

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

6.1 Umum

Struktur primer merupakan struktur utama dari suatu gedung yang kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama terdiri dari balok induk dan kolom. Struktur primer pada perencanaan ini didesain tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen khusus agar memperkecil terjadinya keruntuhan saat adanya gempa. Analisa struktur primer gedung ini dimodelkan dengan program bantu komputer berdasarkan SNI 1726:2019 dan 2847:2019 untuk persyaratan gedung tahan gempa serta SNI 1727:2020 untuk pembebanan bangunan gedung.

6.1.1 Data Perencanaan Struktur Primer

Adapun data yang digunakan untuk menghitung perencanaan struktur primer pada gedung Hotel Dame, sebagai berikut:

1. Mutu beton (f'_c) : 35 MPa
2. Mutu baja (f_y) : 390 MPa
3. Jumlah lantai : 10 lantai + atap
4. Tinggi bangunan : 40 m
5. Tinggi antar lantai : 4 m
6. Panjang bangunan : 49 m
7. Lebar bangunan : 42 m
8. Dimensi balok induk : 50/60 cm
9. Dimensi balok anak atap : 35/50 cm
10. Dimensi balok anak lantai : 45/50 cm
11. Dimensi kolom : 70/70 cm
12. R : 8
13. C_d : 5,5

Data perencanaan gedung dengan struktur beton bertulang harus sesuai dengan SNI 2847-2019, terutama pada mutu beton dan mutu tulangan yang dipakai. Untuk nilai R dan C_d didapat dari tabel 12 dengan jenis struktur bangunan nongedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sedangkan nilai S_{DS} dan S_{D1} didapat dari situs gempa Indonesia yang digunakan pada SNI 1726-2019.

6.1.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur perlu diperhitungkan untuk mengidentifikasi beban yang bekerja pada struktur. Beban yang diterima struktur yaitu beban gravitasi dan beban gempa.

6.1.2.1 Perhitungan Beban Gravitasi

Beban gravitasi yang terjadi pada suatu struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang bekerja pada setiap lantai, dengan beban setiap lantai sebagai berikut:

- **Berat struktur lantai 10 (Atap)**

- **Beban mati**

Pelat sendiri	$= (46 \times 42) \times 0,10 \times 2400$	$= 463680 \text{ kg}$
Beban tambahan	$= (46 \times 42) \times 104$	$= 200938 \text{ kg}$
Balok induk (x1)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok induk (x2)	$= (0,5 \times 0,6 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 11520 \text{ kg}$
Balok induk (y)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok anak (x1)	$= (0,35 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 123480 \text{ kg}$
Balok anak (x2)	$= (0,35 \times 0,5 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 6720 \text{ kg}$
Balok anak (y)	$= (0,35 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 123480 \text{ kg}$
Balok lift	$= (0,2 \times 0,4 \times 7) \times 1 \times 2400$	$= 1344 \text{ kg}$
Berat kolom	$= (0,7 \times 0,7 \times 2) \times 56 \times 2400$	$= 131712 \text{ kg}$
Dinding	$= (761 \times 250)$	$= \underline{190250 \text{ kg}}$
Beban mati total atap		$= 1676474 \text{ kg}$

- **Beban hidup**

Beban hidup atap = lantai atap x koef. reduksi		
	$= (46 \times 42 \times 100) \times 0,3$	$= 57960 \text{ kg}$

- **Berat struktur lantai 2 – 9 (Lantai)**

Pelat sendiri	$= (46 \times 42) \times 0,10 \times 2400$	$= 463680 \text{ kg}$
Beban tambahan	$= (46 \times 42) \times 104$	$= 200938 \text{ kg}$
Balok induk (x1)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok induk (x2)	$= (0,5 \times 0,6 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 11520 \text{ kg}$
Balok induk (y)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok anak (x1)	$= (0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 158760 \text{ kg}$
Balok anak (x2)	$= (0,45 \times 0,5 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 8640 \text{ kg}$
Balok anak (y)	$= (0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 158760 \text{ kg}$

- Berat kolom = $(0,7 \times 0,7 \times 2) \times 56 \times 2400$ = 131712 kg
Dinding = (761×250) = 190250 kg ±
Beban mati total atap = 1747610 kg
- **Beban hidup**
- Beban hidup lantai = $(42 \times 46 \times 250) \times 0,3$ = 144900 kg
- **Berat struktur lantai 1 (Lantai)**
- Pelat sendiri = $(46 \times 42) \times 0,10 \times 2400$ = 463680 kg
Beban tambahan = $(46 \times 42) \times 104$ = 200938 kg
Balok induk (x1) = $(0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$ = 211680 kg
Balok induk (x2) = $(0,5 \times 0,6 \times 4) \times 4 \times 2400$ = 11520 kg
Balok induk (y) = $(0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$ = 211680 kg
Balok anak (x1) = $(0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$ = 158760 kg
Balok anak (x2) = $(0,45 \times 0,5 \times 4) \times 4 \times 2400$ = 8640 kg
Balok anak (y) = $(0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$ = 158760 kg
Berat kolom = $(0,7 \times 0,7 \times 2) \times 56 \times 2400$ = 131712 kg
Dinding = $(340,5 \times 250)$ = 85125 kg ±
Beban mati total atap = 1642485 kg
- **Beban hidup**
- Beban hidup lantai = $(42 \times 46 \times 250) \times 0,3$ = 144900 kg

Tabel 6. 1 Rekapitulasi Perhitungan Pembebanan Gravitasi

Lantai	Tinggi (h) (m)	Beban (kg)		Berat Perantai (W) (kg)
		Mati	Hidup	
10	40	1676474	57960	1734434
9	36	1747610	144900	1892510
8	32	1747610	144900	1892510
7	28	1747610	144900	1892510
6	24	1747610	144900	1892510
5	20	1747610	144900	1892510
4	16	1747610	144900	1892510
3	12	1747610	144900	1892510
2	8	1747610	144900	1892510
1	4	1642485	144900	1787385
Total				18661899

6.1.2.2 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan pembebanan gempa pada struktur ini menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dan dihitung sesuai dengan SNI 1726 – 2019.

1. Respon Spektrum

Menentukan respon spektrum harus mengetahui jenis tanah setempat dengan data tanah SPT yang terlampir pada lampiran, setelah mengetahui jenis tanah dapat menentukan respon spektrum melalui <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Berikut merupakan rekapitulasi data tanah setempat dapat dilihat pada **Tabel 6.2**.

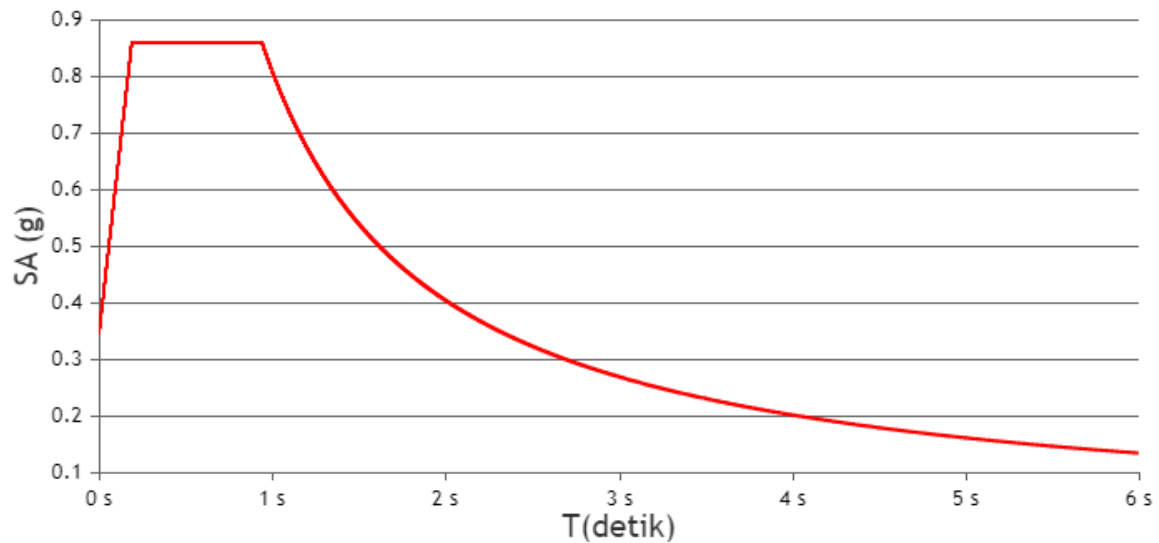
Tabel 6. 2 Rekapitulasi Data Tanah Kota Padang

No.	Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	T (m)	N (SPT)	Value SPT
1.	2,1	Lempung kelanauan (abu – abu kekuningan dan hitam)	2,1	7	0,3
2.	4,2	Lanau kepasiran (abu – abu dan hitam bitnik putih)	2,1	28	0,08
3.	5,50	Pasir kasar (hitam bintik putih)	1,3	40	0,03
4.	7,00	Lanau kelepungan (abu – abu kecoklatan campur kuning)	1,5	21	0,07
5.	8,50	lanau kelepungan (coklat kekuningan campur abu – abu)	1,5	7	0,21
6.	10,30	Lanau kelepungan (abu – abu kekuningan bintik hitam coklat)	1,8	23	0,08
7.	12,00	Lanau kelepungan (coklat gelap)	1,7	11	0,15
8.	13,40	Lanau kelepungan (abu – abu kehitaman)	1,4	12	0,12
9.	14,60	Pasir kasar (hitam bintik abu – abu dan kuning)	1,2	37	0,03
10.	17,80	Pasir halus (hitam)	3,2	79	0,04
				51	0,06
11.	19,50	Lanau kelepungan (abu – abu kekuningan campur hitam)	1,7	38	0,04
12.	22,00	Lanau kelepungan (abu – abu gelap campur coklat dan kuning)	2,5	16	0,16
				18	0,14
13	23,60	Lanau kelepungan (coklat gelap)	1,6	15	0,11
14.	25,20	Lanau kelepungan (abu – abu kekuningan dan hitam)	1,6	26	0,06
15.	28,40	Lanau kelepungan (abu – abu gelap campur coklat dan kuning)	3,2	23	0,14
				26	0,12
16.	30,45	Lanau kelepungan (coklat kekuningan dan hitam)	2	24	0,08
				27	0,07
Total					2,11

Diambil kedalaman 30 meter untuk mengetahui jenis tanah dengan rumus:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{2,11} = 14,24$$

Sesuai dengan klasifikasi situs tanah pada SNI 1736 – 2019 Tabel 5 dapat dikategorikan kedalam jenis tanah lunak (SE), dikarenakan $\bar{N} = 14,24 < 15$. Dapat ditentukan respon spektrum Kota Padang sesuai dengan **Gambar 6.1**.



