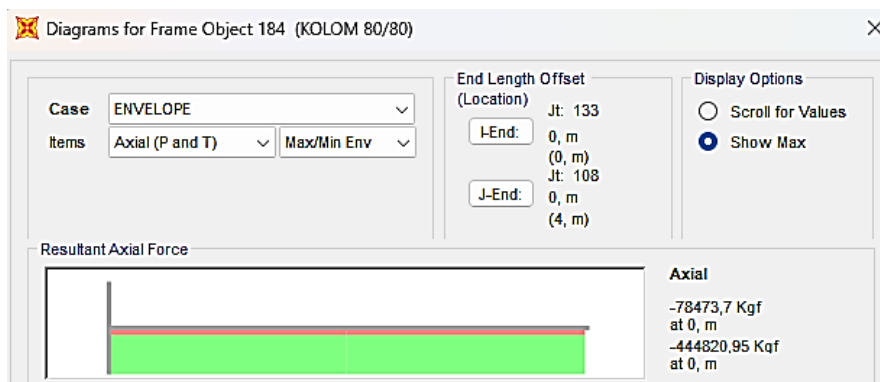
$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

Dimana nilai  $M_{nc}$  diperoleh dari diagram interaksi dengan menyesuaikan gaya aksial terfaktor.

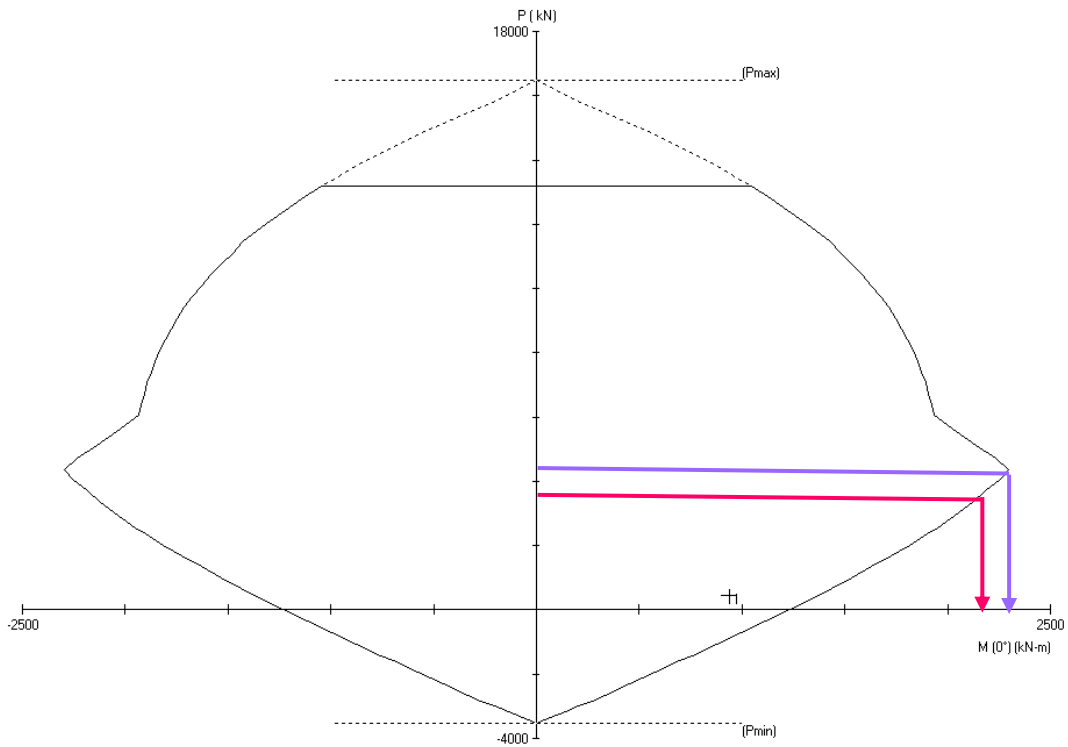
Sedangkan nilai gaya aksial terfaktor diperoleh dari *output* program bantu struktur.



**Gambar 6. 13** Gaya Aksial pada Lantai Atas Kolom



**Gambar 6. 14** Gaya Aksial pada Lantai Bawah Kolom



**Gambar 6. 15** Diagram Interaksi Gaya Aksial dengan Momen Arah X

Berdasarkan diagram interaksi arah X di atas, diperoleh nilai  $M_{nc}$  sebagai berikut:

**Tabel 6. 11** *Factored Loads dan Moment with Corresponding Capacities*

No.	$P_u$ (kN)	$\phi M_{nx}$ (kNm)
1.	3977,25	2178
2.	4448,20	2325

$$M_{nc \text{ atas}} = 2178/0,65 = 3350,77 \text{ kNm}$$

$$M_{nc \text{ bawah}} = 2325/0,65 = 3576,92 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nc} = M_{nc \text{ atas}} + M_{nc \text{ bawah}}$$

$$= 3350,77 + 3576,92$$

$$= 6927,69 \text{ kNm}$$

$M_{nb}$  adalah momen balok yang berada pada sumbu lemah kolom. Tulangan lentur pada balok yang berada pada sumbu lemah kolom yaitu sebagai berikut:

$$\text{Tulangan atas (9D25) : } A_s = 4415,63 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah (7D25) : } A_s = 3434,38 \text{ mm}^2$$

