

BAB VI

STRUKTUR PRIMER

6.1. Struktur Primer

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

6.2. Data Perencanaan Struktur

Adapun data yang akan digunakan perencanaan struktur primer gedung Hotel Dracarys di Kota Depok, sebagai berikut :

✚	Mutu beton (f_c')	= 35 MPa
✚	Mutu baja tulangan utama (f_y)	= 420 MPa
✚	Mutu baja tulangan geser (f_y)	= 420 MPa
✚	Modulus elastisitas beton (E_c)	= $4700\sqrt{35} = 27805,58$ MPa
✚	Modulus elastisitas beton (E_c)	= 200000 MPa
✚	Jumlah lantai	= 13 lantai + atap
✚	Penutup atap	= Dak beton
✚	Tinggi bangunan	= 52 m
✚	Tinggi antar lantai	= 4 m
✚	Panjang bangunan	= 35 m
✚	Lebar bangunan	= 27 m
✚	Dimensi balok induk	= 70/40 cm
✚	Dimensi balok induk	= 60/40 cm
✚	Dimensi kolom	= 70/70 cm
✚	Klasifikasi situs tanah	= Tanah Sedang

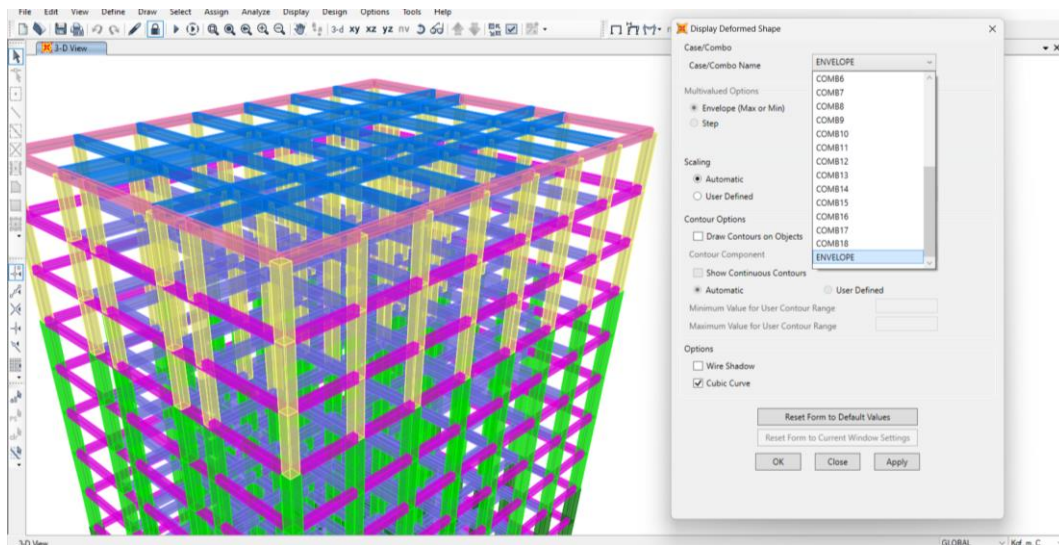
6.3. Menentukan Jenis Tanah

Adapun terdapat hasil penyelidikan tanah yang dilakukan di Jalan Raya Bogor Cisalak, Kec. Sukmajaya, Kota Depok provinsi Jawa Barat dengan mempertimbangkan nilai N-SPT atau nilai n rata-rata dapat disimpulkan bahwa lokasi proyek tersebut dikategorikan tanah sedang (SD) Dibuktikan dengan Nilai N-SPT rata-rata 15 samapai 50