Gambar 6. 1 Respon Spektrum Kota Padang

Diperoleh data dari hasil respon spektrum, yaitu:

Kelas situs	= SE (tanah lunak)
PGA (g)	= 0,7695 g
S_S (g)	= 1,6171 g
S_1 (g)	= 0,6082 g
F_A	= 0,8 g (SNI 1726 – 2019 Tabel 6)
F_V	= 2,0 g (SNI 1726 – 2019 Tabel 7)
S_{MS}	= 1,2937 g
S_{M1}	= 1,2164 g
S_{DS}	= 0,86
S_{D1}	= 0,81
T_0	= 0,19
T_1	= 0,94

2. Periode Fundamental

Penentuan periode fundamental struktur T, diizinkan menggunakan periode pendekatan (T_a) yang dapat dihitung sesuai dengan SNI 1726 – 2019 pasal 7.8.2.1 dimana (T_a) tidak boleh melebihi hasil koefisien batas atas pada periode yang dihitung (C_u), dengan rumusan:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Dimana perencanaan gedung rangka beton menggunakan sistem rangka pemikul momen dilihat dari SNI 1726 – 2019 Tabel 18, maka:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$h_n = 40 \text{ meter}$$

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 40^{0,9} = 1,29 \text{ detik}$$

$$S_{D1} = 0,81 \text{ didapat koefisien } C_u = 1,4 \text{ (didapat dari SNI 1726 – 2019 Tabel 17)}$$

$$T_a < C_u = 1,29 < 1,4 \text{ (OK)}$$

3. Distribusi Beban Gempa

Perhitungan distribusi beban gempa ini perlu diketahui beban geser dasar seismik $S_{DS} = 0,86$, dengan nilai $R = 8$ (SNI 1726 – 2019 Tabel 12) dan faktor keutamaan gedung untuk Hotel Dame ini $II = 1,0$ (SNI 1726 – 2019 Tabel 4) dengan itu nilai C_S :

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,86}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,1075$$

Sehingga didapat nilai beban gaya geser dasar seismik dengan rumusan:

$$V = C_S \times W = 0,1075 \times 18.661.899 = 2.006.154,143 \text{ kg}$$

Distribusi gaya gempa F_i dihitung sesuai SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.3 dengan rumusan:

$$F_i = C_{vx} V$$

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

Maka:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V$$

Dimana:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai:

Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 atau 2

Nilai k hasil interpolasi:

$$k = 1 - \frac{1,29-0,5}{2,5-0,5} \times (2 - 1) = 1,632$$

Sehingga nilai F_i pada lantai 1 dapat dihitung:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V = \frac{1787385 \times 4^{1,632}}{17170384,27} \times 2006154,143 = 25657,25 \text{ kg}$$

Tabel 6. 3 Perhitungan Beban Gempa Tiap Lantai

Lantai	Beban Geser (kg)	Tinggi Lantai (m)	Berat (kg)	Faktor (k)	$w_x h_x^k$	F_x (kg)
10	2006154,143	40	1734434	1,632	714035302,6	1066964
9	2006154,143	36	1892510	1,632	656030248,2	980288,7
8	2006154,143	32	1892510	1,632	541306132,9	808859,5
7	2006154,143	28	1892510	1,632	435311449,6	650474,4
6	2006154,143	24	1892510	1,632	338487729,3	505793,3
5	2006154,143	20	1892510	1,632	251373293,8	375620,5
4	2006154,143	16	1892510	1,632	174647347,7	260970,9
3	2006154,143	12	1892510	1,632	109209891,7	163189,5
2	2006154,143	8	1892510	1,632	56348329,01	84199,82
1	2006154,143	4	1787385	1,632	17170384,27	25657,25
$\sum_{i=1}^n w_i h_i^k$					3293920109	

6.1.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan yang akan dimasukkan ke dalam program bantu komputer harus sesuai dengan SNI 1727 – 2020 seperti pada **Tabel 6.4**.

Tabel 6. 4 Kombinasi Pembebanan

Type	Kombinasi Beban
COMBO 1	1,4D
COMBO 2	1,2D + 1,6L
COMBO 3	1,2D + L + GX + 0,3 GY

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

Kombinasi pembebanan diinput melalui program bantu komputer, kemudian *run analyze* sehingga diketahui nilai gaya – gaya dalam yang terjadi pada struktur. Selanjutnya dilakukan *check of structure* maka pada gambar struktur akan diketahui notasi warna yang menunjukkan kekuatan struktur. Apabila notasi warna pada struktur tersebut berwarna merah, menunjukkan bahwa komponen dari struktur terjadi *failure* (kegagalan). Artinya struktur tidak mampu untuk menahan beban yang bekerja, maka harus dilakukan *redesign* pada perencanaan awal struktur (*preliminary design*). Bila warna sudah menunjukkan warna biru, hijau, kuning, dan oranye maka struktur tersebut mampu menahan beban yang bekerja.

6.1.2.4 Batas Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai didesain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δa) agar membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa dan benturan antar Gedung. Oleh karena itu simpangan antar lantai dapat dihtiung dengan rumusan:

$$\delta_{xy} = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \text{ (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6)}$$

$$\delta_{xy} < \Delta a \text{ (SNI 1726:2019 Tabel 20)}$$

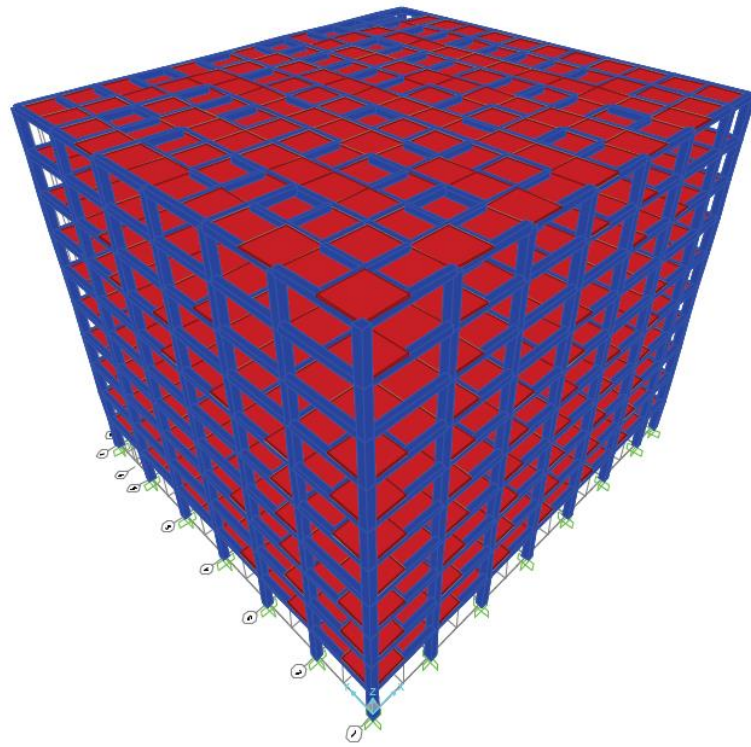
Dimana:

C_d = faktor pembesaran defleksi (SNI 1726:2019 Tabel 12)

δ_{xy} = defleksi pada lokasi lantai yang diakibatkan gaya gempa lateral

Δa = $0,025h = 0,025 \times 4000 = 100$ mm (SNI 1726:2019 Tabel 20)

I_e = faktor keutamaan gedung



Gambar 6. 2 Bentuk 3D Gedung Hotel Dame

Sehingga nilai δ_{xy} lantai 2 dapat dihitung:

$$\delta_x = \frac{Cd \times \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5,5 \times (7,62 - 0,00)}{1,0} = 41,91 \text{ mm}$$

$$\delta_y = \frac{Cd \times \delta_{ye}}{I_e} = \frac{5,5 \times (10,27 - 0,00)}{1,0} = 56,49 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan nilai simpangan struktur pada lantai 2 hingga lantai atap arah X dan Y dapat dilihat pada **Tabel 6.5**.

Tabel 6. 5 Nilai Simpangan Tiap Lantai

Lantai	Hsx (mm)	δ_x (mm)	δ_y (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa ijin (mm)	Keterangan
Atap	4000	89,86	119,85	16,72	19,84	100,00	aman
10	4000	86,82	116,24	26,94	33,86	100,00	aman
9	4000	81,92	110,08	37,19	48,14	100,00	aman
8	4000	75,16	101,33	46,47	61,19	100,00	aman
7	4000	66,71	90,21	54,69	72,85	100,00	aman
6	4000	56,77	76,96	61,85	83,17	100,00	aman
5	4000	45,52	61,84	67,76	91,82	100,00	aman
4	4000	33,20	45,14	71,51	97,46	100,00	aman
3	4000	20,20	27,42	69,17	94,34	100,00	aman

2	4000	7,62	10,27	41,91	56,49	100,00	aman
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	aman

Dari hasil pada tabel di atas dapat disimpulkan bahwa simpangan yang terjadi pada lantai 2 hingga lantai atap arah X dan Y tidak melebihi simpangan izin struktur sehingga struktur gedung dikatakan aman dari beban gempa.

6.1.2.5 Kontrol Periode Getar Waktu

Kontrol periode getar waktu struktur gedung dapat dihitung pada **Tabel 6.6** untuk sumbu X dan **Tabel 6.6** untuk arah Y.

Tabel 6. 6 Tabel T-Rayleigh dalam Sumbu X

Lantai	W_i (kg)	δ_x (cm)	δ_x^2 (cm^2)	F_i	$W_i \times \delta_x^2$	$F_i \times \delta_x$
Atap	1734434	8,99	80,74	810057,90	140045583,93	7279002,72
10	1892510	8,68	75,37	768569,90	142646476,40	6672595,60
9	1892510	8,19	67,11	634165,30	127005625,63	5195111,37
8	1892510	7,52	56,49	509987,6	106905302,00	3833011,72
7	1892510	6,67	44,50	396554,10	84219037,34	2645382,58
6	1892510	5,68	32,22	294495,50	60982604,75	1671716,22
5	1892510	4,55	20,72	204607,50	39212454,51	931353,33
4	1892510	3,32	11,02	127944,50	20857662,45	424751,92
3	1892510	2,02	4,08	66014,68	7719339,33	133324,97
2	1787385	0,76	0,58	18922,74	1037804,68	14418,92
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL					730631891,02	28800669,36

$$T_{rx} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times \delta_x^2}{g \times \sum F_i \times \delta_x}} = 6,3 \sqrt{\frac{730631891,02}{980 \times 28800669,36}} = 1,01$$

Didapat $T_a = 1,29$ detik $< 3,5T_{rx} = 1,29 < 3,55$ detik, dengan itu bisa dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

Tabel 6. 7 Tabel T-Rayleigh dalam Sumbu Y

Lantai	W_i (kg)	δ_y (cm)	δ_y^2 (cm^2)	F_i	$W_i \times \delta_y^2$	$F_i \times \delta_y$
Atap	1734434	11,98	143,63	810057,90	249117004,13	9708203,22
10	1892510	11,62	135,11	768569,90	255702185,91	8933702,80
9	1892510	11,01	121,18	634165,30	229334296,07	6981004,00

8	1892510	10,13	102,68	509987,6	194317720,94	5167693,28
7	1892510	9,02	81,37	396554,10	153993039,02	3577123,20
6	1892510	7,70	59,23	294495,50	112087267,29	2266406,00
5	1892510	6,18	38,24	204607,50	72367851,92	1265246,95
4	1892510	4,51	20,38	127944,50	38566508,22	577574,07
3	1892510	2,74	7,52	66014,68	14232602,73	181035,44
2	1787385	1,03	1,05	18922,74	1885635,99	19435,87
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL					1321604112,22	38677424,83

$$T_{ry} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times \delta_y^2}{g \times \sum F_i \times \delta_y}} = 6,3 \sqrt{\frac{1321604112,22}{980 \times 38677424,83}} = 1,18$$

Didapat $T_a = 1,29$ detik $< 3,5T_{ry} = 1,29 < 4,12$ detik, dengan itu bisa dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

6.2 Perencanaan Balok Induk

Perencanaan balok induk pada struktur gedung ini direncanakan dengan memeriksa momen yang bekerja di setiap balok induk yang direncanakan dengan menggunakan bantuan program bantu komputer dan mengambil momen terbesar yang terjadi pada balok induk.