Dalam perhitungan  $M_{nb}$  harus dihitung pula luas tulangan pelat selebar lebar efektif pelat karena pada kolom terdapat pelat dan balok yang menyatu. Dimana pusat berat tulangan balok dihitung menggunakan perumusan berikut:

$$d' = \frac{5(ts + D_{geser} + 0,5D) + 4(ts + D_{geser} + D + 25 + 0,5D)}{5 + 4}$$

$$= \frac{5(40 + 13 + 0,5 \cdot 25) + 4(40 + 13 + 25 + 25 + 0,5 \cdot 25)}{5 + 4}$$

$$= 87,72 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan pada balok dan pelat atas:

$$d_1 = d' - s_{\text{pelat}} - 0,5 D_{\text{pelat}}$$

$$= 87,72 - 20 - (0,5 \cdot 12)$$

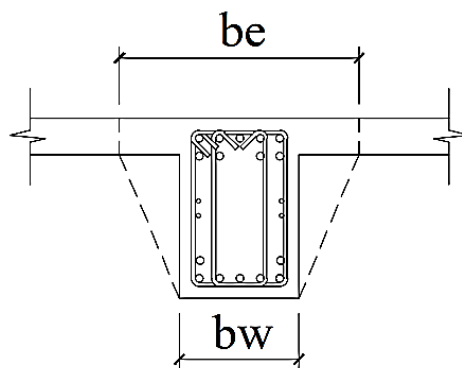
$$= 61,72 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan pada balok dan pelat bawah:

$$d_2 = t_{\text{pelat}} - d_1 - s_{\text{pelat}} - 0,5 D_{\text{pelat}}$$

$$= 120 - 61,72 - 20 - (0,5 \cdot 12)$$

$$= 32,28 \text{ mm}$$



**Gambar 6. 16** Lebar Efektif Balok T

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 6.3.2.1, untuk lebar efektif balok T diambil nilai terkecil dari persyaratan berikut:

- $b_w + 8h = 400 + (8 \cdot 120) = 1360 \text{ mm}$
- $b_w + (S_w/2) = 400 + (6200/2) = 3500 \text{ mm}$
- $b_w + (\ell_n/2) = 400 + (5200/2) = 3000 \text{ mm}$

Diambil nilai  $b_e = 1360 \text{ mm}$ .

Luas tulangan atas:

$$A_s \text{ atas} = A_s \text{ balok} + \left( \frac{b_e}{\text{jarak tulangan pelat}} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right)$$

$$= 4415,63 + \left( \frac{1360}{200} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \right)$$

$$= 5184,30 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan bawah:

$$A_s \text{ bawah} = 3434,38 \text{ mm}^2$$

Tinggi efektif balok T:

$$d \text{ atas} = d - \left[ \left( \frac{A_{s_{pelat}}}{A_{s_{atas}}} \cdot d1 \right) + \left( \frac{A_{s_{pelat}}}{A_{s_{atas}}} \cdot d2 \right) \right]$$

$$d \text{ atas} = 510,86 - \left[ \left( \frac{565}{5184,30} \cdot 61,72 \right) + \left( \frac{565}{5184,30} \cdot 32,28 \right) \right]$$

$$d \text{ atas} = 500,62 \text{ mm}$$

$$d \text{ bawah} = 534,50 \text{ mm}$$

- $M_{nb}^-$

$$a^- = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{5184,30 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 152,48 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^- = A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a^-}{2} \right) = 5184,30 \cdot 400 \cdot \left( 500,62 - \frac{152,48}{2} \right)$$

$$M_{nb}^- = 880045293,60 \text{ Nmm} = 880,04 \text{ kNm}$$

- $M_{nb}^+$

$$a^+ = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{3434,38 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 101,01 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^+ = A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a^+}{2} \right) = 3434,38 \cdot 400 \cdot \left( 534,50 - \frac{101,01}{2} \right)$$

$$M_{nb}^+ = 664889099,20 \text{ Nmm} = 664,89 \text{ kNm}$$

- $\sum M_{nb} = M_{nb}^- + M_{nb}^+$

$$\sum M_{nb} = 880,04 + 664,89$$

$$\sum M_{nb} = 1544,93$$

Selanjutnya dilakukan pengecekan persyaratan sebagai berikut:

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

$$6927,69 \geq 1,2(1544,93)$$

$$6927,69 \text{ kNm} \geq 1853,92 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Persyaratan *Strong Column Weak Beam* terpenuhi.

### 6.5.5 Perhitungan Tulangan *Confinement*

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2947-2019 Pasal 18.7.5.1, tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_0$  dari tiap muka join kolom. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari nilai

terbesar dari ketiga persamaan berikut:

- Tinggi komponen struktur pada muka join :  $h = 600 \text{ mm}$
- $1/6$  tinggi bersih kolom =  $1/6 \cdot 3400 = 566,67 \text{ mm}$
- $450 \text{ mm}$

Sehingga diambil pengekanan terpanjang  $l_0 = 600 \text{ mm}$  dari muka tumpuan.

$$P_u \leq 0,3 \cdot A_g \cdot f_c'$$

$$4374481,50 \leq 0,3 \cdot (800 \cdot 800) \cdot 40$$

$$4374481,50 \text{ N} \leq 7680000 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Tabel 18.7.5.4, apabila nilai  $P_u \leq 0,3 \cdot A_g \cdot f_c'$  maka total luas penampang *hoops* diambil yang terbesar antara:

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

Dimana:

– Luas penampang beton

$$A_g = b \cdot h = 800 \cdot 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

– Luas penampang hingga luar tulangan

$$A_{ch} = (b - 2 \cdot t_s) (h - 2 \cdot t_s) = (800 - 2(40)) (800 - 2(40)) = 518400 \text{ mm}^2$$

– Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal

$$bc = b - 2 \cdot t_s = 800 - 2(40) = 720 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} bc = 0,3 \left( \frac{640000}{518400} - 1 \right) \frac{40}{400} 720 = 5,07 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} bc = 0,09 \frac{40}{400} 720 = 6,48 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Diambil nilai terbesar,  $\frac{A_{sh}}{s} = 6,48 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal dari muka tumpuan kolom tidak boleh nilai-nilai berikut:

- $1/4$  dimensi terkecil penampang kolom  
 $S_0 = 800/4 = 200 \text{ mm}$
- $6 \times$  diameter tulangan longitudinal terkecil  
 $S_0 = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $S_0$  yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S_0 = 100 + \left( \frac{350 - hx}{3} \right)$$

Dimana  $hx$  merupakan nilai terbesar dari spasi pusat ke pusat antara tulangan dengan tulangan yang terletak bersebelahan.

$$hx = \frac{800 - 2(40) - 2(13) - 25}{4} = 167,25 \text{ mm}$$

$$S_0 = 100 + \left( \frac{350 - 167,25}{3} \right) = 191,38 \text{ mm}$$

Sebagaimana tertulis dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.3, nilai  $S_0$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm. Maka direncanakan spasi tulangan sejauh 100 mm.

$$\frac{Ash}{s} = 6,48 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 100 = 648 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan sengkang 5 kaki D13-100.

$$Ash \text{ pakai} = 5 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 = 663,33 \text{ mm}^2$$

$$Ash \text{ pakai} = 663,33 \text{ mm}^2 \geq Ash \text{ perlu} = 648 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Sebagaimana tercantum dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.5, untuk daerah di luar  $l_0$  harus diberi tulangan transversal dengan spasi minimum tidak kurang dari:

- $S_0 = 6 \times$  diameter tulangan longitudinal terkecil  $= 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $S_0 = 150 \text{ mm}$

Direncanakan spasi tulangan di luar daerah  $l_0 = 150 \text{ mm}$ .