6.2.1 Syarat Batas Penulangan Balok Induk

Syarat batas penulangan pada balok induk rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

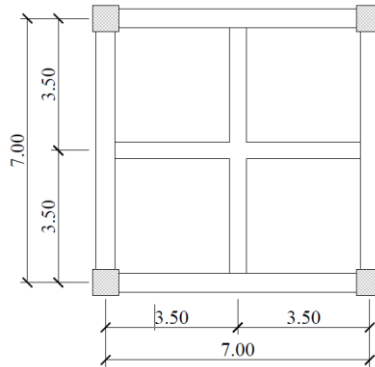
$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

6.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk



Gambar 6. 3 Penulangan Balok Induk

Bentang balok (L) : 7000 mm

Lebar balok (b) : 500 mm

Tinggi balok (h) : 600 mm

Selimit beton (s) : 40 mm

Diameter tulangan utama : D22

Diameter tulangan sengkang : D12

Mutu beton (f'_c) : 35 MPa

Mutu baja tulangan (f_y) : 390 MPa

Mutu baja sengkang (f_{ys}) : 390 MPa

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{\text{tulangan utama}} - \phi_{\text{tulangan sengkang}} \\ &= 600 - 40 - \frac{1}{2} \times 22 - 12 \\ &= 537 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 6. 8 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Induk

Gaya Dalam	Besar	Satuan
Momen tumpuan (-)	580666700	Nmm
Momen tumpuan (+)	382987977	Nmm
Momen lapangan (+)	182834436,8	Nmm
Torsi	30595350,4	Nmm
Geser	223259,6	N
Geser (1,2D + 1L)	168522,55	N
Aksial	3517,87	N

Daerah Tumpuan (Momen Negatif)

$$M_{\text{Tumpuan}} = 580666700 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{580666700}{0,9} = 645185222,2 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d^2} = \frac{645185222,2}{500 \times 537^2} = 4,45$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,45}{390}} \right) = 0,0124 < \rho_{min}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0124 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0124$$

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0124 \times 500 \times 537 = 3329,4 \text{ mm}^2$$

Digunakan 9Ø22 ($A_s = 3421 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tarik pakai

$$A_{s\text{pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 9 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 3419,46 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2t_s - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n - 1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 9(22)}{9 - 1}$$

$$s = 24,75 \text{ mm}$$

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

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

$$24,75 < 25 \geq 22 \text{ (TIDAK OK)}$$

Maka tulangan disusun 2 lapis:

$$\text{Lapis 1} = 6D22$$

$$\text{Lapis 2} = 3D22$$

Kontrol:

Lapis 1:

$$s = \frac{b - 2t_s - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n - 1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 6(22)}{6 - 1}$$

$$s = 52,8 \text{ mm}$$

$$52,8 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Jarak vertikal :

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

Maka, tinggi efektif balok:

$$d' = \frac{6(ts + D_{geser} + 0,5D_{lentur}) + 3(ts + D_{geser} + D_{lentur} + 25 + 0,5D_{lentur})}{6+3}$$

$$d' = \frac{6(40+12+0,5(22)) + 3(40+12+22+25+0,5(22))}{6+3}$$

$$d' = 78,67 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 600 - 78,67 = 521,33 \text{ mm}$$

Kontrol kekuatan tulangan tumpuan (momen negatif)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{3419,46 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 89,65$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 3419,46 \times 390 \left(521,33 - \frac{89,65}{2} \right) = 651771815,4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 651.771.815,4 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 645.185.222,2 \text{ Nmm (OK)}$$

Daerah Tumpuan (Momen Positif)

$$M_{Tumpuan} = 382987977 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{382987977}{0,9} = 425542188,9 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d^2} = \frac{425542188,9}{500 \times 537^2} = 2,95$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,45}{390}} \right) = 0,008 < \rho_{min}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,008 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,008$$

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,008 \times 500 \times 537 = 2148 \text{ mm}^2$$

Digunakan 6Ø22 ($A_s = 2281 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tarik pakai

$$A_{Spakai} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 6 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 2279,64 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2ts - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n-1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 6(22)}{6-1}$$

$$s = 52,8 \text{ mm}$$

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

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

$$52,8 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun 1 lapis

Kontrol kekuatan tulangan tumpuan (momen positif)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 59,77$$

$$M_n = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 3419,46 \times 390 \left(537 - \frac{59,77}{2} \right) = 450856031,3 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 450.856.031,3 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 425.542.188,9 \text{ Nmm (OK)}$$

Daerah Lapangan (Momen Positif)

$$M_{Tumpuan} = 182834436,8 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{182834436,8}{0,9} = 203149374,2 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d^2} = \frac{203149374,2}{500 \times 537^2} = 1,41$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,41}{390}} \right) = 0,0037 < \rho_{min}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0037 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0037$$

Tulangan Perlu

- Tarik

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0037 \times 500 \times 537 = 993,45 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5Ø22 ($As = 1901 \text{ mm}^2$)

- Tekan

$$As'_{perlu} = 0,5As_{perlu} = 0,5(1901) = 950,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan 4Ø22 ($As = 1521 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan pakai

- Tarik

$$As_{pakai} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 5 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 1900,66 \text{ mm}^2$$

- Tekan

$$As'_{pakai} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 4 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b-2ts-2D_{geser}-nD_{lentur}}{n-1}$$

$$s = \frac{500-2(40)-2(12)-5(22)}{5-1}$$

$$s = 71,5 \text{ mm}$$

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

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

$$71,5 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun 1 lapis

Kontrol kekuatan tulangan tumpuan (momen negatif)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1900,66 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 49,83$$

$$Mn = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1900,66 \times 390 \left(537 - \frac{49,83}{2} \right) = 379585895 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 379.585.895 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 203.149.374,2 \text{ Nmm (OK)}$$

6.2.3 Persyaratan Detail Komponen Lentur

Balok induk pada gedung ini diharuskan memenuhi persyaratan kompone lentur yang sesuai dengan persyaratan SRPMK sesuai dengan SNI 2847:2019.

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1

- Bentang bersih balok (l_n) harus minimala 4 kali tinggi efektif (d)

$$l_n > 4d$$

$$6300 \text{ mm} > 4(537)$$

$$6300 \text{ mm} > 2148 \text{ mm (OK)}$$

- Lebar penampang (b) harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm

- $b \geq 0,3h$

$$500 \text{ mm} \geq 0,3(600)$$

$$500 \text{ mm} \geq 180 \text{ mm (OK)}$$

- $b \geq 250 \text{ mm}$

$$500 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm (OK)}$$

- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $0,75c_1$ (dimensi kolom dalam arah bentang balok) dan c_2 (dimensi kolom tegak lurus c_1) pada masing – masing sisi kolom
 - $b \leq 0,75c_1$
 $500 \text{ mm} \leq 0,75(700)$
 $500 \text{ mm} \leq 525 \text{ mm}$ **(OK)**
 - $b \leq c_2$
 $500 \text{ mm} \leq 750 \text{ mm}$ **(OK)**

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1

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

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d = \frac{0,25\sqrt{35}}{390} \times 500 \times 537 = 1018,25 \text{ mm}^2$$

Tidak boleh kurang dari:

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{390} \times 500 \times 537 = 963,85 \text{ mm}^2$$

As tulangan lentur terkecil yang terpasang:

$$A_{s_{terpasang}} = 1139,82 \text{ mm}^2 \text{ **(OK)**}$$

- Syarat batas rasio penulangan $\rho = 0,025$
 Syarat ini telah terpenuhi karena ρ yang dipakai tidak lebih kecil dari ρ_{min} dan tidak lebih besar dari $\rho_{max} = 0,025$. **(OK)**
- Harus disediakan paling sedikit 2 tulangan menerus pada sisi atas dan bawah
 Syarat ini telah terpenuhi dengan jumlah tulangan pada daerah lapangan dan tumpuan sesuai dan melebihi dari syarat minimal. **(OK)**

SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.2

- Momen positif pada muka joint harus lebih besar atau sama dengan $\frac{1}{2}$ momen negatif
 $425542188,9 \text{ Nmm} \geq 0,5(-645185222,2)$
 $425542188,9 \text{ Nmm} \geq -322592611,1 \text{ Nmm}$ **(OK)**
- Momen positif atau negatif $\geq \frac{1}{4}$ momen maksimum pada joint. Pada syarat ini diambil momen terkecil pada tengah bentang
 $203149374,2 \text{ Nmm} \geq \frac{1}{4} \times (-645185222,2)$
 $203149374,2 \text{ Nmm} \geq 161296305,6 \text{ Nmm}$ **(OK)**

SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3

- Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui koint balok – kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

Tinggi efektif balok induk > 20 tulangan longitudinal terbesar balok

$$537 \text{ mm} > 20 (22)$$

$$537 \text{ mm} > 440 \text{ mm (OK)}$$

6.2.4 Penulangan Geser Balok Induk

- *Provable Moment Capacities (M_{pr})*

Kapasitas momen – momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kanan

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 112,07 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left(537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr+} = 555267234,8 \text{ Nmm}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 3419,46 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 74,71 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1,25 \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left(537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr-} = 801765336 \text{ Nmm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} = \frac{555267234,8 + 801765336}{6300} = 215402 \text{ N}$$

Kapasitas momen – momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kiri

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 3419,46 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 74,71 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left(537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr+} = 801765336 \text{ Nmm}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 112,07 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1,25 \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left(537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr-} = 555267234,8 \text{ Nmm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} = \frac{801765336 + 555267234,8}{6300} = 215402 \text{ N}$$

- Diagram geser

Reaksi geser pada balok akibat gaya gravitasi dengan kombinasi 1,2D +1L didapatkan dari program bantu komputer yaitu 168522,55 N

$$V_u = 168522,55 \text{ N} = 16852,255 \text{ kg}$$

$$q_u = \frac{V_u \times 2}{l_n} = \frac{16852,255 \times 2}{6,3} = 5349,92 \text{ kg/m}$$

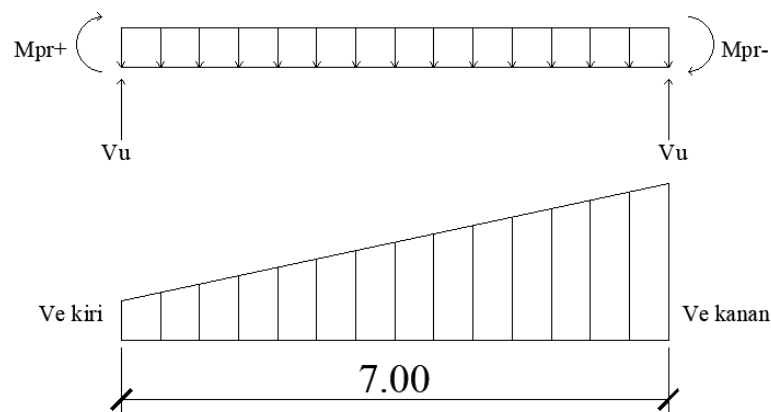
Struktur bergoyang ke kanan

- Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{sway} - V_u = 215402 - 168522,55 = 46879,45 \text{ N} = 4687,945 \text{ kg}$$

- Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$V_{e \text{ kanan}} = V_{sway} + V_u = 215402 + 168522,55 = 383924,55 \text{ N} = 38392,455 \text{ kg}$$



Gambar 6. 4 Diagram Geser (Bergoyang ke Kanan)

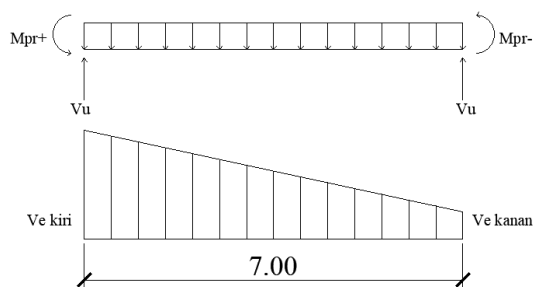
Struktur bergoyang ke kiri

- Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{sway} + V_u = 215402 + 168522,55 = 383924,55 \text{ N} = 38392,455 \text{ kg}$$

- Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$V_{e \text{ kanan}} = V_{sway} - V_u = 215402 - 168522,55 = 46879,45 \text{ N} = 4687,945 \text{ kg}$$



Gambar 6. 5 Diagram Geser (Bergoyang ke Kiri)

- Cek syarat geser SRPMK

Berdasarkan 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

$$V_{sway} \geq 0,5V_e$$

$$215402 \text{ N} \geq 0,5(383924,55)$$

$$215402 \text{ N} \geq 191962,275 \text{ N (OK)}$$

Pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 juga disyaratkan gaya tekan aksial terfaktor. P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari nilai berikut:

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

$$3517,87 \text{ N} < \frac{(500 \times 600) \times 35}{20}$$

$$3517,87 \text{ N} < 525000 \text{ N (OK)}$$

6.2.5 Syarat Detail Komponen Lentur

- Tulangan geser pada daerah sendi plastis

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

$$V_{S \text{ maks}} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_{S \text{ maks}} = \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 500 \times 537$$

$$V_{S \text{ maks}} = 529489,14 \text{ N}$$

$$V_S = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{168522,55}{0,75} - 0 = 224686,73 \text{ N}$$

$$V_S \leq V_{S \text{ maks}}$$

$$224686,73 \text{ N} \leq 529489,14 \text{ N (OK)}$$

Direncanakan spasi tulangan geser, $s = 100 \text{ mm}$, maka luas tulangan geser perlu adalah

$$A_{V \text{ perlu}} = \frac{V_S \times s}{f_y \times d} = \frac{224686,73 \times 100}{390 \times 537} = 107,29 \text{ mm}^2$$

Direncanakan spasi tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D12:

$$A_{V \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2 = 226,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{V \text{ pakai}} \geq A_{V \text{ perlu}}$$

$$226,08 \text{ mm}^2 \geq 107,29 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Cek syarat geser SRPMK pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.2 dan 18.6.4.4

Pada 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 tidak lebih 50 mm dari perletakan. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga c):

$$a) \frac{d}{4} = \frac{537}{4} = 268,5 \text{ mm}$$

$$b) 6 \times D_{longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$c) 150 \text{ mm}$$

Cek persyaratan:

$$S_{pakai} < 132 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 132 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) 2Ø12 – 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 $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$. Pada daerah ini nilai geser beton (V_c) diperhitungkan

$$V_c = 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17\sqrt{35} \times 500 \times 537$$

$$V_c = 270039,46 \text{ N}$$

Gaya geser yang terjadi pada daerah ujung sendi plastis adalah

$$V_u = V_e - (q_u \times 2h) = 383924,55 - (53499,2 \times 1,2) = 377504,64 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{377504,64}{0,75} - 270039,46 = 233300,06 \text{ N}$$

Direncanakan spasi tulangan geser, $s = 150 \text{ mm}$, maka luas tulangan geser perlu adalah

$$A_{V \text{ perlu}} = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{233300,06 \times 150}{390 \times 537} = 111,40 \text{ mm}^2$$

Direncanakan spasi tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D12:

$$A_{V \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2 = 226,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{V \text{ pakai}} \geq A_{V \text{ perlu}}$$

$$226,08 \text{ mm}^2 \geq 111,40 \text{ mm}^2$$

- Cek syarat geser SRPMK SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.6

Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang harus dipasang sepanjang bentang balok dengan spasi tidak boleh melebihi $\frac{d}{2}$.

Cek persyaratan

$$S_{pakai} < \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} < \frac{537}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 268,5 \text{ mm}$$

- Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) $\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$ pada daerah lapangan balok.

6.2.6 Penulangan Torsi Balok Induk

- Periksa kecukupan penampang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.7.1 dimensi penampang harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bd}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_u}{bd} + 0,66\sqrt{f'_c}\right)$$

Dari hasil analisa program bantu komputer, diperoleh nilai torsi maksimum dan geser maksimum sebagai berikut:

$$T_u = 30595350,4 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 223259,6 \text{ N}$$

Dimana:

- $V_c = 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d$
 $V_c = 0,17\sqrt{35} \times 500 \times 537$
 $V_c = 270039,46 \text{ N}$
- $b_h = b - 2ts - D_{geser}$
 $b_h = 500 - 2(40) - 12$
 $b_h = 408 \text{ mm}$
- $h_h = h - 2ts - D_{geser}$
 $h_h = 600 - 2(40) - 12$
 $h_h = 508 \text{ mm}$
- $A_{oh} = b_h \times h_h$
 $A_{oh} = 408 \times 508$

$$A_{oh} = 207264 \text{ mm}^2$$

$$- P_h = 2(b_h + h_h)$$

$$P_h = 2(408 + 508)$$

$$P_h = 1832 \text{ mm}$$

Maka:

$$\sqrt{\left(\frac{223259,6}{500 \times 537}\right)^2 + \left(\frac{30595350,4 \times 1832}{1,7(207264)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{223259,6}{500 \times 537} + 0,66\sqrt{35}\right)$$

$$1,13 \text{ MPa} \leq 3,55 \text{ MPa (OK)}$$

Karena nilai $1,13 \text{ MPa} \leq 3,55 \text{ MPa}$, maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

- Periksa persyaratan pengaruh puntir

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.7.4.1(a) tulangan torsi dapat diabaikan jika memenuhi persyaratan berikut:

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

Dimana:

$$- A_{cp} = b \times h = 500 \times 600 = 300000 \text{ mm}^2$$

$$- P_{cp} = 2(b + h) = 2(500 + 600) = 2200 \text{ mm}$$

Maka:

$$30595350,4 < 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left(\frac{300000^2}{2200}\right)$$

$30595350,4 \text{ Nmm} > 20087780 \text{ Nmm}$ maka memerlukan tulangan torsi

- Kebutuhan tulangan torsi geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6 kebutuhan tulangan torsi geser dihitung sesuai dengan persamaan:

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

$$\phi T_n \geq T_u$$

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

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

Dengan nilai A_o berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1.1 boleh diambil sama dengan $0,85A_{oh}$ dan nilai θ berdasarkan SNI 847:2019 Pasal 22.7.6.1.2 boleh diambil sama dengan 45° .

$$A_o = 0,85A_{oh} = 0,85(207264) = 176174,4 \text{ mm}^2$$

Maka kebutuhan tulangan torsi dapat dihitung:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{30595350,4}{0,75 \times 2 \times 176174,4 \times 390 \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,90 \text{ mm}^2$$

- Tulangan longitudinal penahan torsi

Distribusi tulangan longitudinal (Al) torsi dihitung sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1

$$Al = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$Al = 0,48 \times 1832 \left(\frac{390}{390} \right) \cot^2 45$$

$$Al = 335,16 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.3 luas tebal maksimum tulangan torsi longitudinal, Al_{min} , dihitung dengan:

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

$$0,90 \geq \frac{0,175 \times 500}{390}$$

$$0,90 \geq 0,22$$

Maka diambil nilai $\frac{A_t}{s} = 0,48$

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

$$Al_{min} = 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{300000}{390} - (0,90) \times 1832 \times \left(\frac{390}{390} \right)$$

$$Al_{min} = 262,55 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$Al \geq Al_{min}$$

$$335,16 \text{ mm}^2 \geq 262,55 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

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

$$\frac{335,16}{4} = 83,79 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya:

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

Maka masing – masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $83,79 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{335,16}{4} = 167,58 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D16 pada tulangan puntir pada dua sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan:

$$A_{S_{pasang}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi (16)^2 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{pasang}} \geq A_{S_{perlu}}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 167,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan geser tumpuan setelah torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{224686,73}{390 \times 537} = 1,07 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \left(\frac{A_t}{s} \right) = 1,07 + 2(0,90) = 2,87 \text{ mm}^2$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D12 – 100 mm

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 2,26 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$2,26 \text{ mm}^2 < 2,87 \text{ mm}^2 \text{ (TIDAK OK)}$$

Tulangan sengkang terpasang belum mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi, maka dicoba menggunakan sengkang 3 kaki D12 – 100 mm.

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{3 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 3,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$3,39 \text{ mm}^2 \geq 2,87 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan geser lapangan setelah torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{233300,06}{390 \times 537} = 1,11 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \left(\frac{A_t}{s} \right) = 1,11 + 2(0,90) = 2,91 \text{ mm}^2$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D12 – 100 mm

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 2,26 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$2,26 \text{ mm}^2 < 2,91 \text{ mm}^2 \text{ (TIDAK OK)}$$

Tulangan sengkang terpasang belum mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi, maka dicoba menggunakan sengkang 3 kaki D12 – 100 mm.