### 6.5.6 Perhitungan Tulangan Geser

Sebagaimana tertulis dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.1.1, gaya geser desai ( $V_e$ ) tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan join berdasarkan  $M_{pr}$  balok yang merangka ke join. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

#### • Gaya Geser $M_{pr}$ Kolom

$$V_e = \frac{M_{prc_{atas}} + M_{prc_{bawah}}}{l_u}$$

Dimana, nilai  $M_{pr}$  kolom dihitung berdasarkan berumusan di bawah:

Tulangan terpasang pada kolom 20D25 ( $A_s = 9812,50 \text{ mm}^2$ )

$$a_{prc} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 9812,50 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 800} = 180,38 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{prc} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a_{prc}}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 9812,50 \cdot 400 \left( 734,5 - \frac{180,38}{2} \right) \\ &= 3161145938 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Gaya geser Mpr kolom (Ve)} = \frac{3161145938 + 3161145938}{3400} = 1859497,61 \text{ N}$$

Gaya geser Mpr kolom tidak perlu melebihi nilai gaya geser Mpr balok yang dihitung pada perhitungan selanjutnya.

- **Gaya Geser Mpr Balok**

$$V_e = \frac{M_{prb_{atas}} \cdot DF_{atas} + M_{prb_{bawah}} \cdot DF_{bawah}}{l_u}$$

Dimana DF merupakan faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah elemen yang didesain. Karena kekakuan kolom di lantai atas dan bawah sama, maka:

$$DF_{atas} = DF_{bawah} = 0,5$$

$$V_e = \frac{1810295995 \cdot 0,5 + 1810295995 \cdot 0,5}{3400} = 532440 \text{ N}$$

- **Gaya Geser Hasil Analisis**

$$V_e = 252291,60 \text{ N}$$

- **Gaya Geser Dipakai**

$$V_e \text{ analisis} \leq V_e \text{ kolom} \leq V_e \text{ balok}$$

$$252291,60 \text{ N} \leq 1859497,61 \text{ N} > 532440 \text{ N}$$

Digunakan nilai  $V_e = 532440 \text{ N}$

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.2.1, tulangan transversal didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan nilai  $V_c = 0$ , apabila:

$$V_e \geq 0,5V_u$$

$$532440 \geq 0,5 \cdot 1859497,61$$

$$532440 \text{ N} \geq 929748,81 \text{ N} \quad (\text{TIDAK MEMENUHI})$$

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{20}$$

$$4374481,50 < \frac{640000 \cdot 40}{20}$$

$$4374481,50 \text{ N} > 1280000 \text{ N} \quad (\text{TIDAK MEMENUHI})$$

Karena kedua persyaratan di atas tidak terpenuhi, maka nilai  $V_c$  tidak dapat diasumsikan sama dengan 0 dan harus dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

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

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{4374481,50}{14 \cdot 640000} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \cdot 800 \cdot 734,5$$



$$V_c = 940218,58 \text{ N}$$

Digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur pada kolom, sehingga:

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

Mengingat sebelumnya digunakan tulangan *confinement* 5 kaki D13-100, maka:

$$V_s = \frac{633,33 \cdot 400 \cdot 734,5}{100} = 1860723,54 \text{ N}$$

Sehingga,

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

$$0,75(940218,58 + 1860723,54) \geq 1859497,61 \text{ N}$$

$$2100706,59 \text{ N} \geq 1859497,61 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

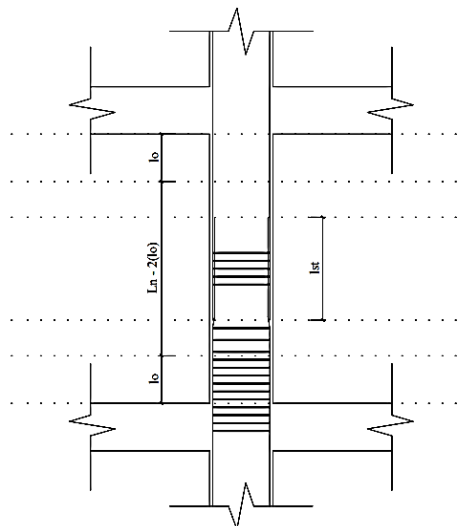
### 6.5.7 Sambungan Lewatan Tulangan pada Kolom

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3, sambungan lewatan diijinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi dengan tulangan transversal. Panjang sambungan lewatan ditentukan berdasarkan perumusan yang tercantum dalam SNI 2847-2019 Tabel 25.5.2.1 sebagai berikut:

$$l_{st} = 1,3 \left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b = 1,3 \left( \frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}} \right) 25 = 1209,11 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$$

### 6.5.8 Pemasangan Tulangan Kolom

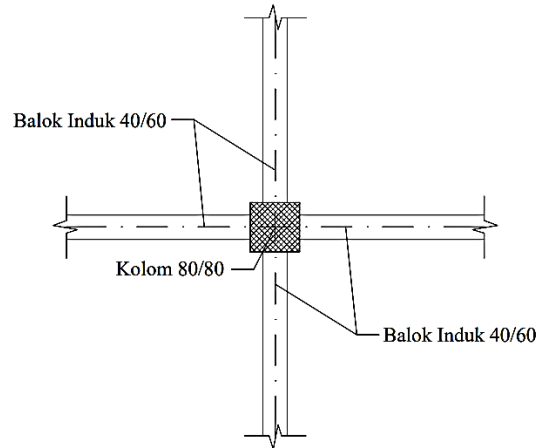
Adapun pemasangan tulangan pada kolom dapat dilihat pada Gambar 6.16 berikut.



**Gambar 6. 17** Pemasangan Tulangan Kolom

## 6.6 Desain Hubungan Balok Kolom

Sebagai contoh perhitungan hubungan balok kolom dilakukan pada salah satu join yang terletak pada lantai satu sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6.17 berikut.



**Gambar 6. 18** Hubungan Balok Kolom yang Ditinjau

- **Cek Persyaratan Dimensi Kolom**

Sebagaimana tertulis dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.2.3, apabila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui join balok kolom, maka dimensi kolom yang parallel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar dari balok tersebut.

$$800 \geq 20 \cdot D_{\text{balok}}$$

$$800 \geq 20 \cdot 25$$

$$800 \text{ mm} \geq 500 \text{ mm} \quad (\text{MEMENUHI})$$

- **Luas Efektif Join**

Luas efektif join ( $A_j$ ) sebagaimana tertulis dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.4.3 dihitung berdasarkan perumusan berikut:

$$A_j = h \cdot b_{\text{efektif}}$$

Tinggi join harus diambil sebesar lebar kolom ( $h$ ), sedangkan lebar efektif join diambil dari nilai terkecil dari lebar balok ditambah tinggi join dan dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom sebagaimana persamaan berikut:

$$b_{\text{efektif}} = b + h \leq b + 2x$$

$$b_{\text{efektif}} = 400 + 800 \leq 400 + 2 \left( \frac{800 - 400}{2} \right)$$

$$b_{\text{efektif}} = 1200 \leq 800$$

b efektif = 800 mm

$$A_j = 800 \cdot 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

- **Cek Persyaratan Tulangan Transversal**

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.3.2, apabila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan lebar balok  $\geq \frac{3}{4}$  lebar kolom, maka jumlah tulangan *confinement* dapat direduksi setengahnya. Berdasarkan pasal 18.8.3.2 juga dijelaskan bahwa spasi tulangan *confinement* dapat diperbesar hingga 150 mm.

$$b \text{ balok} \geq (\frac{3}{4}) \cdot 800$$

$$400 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Sehingga jumlah tulangan *confinement* tidak perlu direduksi setengahnya dan spasi tulangan *confinement* tidak perlu diperbesar menjadi 150 mm.

### 6.6.1 Desain Hubungan Balok Kolom Terkekang Empat Balok

- **Cek Gaya Geser Pada Joint**

Gaya geser pada joint dihitung menggunakan momen probabilitas ( $M_{pr}$ ) tulangan atas dan tulangan bawah balok dengan nilai  $DF = 0,5$ .

$$\begin{aligned} M_c &= DF(M_{pr}^+ + M_{pr}^-) \\ &= 0,5(809427420,58 + 1000868574,08) \\ &= 905147997,30 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dari nilai  $M_c$  tersebut, selanjutnya dapat ditentukan  $V_{sway}$  yang merupakan hasil dari penjumlahan  $M_c$  atas dan bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom.

$$V_{sway} = \frac{M_c + M_c}{l_u} = \frac{905147997,30 + 905147997,30}{3400} = 532440 \text{ N}$$

Geser pada joint juga dapat disebabkan oleh gaya tekan dan tarik pada tulangan longitudinal balok.

– Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kiri joint

$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 4415,63 \cdot 400 = 2207815 \text{ N}$$

– Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri joint

$$C_1 = T_1 = 2207815 \text{ N}$$

– Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kanan joint

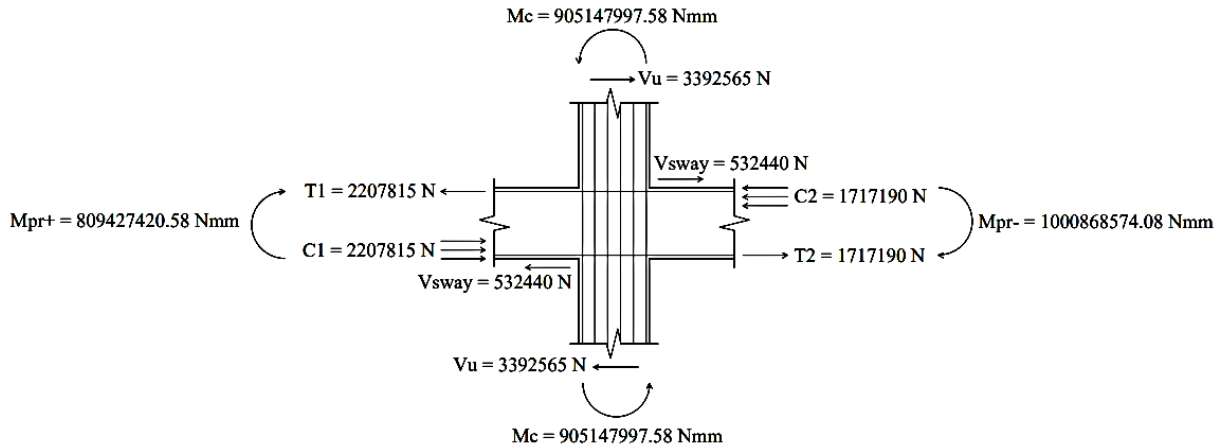
$$T_2 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 3434,38 \cdot 400 = 1717190 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kanan join

$$C_2 = T_2 = 1717190 \text{ N}$$

Maka total gaya geser yang bekerja pada join dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_u = T_1 + C_2 - V_{sway} = 2207815 + 1717190 - 532440 = 3392565 \text{ N}$$



**Gambar 6. 19** Hubungan Balok Kolom Terkekang Empat Balok

- **Kapasitas Kuat Geser Join**

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.4.1, kapasitas kekuatan geser nominal pada join ( $V_n$ ) dengan join yang terkekang balok pada keempat sisinya dihitung dengan perumusan berikut:

$$V_n = 1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j = 1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \cdot 640000 = 6881116,19 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0,75 \cdot 6881116,19 \geq 3392565$$

$$5160837,14 \text{ N} \geq 3392565 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

### 6.6.2 Desain Hubungan Balok Kolom Terkekang Tiga atau Dua Balok

- **Cek Gaya Geser pada Join**

Gaya geser pada join dihitung menggunakan momen probabilitas ( $M_{pr}$ ) tulangan atas dan tulangan atas balok dengan nilai  $DF = 0,5$ .

$$M_c = DF(M_{pr}^+)$$

$$= 0,5(809427420,58)$$

$$= 404713710,30 \text{ Nmm}$$

Dari nilai  $M_c$  tersebut, selanjutnya dapat ditentukan  $V_{sway}$  yang merupakan hasil dari penjumlahan  $M_c$  atas dan bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom.

$$V_{sway} = \frac{M_c + M_c}{l_u} = \frac{404713710,30 + 404713710,30}{3400} = 238066,89 \text{ N}$$

Geser pada join juga dapat disebabkan oleh gaya tekan dan tarik pada tulangan longitudinal balok.