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{3 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 3,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v \text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$3,39 \text{ mm}^2 \geq 2,91 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

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

- Penambahan luas tulangan perlu

- Tumpuan atas (9D22)

$$A_{S_{perlu}} = 3329,4 + 83,79 = 3413,19 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{perlu}} \leq A_{S_{pakai}}$$

$$3413,19 \text{ mm}^2 \leq 3419,46 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tumpuan bawah (6D22)

$$A_{S_{perlu}} = 2148 + 83,79 = 2231,79 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{perlu}} \leq A_{S_{pakai}}$$

$$2231,79 \text{ mm}^2 \leq 2279,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Lapangan atas (4D22)

$$A_{S_{perlu}} = 950,5 + 83,79 = 1034,29 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{perlu}} \leq A_{S_{pakai}}$$

$$1034,29 \text{ mm}^2 \leq 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Lapangan bawah (5D22)

$$A_{S_{perlu}} = 993,45 + 83,79 = 1077,24 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{perlu}} \leq A_{S_{pakai}}$$

$$1077,24 \text{ mm}^2 \leq 1900,66 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

6.2.7 Penyaluran dan Sambungan Lewatan Tulangan Balok Induk

1. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.1, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik harus diambil nilai yang terbesar dari:

$$ld = 300 \text{ mm}$$

$$ld = \left(\frac{f_y \Psi_1 \Psi_2}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) db \text{ untuk } D \geq D19$$

$$ld = \left(\frac{390 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$ld = 853,11 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang digunakan adalah sebesar 900 mm

2. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.4.9.1, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tekan harus diambil nilai yang terbesar dari:

$$ldc = 200 \text{ mm}$$

$$ldc = \left(\frac{0,24 f_y \Psi_\gamma}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

$$ldc = \left(\frac{0,24 \times 390 \times 1}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$ldc = 348,07 \text{ mm}$$

$$ldc = 0,043 f_y \Psi_\gamma db = 0,043 \times 390 \times 1 \times 22 = 368,94 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang digunakan adalah sebesar 400 mm

3. Panjang Penyaluran Kait Tulangan Lentur

Berdasarkan 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:

$$ld = 8db = 8(22) = 176 \text{ mm}$$

$$ld = 150 \text{ mm}$$

$$ld = \left(\frac{0,24 f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_\gamma}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

$$ld = \left(\frac{0,24 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$ld = 348,07 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang digunakan adalah sebesar 400 mm

4. Sambungan Lewatan Tulangan Tarik

Panjang sambungan lewatan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 25.5.2.1 yaitu sebesar:

$$l_{st} = 1,3 \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

$$l_{st} = 1,3 \left(\frac{390 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$l_{st} = 897,80 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$$

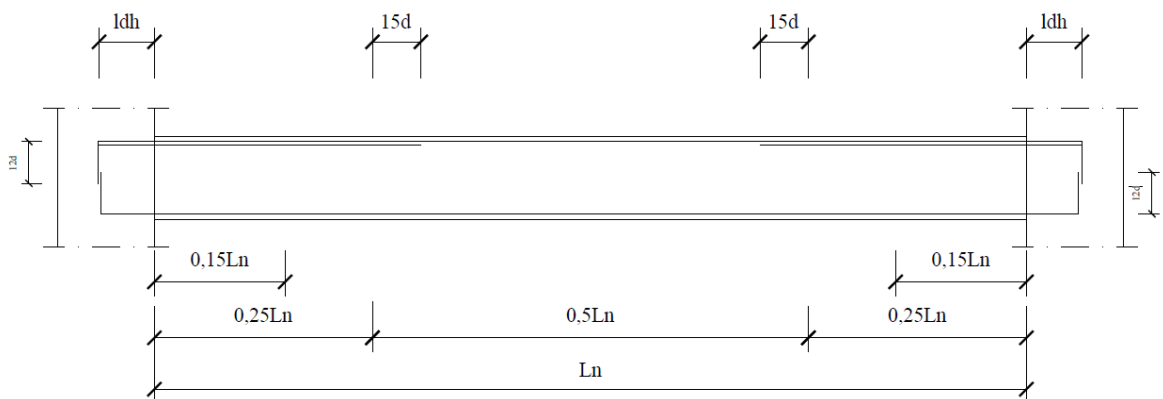
5. Sambungan Lewatan Tulangan Tekan

Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tekan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 25.5.5.1 yaitu sebesar:

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

$$l_{sc} = 0,071 f_y db = 0,071 \times 390 \times 22 = 609,18 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

6.2.8 Pemutusan Tulangan Balok Induk



Gambar 6. 6 Pemutusan Tulangan Balok

$$l_{dh} = 400 \text{ mm}$$

$$12d = 12 \times 22 = 264 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

$$15d = 15 \times 22 = 330 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

$$l_n = 7000 - (350 + 350) = 6300 \text{ mm}$$

$$0,25l_n = 0,25 \times 6300 = 1575 \text{ mm}$$

$$0,50l_n = 0,50 \times 6300 = 3150 \text{ mm}$$

$$0,15l_n = 0,15 \times 6300 = 945 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tumpuan dari penjangkaran:

$$ldh + 0,25ln + 15d = 400 + 1575 + 350 = 2325 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tarik lapangan:

$$6300 - (2 \times 0,15ln) = 6300 - (2 \times 945) = 4410 \text{ mm}$$

6.2.9 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

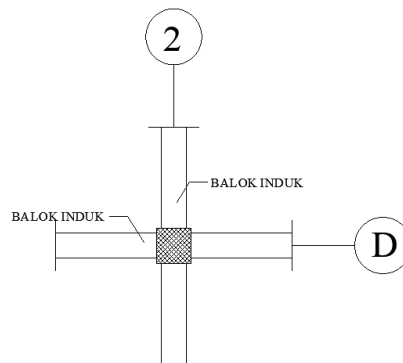
Tabel 6. 9 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan	Lapangan
500/600	Atas	9D22	4D22
	Tengah	2D16	2D16
	Bawah	6D22	5D22
	Senggang	2D12 – 100	2D12 – 100

6.3 Perencanaan Kolom

Perencanaan kolom pada Gedung Hotel Dame ini akan dibahas mengenai desain penulangan kolom, kontrol kekuatan kolom menggunakan program bantu komputer dan juga pendetailan kolom sesuai dengan peraturan.

6.3.1 Data Perencanaan



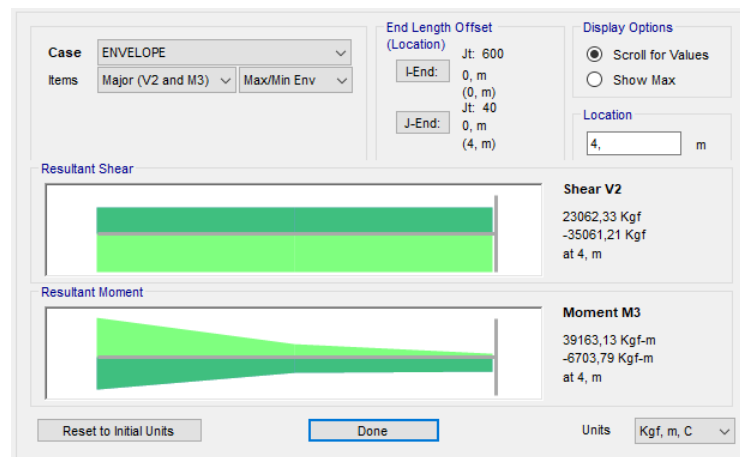
Gambar 6. 7 Kolom yang Ditinjau

- Mutu beton (f'_c) : 35 MPa
- Mutu tulangan (f_y) : 390 MPa
- Panjang (L) : 4000 mm
- Tinggi (h) : 700 mm
- Lebar (b) : 700 mm
- Tulangan lentur : D29

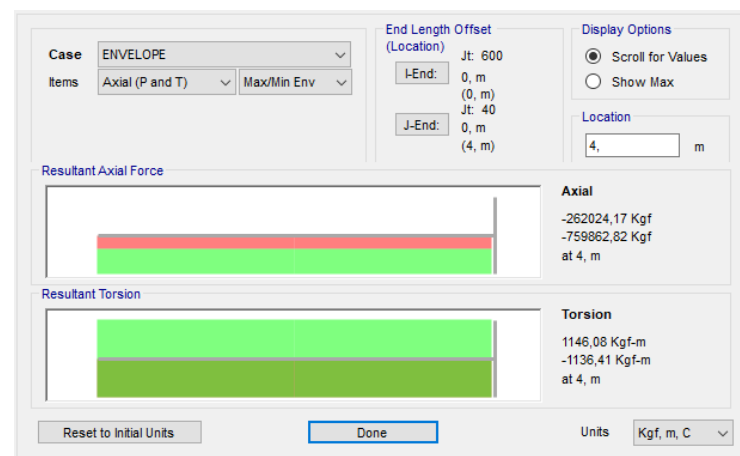
- Tulangan geser : D13
- Tebal selimut (ts) : 40 mm

6.3.2 Analisa Gaya Dalam

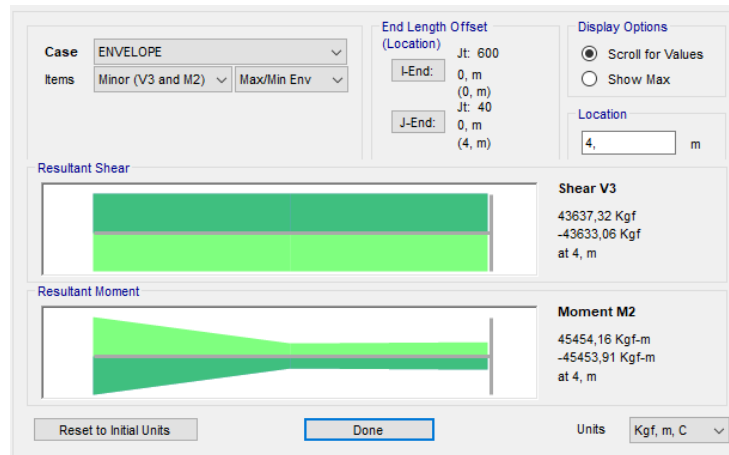
Setelah pembebanan dilakukan, maka perhitungan untuk mencari momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer sehingga perhitungan statistiknya sebagai berikut:



Gambar 6. 8 Diagram Geser dan Momen Sumbu Y



Gambar 6. 9 Diagram Aksial dan Torsi



Gambar 6. 10 Diagram Geser dan Momen Sumbu X

Tabel 6. 10 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom

Gaya Dalam	Besar	Satuan
M_{1ns} Arah X (M3)	39163,13	kgm
M_{2ns} Arah X (M3)	85661,64	kgm
M_{1ns} Arah Y (M2)	45454,16	kgm
M_{2ns} Arah Y (M2)	129148,45	kgm
Aksial	759862,82	kg
Torsi	1146,08	kgm
Geser	35061,21	kg
Δ_0	7,9	mm

6.3.3 Perencanaan Tulangan Longitudinal

6.3.3.1 Menentukan Kolom Sway atau Non Sway

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.6.4.3 kolom dan tingkat pada struktur boleh dianggap tak bergoyang jika memenuhi persyaratan berikut:

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} L_c} = \frac{759862,82 \times 7,9}{35061,21 \times 4000} \leq 0,05$$

$$Q = 0,043 \leq 0,05$$

Maka termasuk kolom *non sway*.