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kiri join

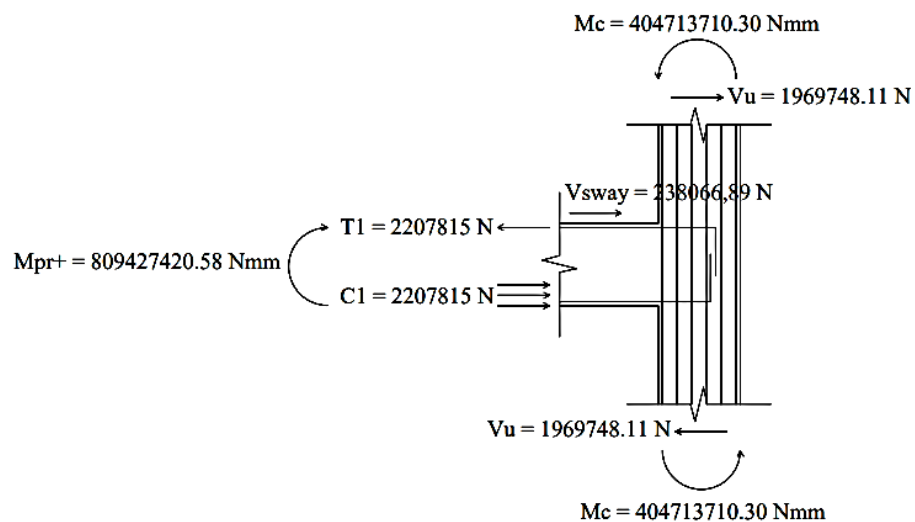
$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 4415,63 \cdot 400 = 2207815 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri join

$$C_1 = T_1 = 2207815 \text{ N}$$

Maka total gaya geser yang bekerja pada join dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_u = T_1 - V_{sway} = 2207815 - 238066,89 = 1969748,11 \text{ N}$$



**Gambar 6. 20** Hubungan Balok Kolom Terkekang Tiga atau Dua Balok

- **Kapasitas Kuat Geser Join**

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.4.1, bahwasanya kapasitas kekuatan geser nominal pada join ( $V_n$ ) dengan join yang terkekang balok pada ketiga atau kedua sisinya dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$V_n = 1,2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j = 1,2 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \cdot 640000 = 4857258,49 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0,75 \cdot 4857258,49 \geq 1969748,11$$

$$3642943,86 \text{ N} \geq 1969748,11 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

## 6.7 Perencanaan Dinding Struktur

Data perencanaan dinding struktur antara lain sebagai berikut:

Tebal dinding struktur	= 300 mm
Panjang dinding struktur	= 7000 mm
Tinggi dinding struktur	= 4000 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 40 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
Selimut beton	= 50 mm
Ø Tulangan utama	= D25
Ø Tulangan sengkang	= D19

Gaya-gaya yang diambil dalam perencanaan dinding struktur yaitu gaya yang berada pada dinding struktur lantai satu karena dinding struktur yang berada pada lantai satu menerima beban dari pondasi sehingga momen yang terjadi pada dinding struktur lantai satu dapat dipastikan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan momen yang terjadi pada dinding struktur lantai dua dan seterusnya.

Dinding struktur harus direncanakan untuk mampu mendistribusikan gaya gempa yang terjadi ke seluruh sistem gedung, karena pada bangunan dengan sistem ganda antara dinding struktur dengan SRPMK harus sama-sama menjadi sistem yang dapat memikul beban gempa dengan ketentuan SRPMK menerima gaya  $\geq 25\%$  dan dinding struktur menerima gaya  $\leq 75\%$  dari gaya gempa keseluruhan.

Perencanaan dinding struktur harus dipilih berdasarkan gaya terbesar yang terjadi pada kelima dinding struktur. Pada Tabel 6.11 dapat dilihat mengenai resume dari gaya-gaya yang terjadi pada dinding struktur lantai 1 As 1 bentang H yang merupakan dinding struktur yang menerima gaya terbesar.

**Tabel 6. 12** Resume Gaya pada Dinding Struktur

Aksial (kN)	2659,06
Geser (kN)	213,23
Momen (kNm)	887,78

### 6.7.1 Dimensi Dinding Struktur

Dinding struktur didesain dengan metode empiris, sehingga tebal minimum dinding struktur ditentukan sesuai dengan peraturan SNI 2847-2019 Pasal 11.3.1.1, dijelaskan

bahwasanya tebal minimum dinding geser tidak boleh kurang dari 1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu, yang mana lebih pendek atau kurang dari 100 mm. Sehingga perencanaan desain awal dinding geser adalah sebagai berikut:

Elevasi per-lantai = 400 cm

Bentang terlebar = 700 cm (Bentang terlebar yang tertumpu)

Tebal dinding geser =  $700 \times \frac{1}{25} = 28$  cm (Tebal dinding minimum)

Dinding geser direncanakan dengan ketebalan 30 cm > 28 cm, maka tebal dinding struktur yang direncanakan telah memenuhi persyaratan di atas.

### 6.7.2 Kontrol Kekuatan Aksial Dinding Struktur

Mengingat bentuk dari dinding struktur yang digunakan berupa penampang persegi Panjang masif, maka konsep desain yang digunakan yaitu metode desain empiris berdasarkan peraturan SNI 2847-2019 Pasal 11.5.3.1, bahwasanya kekuatan aksial desain ( $P_n$ ) dari dinding struktur harus lebih besar daripada kekuatan aksial yang terjadi, sehingga kekuatan desain aksial ( $P_n$ ) diizinkan untuk dihitung menggunakan perumusan berikut:

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

Dimana:

$k = 0,8$  (untuk dinding yang ditahan di atas dan bawah terhadap translasi lateral dan dikekang terhadap rotasi pada satu atau kedua ujungnya)

$h = 4000$  mm (nilai dari bentang struktur yang ditinjau)

$$P_n = 0,55 \cdot 40 \cdot (40000 \cdot 300) \left[ 1 - \left( \frac{0,8 \cdot 40000}{32 \cdot 4000} \right)^2 \right]$$

$P_n = 247500000$  N = 247500 kN (Kekuatan aksial desain dinding struktur)

Nilai kekuatan aksial desain dari dinding struktur harus lebih besar dibanding kekuatan aksial yang terjadi pada dinding struktur yang ditinjau.

247500 kN > 2659,06 kN (OK)

Sehingga kekuatan desain aksial dinding struktur telah mencukupi untuk menahan gaya aksial yang terjadi.

### 6.7.3 Desain Elemen Pembatas Dinding Struktural Khusus

Dinding struktur yang digunakan pada perencanaan kali ini merupakan dinding struktur menerus dari dasar struktur hingga puncak gedung secara efektif, sehingga harus didesain untuk

mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.6.2 (a), bahwasanya daerah tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus apabila:

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

Dimana  $c$  sesuai dengan nilai sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan arah perpindahan desain ( $\delta_u$ ), dan rasio ( $\delta_u/h_w$ ) harus ditetapkan tidak kurang dari 0,005.  $\delta_u$  merupakan nilai dari  $\Delta_a$  yaitu nilai simpangan antar lantai tingkat ijin pada lantai tertinggi pada masing-masing arah X dan Y. Berdasarkan Tabel 6.4 diketahui bahwa nilai  $\Delta_a$  arah X dan Y yaitu sebesar 0,08 m.

Maka, simpangan pada lantai tertinggi = 0,08 . 10 = 0,80 m = 800 mm

Nilai syarat elemen pembatas:

- Arah X

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{800}{40000} = 0,02 > 0,005 \text{ (Dipakai 0,02)}$$

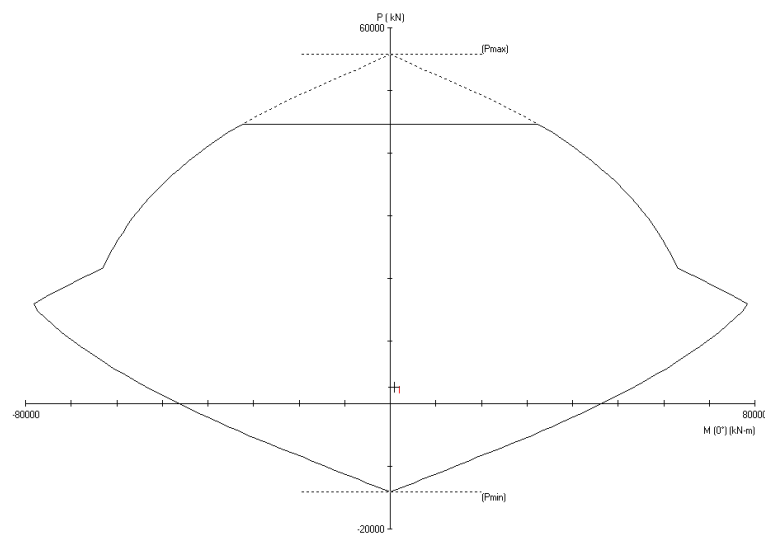
$$\frac{\ell_w}{600 (1,5\delta_u/h_w)} = \frac{7000}{600 (1,5 \cdot 0,02)} = 388,89 \text{ mm}$$

- Arah Y

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{800}{40000} = 0,02 > 0,005 \text{ (Dipakai 0,02)}$$

$$\frac{\ell_w}{600 (1,5\delta_u/h_w)} = \frac{7000}{600 (1,5 \cdot 0,02)} = 388,89 \text{ mm}$$

Guna mendapatkan nilai  $c$  (*neutral axist depth*), dilakukan perhitungan menggunakan program bantu komputer dan didapatkan output hasil perhitungan yang menunjukkan diagram interaksi yang terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 6.20 dan Gambar 6.21 berikut.



**Gambar 6. 21** Diagram Interaksi Gaya Aksial dengan Momen Desain Kekuatan Dinding Struktur



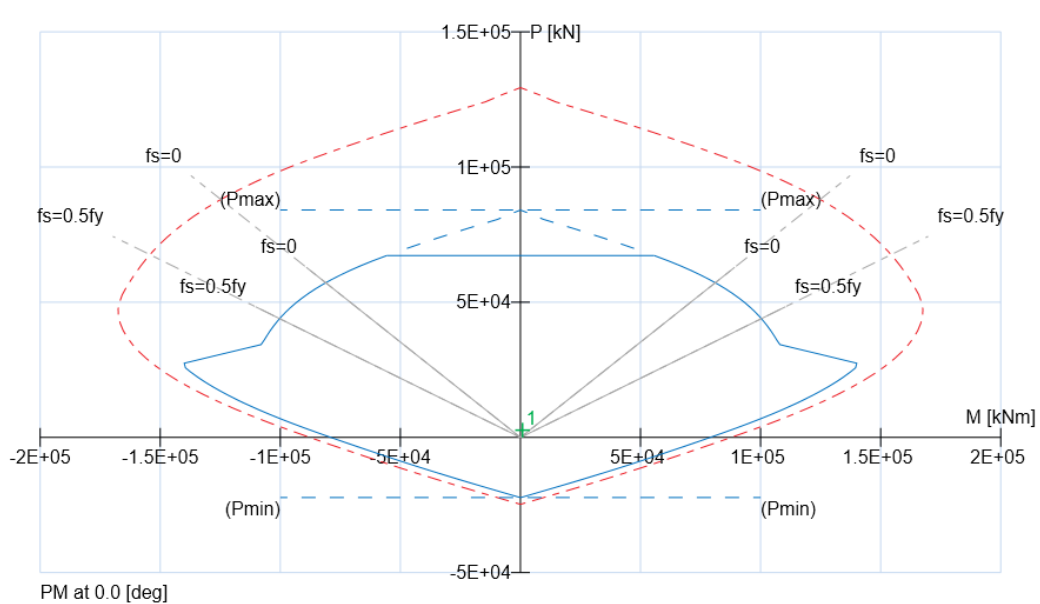
Berdasarkan hasil *output* perhitungan dengan menggunakan program bantu komputer, diperoleh presentase sebesar 1,87% atau 0,0187Ag. Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2019 Pasal 10.6.1.1 yaitu luas tulangan memanjang harus sekurang-kurangnya 0,01Ag dan tidak boleh melebihi 0,08Ag. Sehingga hasil tulangan ini memenuhi untuk desain tulangan memanjang dinding struktur.