6.3.3.2 Kontrol Kelangsingan Kolom

Kolom 700 x 700 mm²:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 700 \times 700^3$$

$$I_g = 14005833333 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,6 \times 14005833333 = 3,89 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Balok induk 500 x 600 mm² (Arah X):

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 600^3$$

$$I_g = 6300000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,6 \times 6300000000 = 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Balok induk 500 x 600 mm² (Arah Y):

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 600^3$$

$$I_g = 6300000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,6 \times 6300000000 = 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Selanjutnya, menghitung faktor panjang tekuk kolom (k) dengan persamaan sebagai berikut:

Kekakuan kolom atas

$$\Psi_A = \frac{\frac{E_c \times I_{kolom}}{l_{bawah}} + \frac{E_c \times I_{kolom}}{l_{atas}}}{\frac{E_c \times I_{balok x}}{l_{bawah}} + \frac{E_c \times I_{balok x}}{l_{atas}} + \frac{E_c \times I_{balok y}}{l_{bawah}} + \frac{E_c \times I_{balok y}}{l_{atas}}}$$

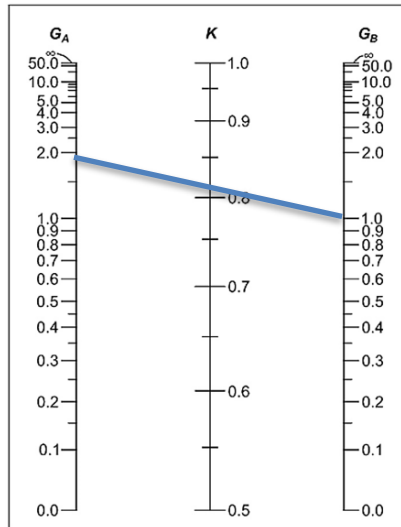
$$\Psi_A = \frac{\frac{3,89 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,89 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000}}$$

$$\Psi_A = 1,9$$

Kekakuan kolom bawah

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

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k):



Gambar 6. 11 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom

Dari nomogram di atas didapatkan nilai $k = 0,81$

Jari – jari inersia (r)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.2.5.1 Radius girasi (r), diizinkan untuk dihitung dengan persamaan berikut:

$$r = 0,3b = 0,3 \times 0,7 = 0,21 \text{ m}$$

Kontrol kelangsingan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.2.5 pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan jika memenuhi persamaan sebagai berikut:

Untuk struktur kolom tidak bergoyang

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

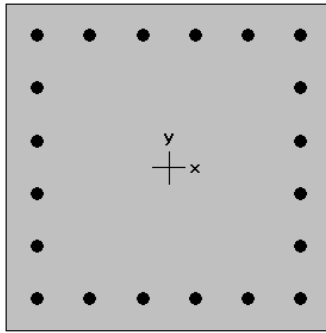
$$\frac{0,81 \times 4}{0,21} \leq 34 - 12 \left(\frac{39163,13}{85661,64} \right) \leq 40$$

$$15,43 \leq 28,51 \leq 40 \text{ (OK)}$$

Maka, kelangsingan kolom diabaikan

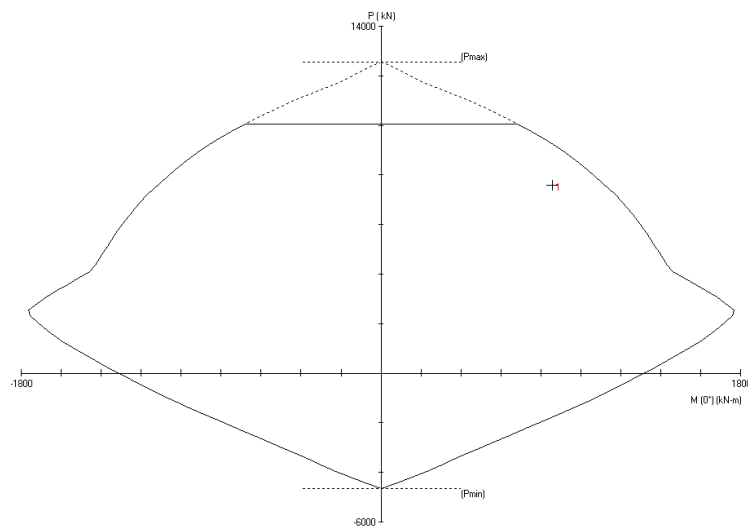
6.3.3.3 Desain Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak boleh lebih dari $0,060A_g$. Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan, digunakan program bantu komputer.

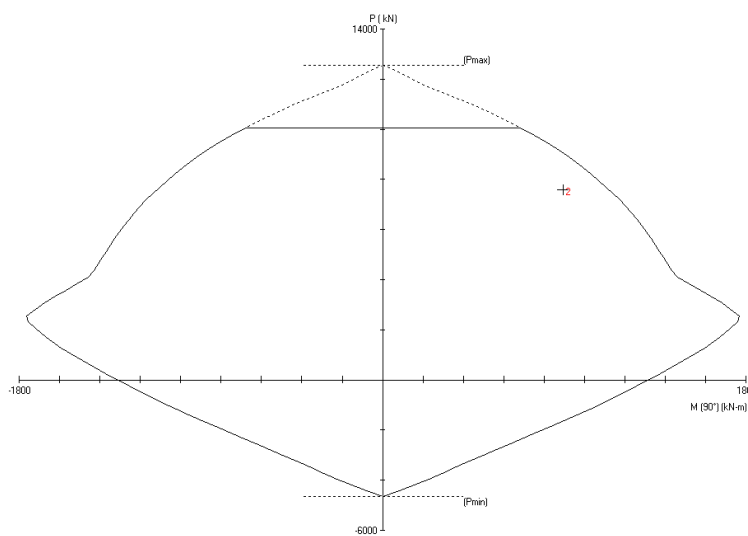


700 x 700 mm
2.70% reinf.

Gambar 6. 12 Konfigurasi Penulangan



Gambar 6. 13 Diagram Interaksi Arah X



Gambar 6. 14 Diagram Interaksi Arah Y

Dari hasil desain menggunakan program bantu komputer berdasarkan gaya dalam dengan dimensi kolom yang digunakan yaitu 700 x 700 mm, didapatkan konfigurasi penulangan 20D29. Berdasarkan konfigurasi tersebut didapatkan rasio tulangan $\rho = 2,70\% = 0,027$, sehingga nilai $0,01 < \rho < 0,06 = 0,01 < 0,027 < 0,06$ terpenuhi.

6.3.4 Kuat Maksimal Tekan Rencana pada Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2.2 untuk komponen nonprategang dan komponen komposit baja – beton, nilai P_n max dihitung dengan persamaan berikut:

$$\phi P_{n \max} = \phi 0,85(0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$$

$$\phi P_{n \max} = 0,75 \times 0,85(0,85 \times 35(490000 - 13203,7)) + 390 \times 13203,7$$

$$\phi P_{n \max} = 9051405,81 \text{ N}$$

$$\phi P_{n \max} > P_u = 9051405,81 \text{ N} > 759862 \text{ N (OK)}$$

6.3.5 Cek Persyaratan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2 kolom – kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan – persyaratan berikut:

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

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

$$700 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (OK)}$$

- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4

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

$$\frac{700}{700} \geq 0,4$$

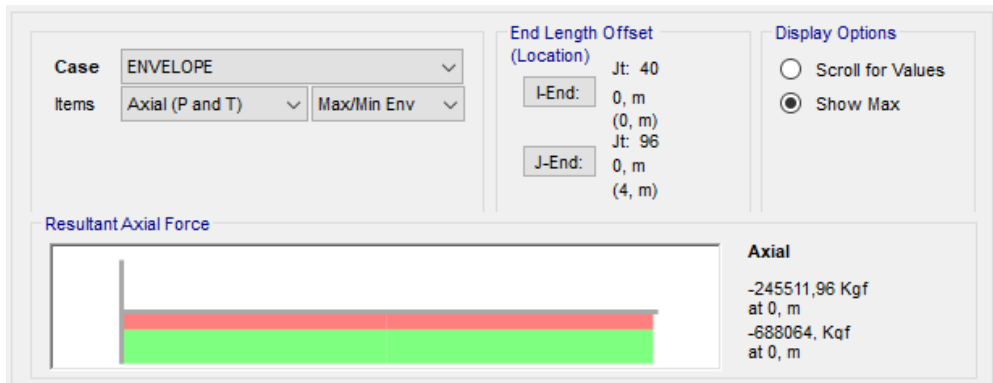
$$1 \geq 0,4 \text{ (OK)}$$

6.3.6 Cek Persyaratan Strong Column Weak Beam

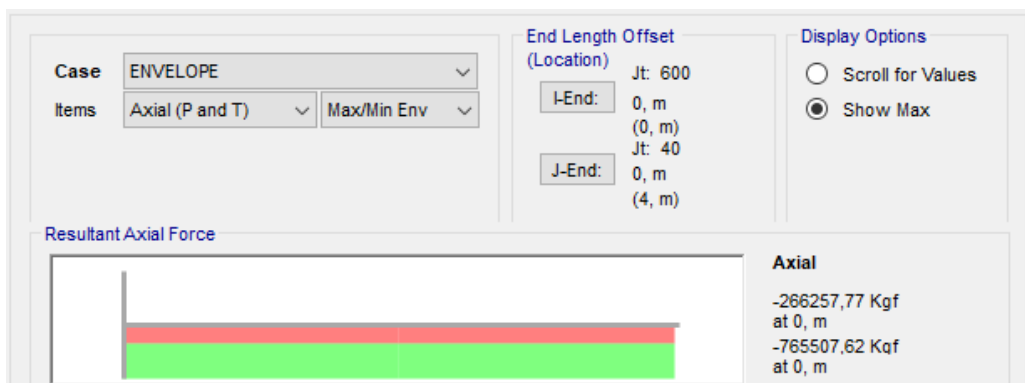
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan berikut:

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

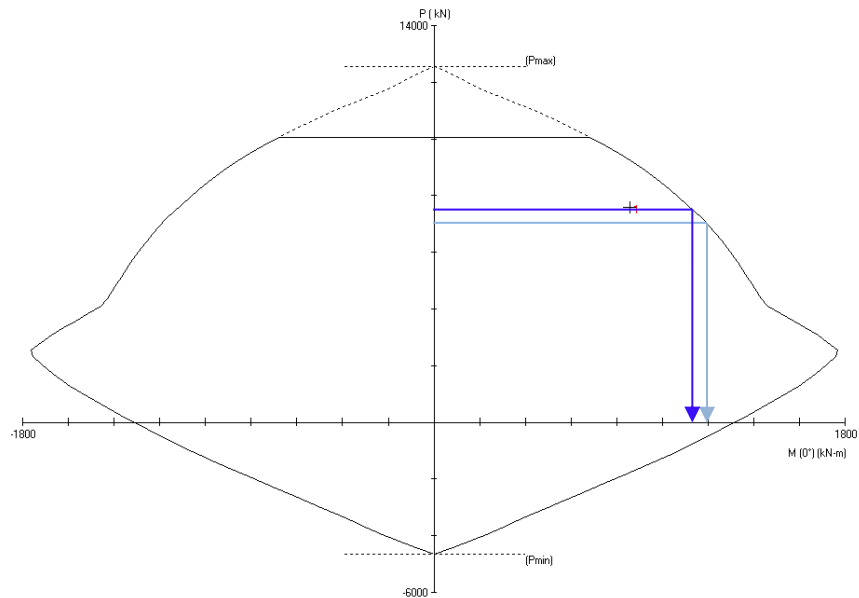
Nilai M_{nc} didapatkan dari diagram interaksi dengan menyesuaikan dengan gaya aksial terfaktor. Dimana nilai gaya aksial terfaktor didapatkan dari program bantu komputer.