Mn' dari tiap-tiap beban aksial terfaktor diperoleh dengan bantuan diagram interaksi dari *output* hasil perhitungan dengan program bantu komputer untuk dinding struktur, namun untuk  $\phi = 1$  dan  $f_s = f_y$ , telah dihasilkan  $A_s = 39250 \text{ mm}^2$ , sehingga diperoleh nilai c sebagai berikut:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{39250 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 300} = 1539,21 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1539,21}{0,80} = 19420,02 > 388,89 \text{ mm}$$

Karena nilai c hasil perhitungan lebih besar dari perhitungan sesuai peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.6.2 (a), maka dinding struktur memerlukan elemen pembatas. Elemen pembatas bisa meningkatkan kekuatan desain dari dinding struktur, oleh sebab itu guna memperoleh diagram interaksi dari dinding struktur dan elemen pembatasnya, maka harus diinputkan dimensi dari elemen pembatas yang menyatu dengan dinding struktur ke program bantu struktur.



**Gambar 6. 22** Diagram Interaksi Gaya Aksial dengan Momen Desain Kekuatan Dinding Struktur dengan Elemen Pembatas

Berdasarkan hasil *output* perhitungan dengan menggunakan program bantu komputer, diperoleh presentase sebesar 1,97% atau 0,0197Ag. Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan

pada SNI 2847-2019 Pasal 10.6.1.1 yaitu luas tulangan memanjang harus sekurang-kurangnya 0,01Ag dan tidak boleh melebihi 0,08Ag. Sehingga hasil tulangan ini memenuhi untuk desain tulangan memanjang dinding struktur.

Dengan adanya elemen pembatas, kekuatan desain dinding struktur dapat lebih ditingkatkan lagi, dapat dilihat dari diagram interaksi dan presentase tulangan terpasang. Karena elemen pembatas khusus disyaratkan dalam SNI 2947-2019 Pasal 18.10.6.2 (a), maka persyaratan-persyaratan berikut harus terpenuhi:

- Pasal 18.10.6.2 (b)

Tulangan transversal elemen pembatas khusus harus diperpanjang pada arah vertikal, di atas dan di bawah penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari:

- $\ell_w = 7000 \text{ mm}$
- $\frac{887,78}{4 \cdot 213,23} = 1,04 \text{ m} = 1040 \text{ mm}$

- Pasal 18.10.6.4 (a)

Elemen pembatas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari:

- $c - 0,1\ell_w = 19420,02 - (0,1 \times 7000) = 18720,02 \text{ mm}$
- $c/2 = 19420,02/2 = 9710,01 \text{ mm}$

- Pasal 18.10.6.4 (b)

Lebar daerah tekan lentur (b) sepanjang jarak horizontal yang dihitung pada Pasal 18.10.6.4 (a), termasuk sayap apabila ada, harus diambil minimal ( $h_u/16$ ). Syarat ini tidak perlu dipenuhi karena penampang dinding struktur tidak memiliki sayap.

- Pasal 18.10.6.4 (e)

Tulangan transversal elemen pembatas harus memenuhi persyaratan dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.2 (a) hingga (e) dan Pasal 18.7.5.3, kecuali apabila nilai  $h_x$  pada Pasal 18.7.5.2 kurang dari nilai terkecil antara 350 mm dan  $2/3$  ketebalan elemen pembatas, dan Batasan spasi tulangan transversal sesuai dengan Pasal 18.7.5.3 (a) harus diambil  $1/3 \times$  dimensi terkecil elemen pembatas.

- Pasal 18.10.6.4 (g)

Mengingat dalam perencanaan gedung Hotel Delmare digunakan jenis pondasi tiang pancang dengan penutup tiang pondasi, maka tulangan transversal elemen pembatas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam sistem pondasi.

- Pasal 18.10.6.4 (h)

Tulangan horizontal pada badan dinding harus diperpanjang masuk sedalam 150 mm pada tepi dinding struktur.

#### 6.7.4 Penulangan Dinding Struktur

Sebagaimana tercantum dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.12.9.1, bahwasanya  $V_n$  diafragma struktur tidak boleh melebihi persyaratan di bawah, apabila melebihi maka harus digunakan paling sedikit dua tirai tulangan pada suatu dinding.

$$V_n = A_{cv} (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + \rho_t \cdot f_y)$$

$$V_n = (300 \cdot 6200 + 800 \cdot 800) (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} + 0,0025 \cdot 400)$$

$$V_n = 3859824,39 \text{ N} = 3859,82 \text{ kN}$$

Nilai gaya geser ( $V_u$ ) dapat dilihat pada Tabel 6.11, yaitu  $V_u = 213,23 \text{ kN}$ .

Karena  $V_n = 3859,82 \text{ kN} > V_u = 213,23 \text{ kN}$ , maka tirai tulangan yang digunakan maksimal dua tirai, perlu diperhatikan bahwa rasio tulangan arah vertikal dan horizontal tidak boleh kurang dari 0,0025 dan spasi  $s \leq 450 \text{ mm}$ .

Batas kuat geser dinding struktur ditentukan sesuai peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.12.9.2, dimana  $V_n$  diafragma struktur tidak boleh melebihi persyaratan berikut:

$$V_n = 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$V_n = 0,66 \cdot (300 \cdot 6200 + 800 \cdot 800) \cdot \sqrt{40}$$

$$V_n = 10435516,30 \text{ N} = 10435,52 \text{ kN}$$

$$3859,82 \text{ kN} < 10435,52 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- **Penulangan Horizontal Dinding Struktur**

Sebagaimana disebutkan dalam peraturan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.1, bahwasanya nilai  $V_n$  dinding struktural tidak boleh melebihi hasil dari persamaan berikut:

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

Dimana:

$$\alpha_c = 0,25 \text{ (untuk } h_w/\ell_w \leq 1,5)$$

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/\ell_w \geq 2,0)$$

$$\alpha_c = \text{bervariasi secara linier antara } 0,25 \text{ dan } 0,17 \text{ untuk } h_w/\ell_w \text{ antara } 1,5 \text{ dan } 2,0.$$

$h_w$  = tinggi dinding keseluruhan

$\ell_w$  = panjang dinding keseluruhan

Spasi (s) tulangan melintang pada dinding yang dicor di tempat tidak boleh melebihi nilai terkecil dari ketiga persyaratan dalam SNI 2847-2019 Pasal 11.7.3.1 berikut:

- $3h = 3 \cdot 300 = 900 \text{ mm}$
- 450 mm (jarak maksimum sengkang dinding struktur)
- $\ell_w/5 = 7000/5 = 1400 \text{ mm}$

Jika digunakan sengkang 2D19 dengan jarak sengkang (s) = 50 mm, maka:

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 566,77 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan geser untuk satu lantai:

$$\rho_t = \frac{566,77}{4000 \cdot 50} = 0,0028 > 0,0025 \text{ (OK)}$$

Syarat nilai gaya geser nominal:

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

$$V_n = (300 \cdot 6200 + 800 \cdot 800) (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} + 0,0028 \cdot 400)$$

$$V_n = 5487936 \text{ N} = 5487,93 \text{ kN} < V_u = 10435,52 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

Maka dipakai sengkang **2D19-50** untuk sengkang dinding struktural.

- **Penulangan Vertikal Dinding Struktur**

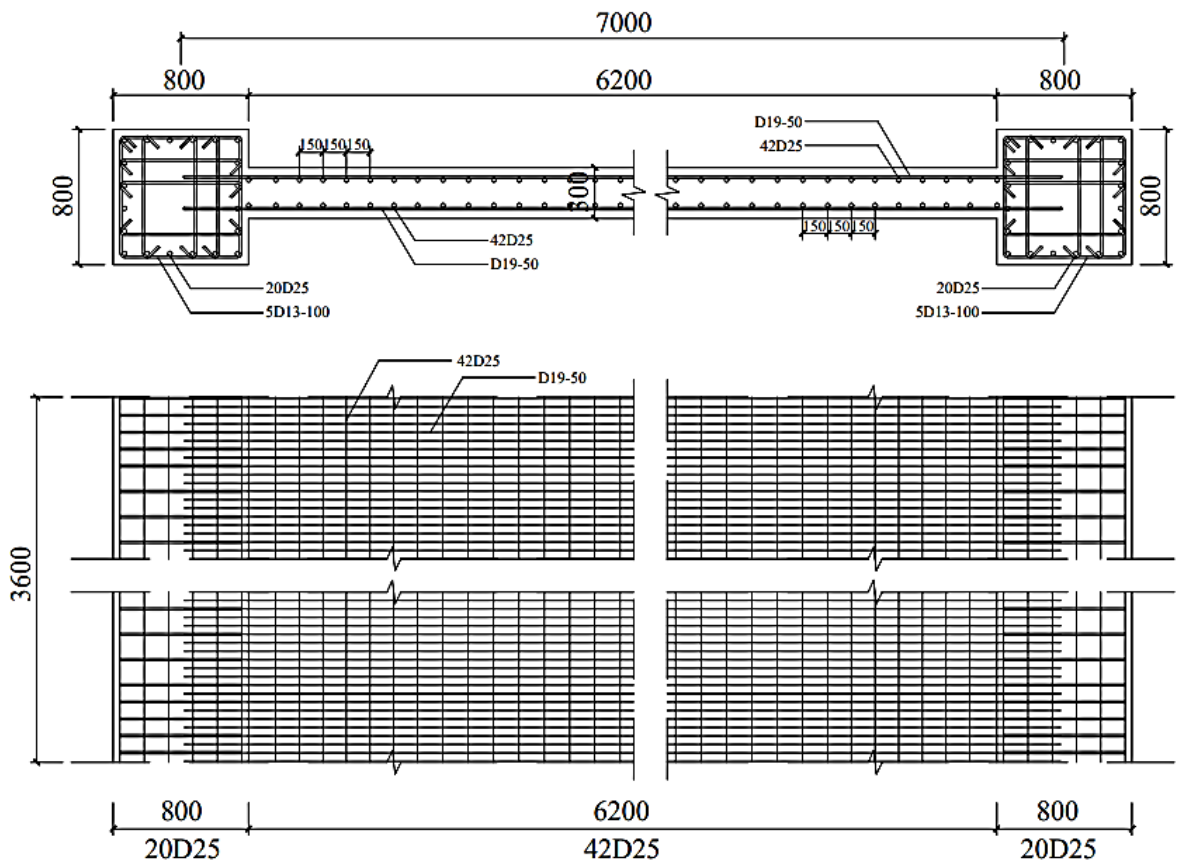
Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan program bantu struktural, penulangan vertikal dinding geser digunakan tulangan 42D25 dengan jarak 150 mm.

- **Resume Jumlah Tulangan**

Dinding Struktur

- Digunakan sengkang 2D19-50
- Jumlah sengkang untuk satu lantai =  $\frac{4000}{50} + 1 = 81$  buah
- Digunakan tulangan longitudinal D25-150 sebanyak 2 tirai
- Jumlah tulangan longitudinal untuk satu tirai =  $\frac{6200}{150} = 41,33 \approx 42$  buah
- Jumlah tulangan longitudinal untuk 2 tirai =  $42 \cdot 2 = 84$  buah
- Sengkang pertama dipasang sejauh 50 mm dari muka tumpuan

- **Gambar Hasil Penulangan**



**Gambar 6. 23** Penulangan Dinding Struktur dan Elemen Pembatas