Gambar 6. 15 Gaya Aksial pada Lantai Atas Kolom



Gambar 6. 16 Gaya Aksial pada Lantai Bawah Kolom



Gambar 6. 17 Diagram Interaksi Arah X

Gaya aksial yang didapatkan dari program bantu computer disesuaikan dengan nilai M_{nc} dengan menggunakan program bantu komputer, sehingga didapatkan nilai M_{nc} :

Tabel 6. 11 Beban dan Momen Terfaktor dengan Kapasitas yang Sesuai

Pu (kN)	ϕM_{nc} (kNm)
6880,64	1185
7655,08	1104

$$M_{nc_{atas}} = \frac{1185}{0,65} = 1823,08 \text{ kNm}$$

$$M_{nc_{bawah}} = \frac{1104}{0,65} = 1698,46 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nc} = M_{nc_{atas}} + M_{nc_{bawah}}$$

$$\Sigma M_{nc} = 1823,08 + 1698,46$$

$$\Sigma M_{nc} = 3521,54 \text{ kNm}$$

M_{nb} adalah momen balok yang berada pada sumbu lemah kolom. Balok yang berada pada sumbu lemah kolom yaitu balok induk dengan tulangan lentur sebagai berikut:

$$\text{Tulangan atas (9D22)} : A_s = 3419,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah (6D22)} : A_s = 2231,79 \text{ mm}^2$$

Pada kolom terdapat balok dan pelat lantai yang menyatu juga sehingga dalam menghitung M_{nb} mengikutsertakan luas tulangan pelat selebar lebar efektif pelat. Pusat berat tulangan balok:

$$d' = \frac{6(ts + D_{geser} + 0,5D_{lentur}) + 3(ts + D_{geser} + D_{lentur} + 25 + 0,5D_{lentur})}{6+3}$$

$$d' = \frac{6(40+12+0,5(22)) + 3(40+12+22+25+0,5(22))}{6+3}$$

$$d' = 78,67 \text{ mm}$$

Jarak antar A_s tulangan pada balok dan pelat (atas):

$$d^1 = d' - s_{pelat} - 0,5D_{pelat}$$

$$d^1 = 78,67 - 20 - 0,5(10)$$

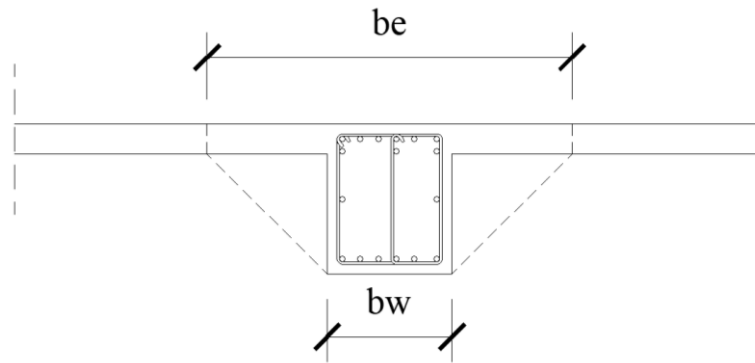
$$d^1 = 53,67 \text{ mm}$$

Jarak antar A_s tulangan pada balok dan pelat (bawah):

$$d^2 = t_{pelat} - d^1 - s_{pelat} - 0,5D_{pelat}$$

$$d^2 = 120 - 53,67 - 20 - 0,5(10)$$

$$d^2 = 41,33 \text{ mm}$$



Gambar 6. 18 Lebar Efektif Balok T

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.3.2.1 untuk lebar balok T diambil nilai yang terkecil (a), (b), (c):

$$a) \quad bw + 8h = 500 + 8 \times 120 = 1460 \text{ mm}$$

$$b) \quad bw + \frac{S_w}{2} = 500 + \frac{6300}{2} = 3650 \text{ mm}$$

$$c) \quad bw + \frac{l_n}{2} = 500 + \frac{6300}{2} = 3650 \text{ mm}$$

Maka diambil be adalah 1460 mm

Luas tulangan atas

$$A_{S_{atas}} = A_{S_{balok}} + \left(\frac{be}{\text{jarak tul.pelat}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right)$$

$$A_{S_{atas}} = 3419,46 + \left(\frac{1460}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right)$$

$$A_{S_{atas}} = 3992,51 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan bawah

$$A_{S_{bawah}} = 2279,64 \text{ mm}^2$$

Tinggi efektif balok T

$$d_{atas} = d - \left[\left(\frac{A_{S_{pelat}}}{A_{S_{atas}}} \times d^1 \right) + \left(\frac{A_{S_{pelat}}}{A_{S_{atas}}} \times d^2 \right) \right]$$

$$d_{atas} = 521,33 - \left[\left(\frac{393}{3992,51} \times 53,67 \right) + \left(\frac{393}{3992,51} \times 41,33 \right) \right]$$

$$d_{atas} = 511,979 \text{ mm}$$

$$d_{bawah} = 537 \text{ mm}$$

$$a^- = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{3992,51 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 104,678 \text{ mm}$$

$$Mnb^- = A_s \times f_y \left(d - \frac{a^-}{2} \right) = 3992,51 \times 390 \left(511,979 - \frac{104,678}{2} \right)$$

$$Mnb^- = 715695672,7 \text{ Nmm} = 715,70 \text{ kNm}$$

$$a^+ = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 59,77 \text{ mm}$$

$$Mnb^+ = A_s \times f_y \left(d - \frac{a^+}{2} \right) = 2279,64 \times 390 \left(537 - \frac{59,77}{2} \right)$$

$$Mnb^+ = 450856031,3 \text{ Nmm} = 450,86 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mnb = Mnb^- + Mnb^+$$

$$\Sigma Mnb = 715,70 + 450,86$$

$$\Sigma Mnb = 1166,56 \text{ kNm}$$

Setelah didapatkan ΣMnc dan ΣMnb maka dilakukan pengeekan persyaratan berikut:

$$\Sigma Mnc \geq 1,2 \Sigma Mnb$$

$$3521,54 \text{ kNm} \geq (1,2)1166,56 \text{ kNm}$$

$$3521,54 \text{ kNm} \geq 1399,872 \text{ kNm}$$

Untuk persyaratan *strong column weak beam* terpenuhi.

6.3.7 Perhitungan Tulangan Confinement

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari masing – masing muka *joint* kolom. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar persamaan berikut:

- Tinggi komponen struktur pada muka *joint*:

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

- Seperenam tinggi bersih kolom

$$\frac{1}{6}l_n = \frac{1}{6} \times 3400 = 566,67 \text{ mm}$$

- 450 mm

Maka diambil pengekang terpanjang $l_0 = 600 \text{ mm}$ dari muka tumpuan

$$P_u \leq 0,3Agf'_c$$

$$7598628,2 \text{ N} \leq 0,3 \times 700 \times 700 \times 35$$

$$7598628,2 \text{ N} \leq 7720000 \text{ N}$$

Karena nilai $P_u \leq 0,3Agf'_c$, maka berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4 total luas penampang hoops diambil terbesar dari:

$$a) \frac{Ash}{s} = 0,3 \left(\frac{Ag}{Ach} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} bc$$

$$b) \frac{Ash}{s} = 0,09 \frac{f'_c}{f_y} bc$$

Dimana:

- Luas penampang beton

$$A_g = b \times h = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang sampai luar tulangan

$$A_{ch} = (b - 2ts)(h - 2ts) = (700 - 2(40))(700 - 2(40)) = 384400 \text{ mm}^2$$

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

$$bc = b - 2ts = 700 - 2(40) = 620 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$a) \frac{Ash}{s} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} bc$$

$$\frac{Ash}{s} = 0,3 \left(\frac{490000}{384400} - 1 \right) \times \frac{35}{390} \times 620$$

$$\frac{Ash}{s} = 4,59 \text{ mm}$$

$$b) \frac{Ash}{s} = 0,09 \frac{f'_c}{f_y} bc$$

$$\frac{Ash}{s} = 0,09 \times \frac{35}{390} \times 620$$

$$\frac{Ash}{s} = 5,01 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terbesar yaitu $\frac{Ash}{s} = 5,01 \text{ mm}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal dari muka tumpuan kolom tidak boleh melebihi nilai dari:

- Seperempat dimensi terkecil penampang kolom

$$S_0 = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$$

- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_0 = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

- S_0 yang dihitung dengan:

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

Dengan hx merupakan nilai terbesar dari spasi pusat ke pusat antara tulangan dengan tulangan yang bersebelahan

$$hx = \frac{(700 - 2(40) - 2(13) - 29)}{4} = 141,25 \text{ mm}$$

$$S_0 = 100 + \left(\frac{350 - 141,25}{3} \right) = 169,583 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3 juga disebutkan bahwa nilai S_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm. Maka direncanakan spasi tulangan sebesar 100 mm.

$$\frac{Ash}{s} = 5,01 \text{ mm}$$

$$Ash = 5,01 \times 100$$

$$Ash = 501 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan sengkang 5 kaki D13 – 100 mm

$$Ash_{pakai} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$Ash_{pakai} = 5 \times \frac{1}{4} \pi (13)^2$$

$$Ash_{pakai} = 663,93 \text{ mm}^2$$

$$Ash_{pakai} \geq Ash_{perlu} = 663,93 \text{ mm}^2 \geq 501 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5 untuk daerah di luar l_0 harus diberi tulangan transversal dengan spasi minimum tidak kurang dari :

- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_0 = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

- $S_0 = 150 \text{ mm}$

Maka direncanakan spasi tulangan di luar daerah l_0 sebesar $174 \text{ mm} \approx 180 \text{ mm}$

6.3.8 Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1 gaya geser desain, V_e tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan M_{pr} balok yang merangka ke *joint*. Nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

- Gaya geser M_{pr} kolom

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

Dimana nilai M_{pr} kolom dihitung seperti berikut:

Tulangan terpasang pada kolom 20D29 ($A_s = 13203,7 \text{ mm}^2$)

$$a_{prc} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 13203,7 \times 390}{0,85 \times 35 \times 700} = 309,09 \text{ mm}$$

$$M_{prc} = 1,25 \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a_{prc}}{2} \right) = 1,25 \times 13203,7 \times 390 \left(632,5 - \frac{309,09}{2} \right)$$

$$M_{prc} = 3076501841 \text{ Nmm}$$

Gaya geser Mpr kolom adalah:

$$V_e = \frac{3076501841+3076501841}{3400} = 1809706,97 \text{ N}$$

Gaya geser Mpr kolom tidak perlu melebihi nilai gaya geser Mpr balok yang dihitung seperti berikut:

- Gaya geser Mpr balok

$$V_e = \frac{Mpr_{atas}DF_{atas}+Mpr_{bawah}DF_{bawah}}{l_u}$$

DF adalah faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah elemen yang didesain, karena kekakuan kolom di lantai atas dan bawah sama maka $DF_{atas} = DF_{bawah} = 0,5$

$$V_e = \frac{(1357032571 \times 0,5) + (1357032571 \times 0,5)}{3400} = 399127,227 \text{ N}$$

- Gaya geser hasil analisis

$$V_e = 350612,1 \text{ N}$$

- Gaya geser yang dipakai

$$V_{e_{analisis}} \leq V_{e_{kolom}} \leq V_{e_{balok}}$$

$$350612,1 \text{ N} \leq 1809707 \text{ N} \geq 399127,227 \text{ N}$$

Maka digunakan $V_e = 399127,227 \text{ N}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.2.1 tulangan transversal didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ apabila:

$$V_e \geq 0,5V_u$$

$$399127,227 \text{ N} \geq 0,5(1809706,97)$$

$$399127,227 \text{ N} \leq 904853,483 \text{ N} \text{ (TIDAK OK)}$$

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

$$7598628,2 \text{ N} < \frac{490000 \times 35}{20}$$

$$7598628,2 \text{ N} > 857500 \text{ N} \text{ (TIDAK OK)}$$

Karena kedua syarat tidak dipenuhi maka tidak dapat diasumsikan $V_c = 0$, maka nilai V_c harus dihitung sebagai berikut:

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

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{7598628,2}{14 \times 490000} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 700 \times 632,5$$

$$V_c = 938522,066 \text{ N}$$

Pada kolom digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, sehingga:

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

Karena sebelumnya dipasang tulangan *confinement* 5 kaki D13 – 100 mm, maka

$$V_s = \frac{663,93 \times 390 \times 632,5}{100} = 1637749,33 \text{ N}$$

Sehingga:

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_{e_{kolom}}$$

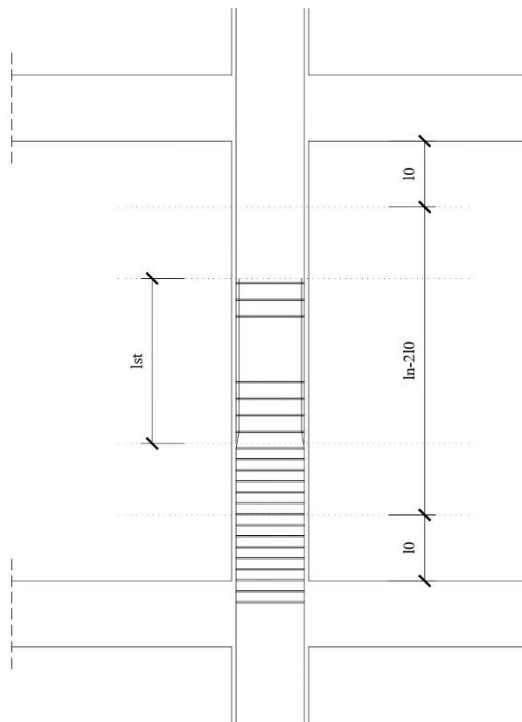
$$0,75(938522,066 + 1637749,33) \geq 1809707 \text{ N}$$

$$1932203,54 \text{ N} \geq 1809707 \text{ N}$$

6.3.9 Perhitungan Sambungan Lewatan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.3 sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal. Panjang sambutan lewatan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 25.5.2.1 yaitu sebesar:

$$l_{st} = 1,3 \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b = 1,3 \left(\frac{390 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 29 = 1461,92 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$$



Gambar 6. 19 Pemasangan Tulangan Kolom

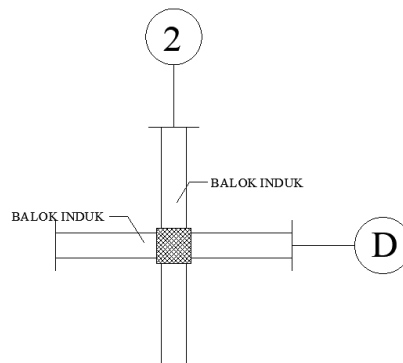
6.3.10 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tabel 6. 12 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe	Dimensi (mm)	Longitudinal	Transversal	
			Sambungan	
K1	700/700	20D29	Sambungan	5D13 – 100
			Tengah	5D13 – 150
			Ujung	5D13 – 100

6.4 Desain Hubungan Balok Kolom

Pertemuan antara balok dengan kolom untuk sistem rangka pemikul momen khusus diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.8. Contoh perhitungan hubungan balok kolom dilakukan pada salah satu *joint* di lantai 1 sebagaimana ditunjukkan denah berikut:



Gambar 6. 20 Hubungan Balok Kolom yang Ditinjau

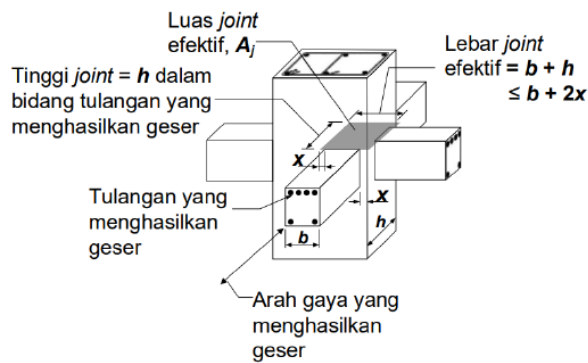
6.4.1 Cek Persyaratan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3 bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok – kolom, maka dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar dari balok tersebut.

$$20D_{balok} = 20 \times 29 = 580 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm (OK)}$$

6.4.2 Luas Efektif *Joint*

Luas efektif *joint*, A_j berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.3 dihitung dari perkalian antara tinggi dengan lebar efektif *joint*.



Gambar 6. 21 Luas *Joint* Efektif

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

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

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

$$b_{\text{efektif}} = 500 + 700 \leq 500 + 2 \times \left(\frac{700-500}{2} \right)$$

$$b_{\text{efektif}} = 1200 \text{ mm} \geq 700 \text{ mm}$$

$$b_{\text{efektif}} = 700 \text{ mm}$$

$$A_j = h \times b_{\text{efektif}} = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

6.4.3 Cek Persyaratan Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.2 bila keempat sisi *joint* terdapat balok yang merangka kepadanya dan lebar balok tidak kurang dari $\frac{3}{4}$ lebar kolom, maka jumlah tulangan *confinement* dapat direduksi setengahnya. Berdasarkan pasal tersebut juga, spasi tulangan *confinement* dapat diperbesar hingga 150 mm.

$$b_{\text{balok}} \geq \frac{3}{4} b_{\text{kolom}}$$

$$500 \text{ mm} \geq \frac{3}{4} \times 700$$

$$500 \text{ mm} < 525 \text{ mm}$$

Maka jumlah tulangan *confinement* tidak perlu direduksi setengahnya dan spasi tulangan *confinement* tidak perlu diperbesar hingga 150 mm.

6.4.4 Desain HBK Terkekang 4 Balok

6.4.4.1 Cek Gaya Geser pada Joint

Geser pada *joint* dihitung menggunakan momen probabilitas (M_{pr}) tulangan atas dan tulangan bawah balok dengan nilai DF adalah 0,5.

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

$$M_c = 0,5(801765336 + 555267234,8)$$

$$M_c = 678516285,4 \text{ Nmm}$$

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

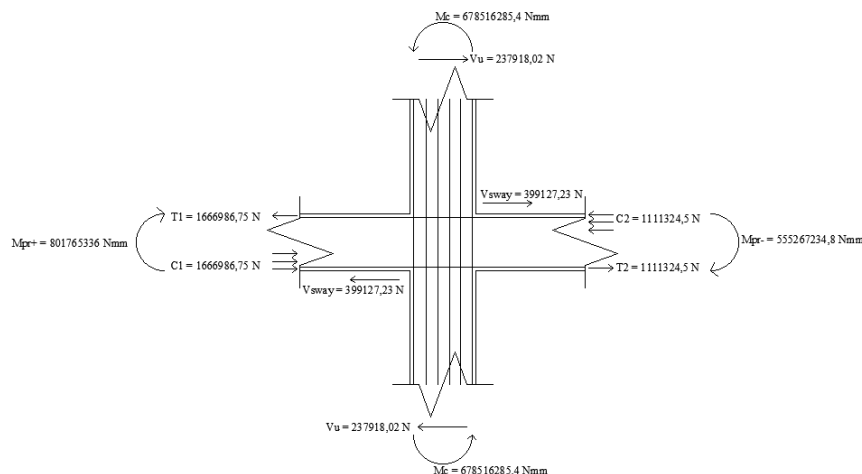
$$V_{sway} = \frac{M_{catas} + M_{cbawah}}{l_u} = \frac{678516285,4 + 678516285,4}{3400} = 399127,23 \text{ N}$$

Selain akibat V_{sway} , 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*
 $T_1 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 3419,46 \times 390 = 1666986,75 \text{ N}$
- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri *joint*
 $C_1 = T_1 = 1666986,75 \text{ N}$
- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kanan *joint*
 $T_2 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 2279,64 \times 390 = 1111324,5 \text{ N}$
- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kanan *joint*
 $C_2 = T_2 = 1111324,5 \text{ N}$

Sehingga total gaya geser yang bekerja pada *joint* adalah:

$$V_u = T_1 + C_2 - V_{sway} = 1666986,75 + 1111324,5 - 399127,23 = 2379184,02 \text{ N}$$



Gambar 6. 22 HBK Terkekang 4 Balok

6.4.4.2 Kapasitas Kuat Geser *Joint*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kapasitas kekuatan geser nominal pada *joint*, V_n dengan *joint* yang terkekang balok pada keempat sisinya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = 1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j = 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 490000 = 4928094,46 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 4928094,46 \geq 2379184,02 \text{ N}$$

$$3696070,84 \text{ N} \geq 2379184,02 \text{ N (OK)}$$

6.4.5 Desain HBK Terkekang 3 atau 2 Balok

6.4.5.1 Cek Gaya Geser pada *Joint*

Geser pada *joint* dihitung menggunakan momen probabilitas (M_{pr}) tulangan atas dan tulangan bawah balok dengan nilai DF adalah 0,5.

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

$$M_c = 0,5(801765336)$$

$$M_c = 400882668 \text{ Nmm}$$

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

$$V_{sway} = \frac{M_{catas} + M_{cbawah}}{l_u} = \frac{400882668 + 400882668}{3400} = 235813,33 \text{ N}$$

Selain akibat V_{sway} , 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*

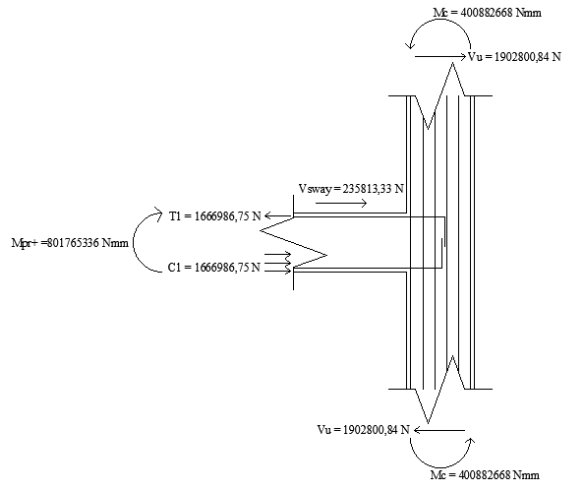
$$T_1 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 3419,46 \times 390 = 1666986,75 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri *joint*

$$C_1 = T_1 = 1666986,75 \text{ N}$$

Sehingga total gaya geser yang bekerja pada *joint* adalah:

$$V_u = T_1 - V_{sway} = 1666986,75 - 235813,33 = 1902800,84 \text{ N}$$



Gambar 6. 23 HBK Terkekang 3 atau 2 Balok

6.4.5.2 Kapasitas Kuat Geser *Joint*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kapasitas kekuatan geser nominal pada *joint*, V_n dengan *joint* yang terkekang balok pada keempat sisinya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = 1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j = 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 490000 = 4928094,46 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 4928094,46 \geq 1902800,84 \text{ N}$$

$$3696070,84 \text{ N} \geq 1902800,84 \text{ N (OK)}$$