Tabel 6. 1 Perhitungan N-SPT Kota Depok

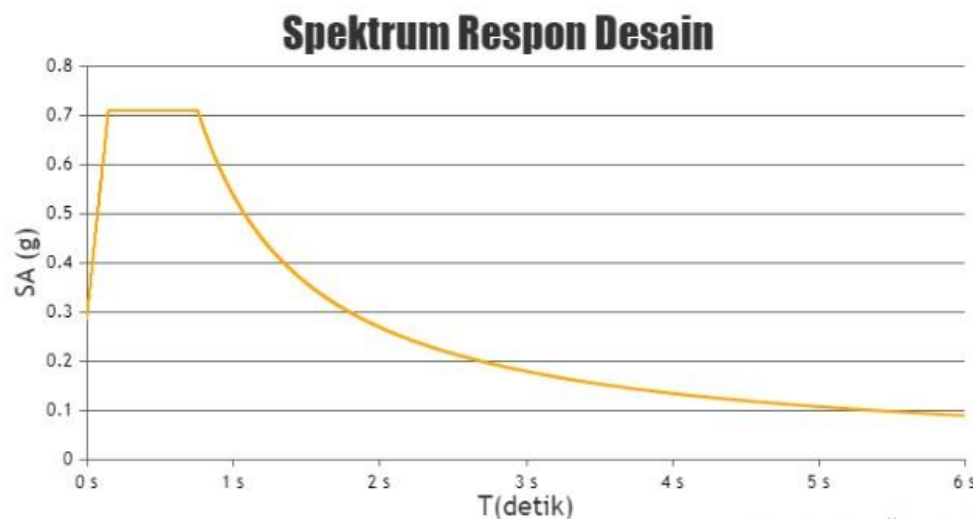
NO	Kedalaman	Tebal	Nilai SPT	N' = T/N
1	0,00 - 2,00	2	9,00	0,2222
2	2,00 - 4,00	2	14,00	0,1429
3	4,00 - 6,00	2	16,00	0,1250
4	6,00 - 8,00	2	20,00	0,1000
5	8,00 - 10,00	2	21,00	0,0952
6	10,00 - 12,00	2	20,00	0,1000
7	12,00 - 14,00	2	25,00	0,0800
8	14,00 - 16,00	2	60,00	0,0333
9	16,00 - 18,00	2	60,00	0,0333
10	18,00 - 20,00	2	60,00	0,0333
11	20,00 - 22,00	2	60,00	0,0333
12	22,00 - 24,00	2	56,00	0,0357
13	24,00 - 26,00	2	50,00	0,0400
14	26,00 - 28,00	2	47,00	0,0426
15	28,00 - 30,00	2	28,00	0,0714
Total (Σ)		30		1,1883
Mengacu pada peraturan SNI 1726 - 2019 Tabel 5 Klasifikasi Situs				
$\Sigma N = \text{Total } \Sigma T / \Sigma N = 25,2451$ (Tanah Sedang) SD = 15 sampai 50				

Berdasarkan **Tabel 6.1** perhitungan N-SPT, maka dapat disimpulkan Klasifikasi situs pada lokasi proyek zhotel Dracarys Depok termasuk dengan kelas situs SD atau Tanah Sedang, dengan nilai $N = 15 < 50$. Sehingga respon spektrum yang didapat dari Aplikasi Peta Gempa dan respon Spectra, ialah seperti pada **Gambar 6.1**



Gambar 6. 1 Jumlah *Mode Shape*

Berdasarkan pada Gambar 6.1 diatas, bahwa jumlah *Mode Shape* yang ada pada pemodelan struktur gedung hotel Dracarys dengan bantuan program bantu komputer yaitu berjumlah 19 *Mode Shape*. Gambar 6.1 yang menunjukkan tampilan *Mode Shape Envelope*



Gambar 6. 2 Respon Spektrum Kota Depok pada Tanah Sedang (SD)

Diperoleh data dari hasil respon spektrum, sebagai berikut :

Kelas situs = SD (Tanah Sedang)

PGA (g) = 0,4407 g

- S_S atau parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek = 0,9407 g
- S_I atau parameter percepatan batuan dasar pada periode 1,0 detik = 0,4370 g
- F_A atau faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek = 1,1 g (SNI 1726 – 2019 Tabel 6)
- F_V atau faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik = 1,9 g (SNI 1726 – 2019 Tabel 6)
- S_{MS} atau parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek = $F_a \cdot S_S = 1,0347$ g
- S_{M1} atau parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik = 0,8303 g
- S_{DS} atau parameter percepatan spektral desain periode pendek = $2/3 S_{MS} = 0,6898$ g
- S_{D1} atau parameter percepatan spektral desain periode 1 detik = $2/3 S_{M1} = 0,5535$ g
- $T_0 = 0,2 S_{D1}/S_{DS} = 0,1604$ detik
- $T_1 = S_{D1}/S_{DS} = 0,8024$ detik

6.4. Faktor Sistem Penahan Gempa

Gedung Hotel Dracarys di Kota Depok dalam peraturan SNI 1726 – 2019 gedung ini merupakan tergolong dalam kategori risiko II. Dimana kategori ini berpengaruh pada penentuan gempa rencana dengan pengalihan faktor keutamaan (I_e) SNI 1726 – 2019 Tabel 4 serta penentuan Kategori Desain Seismik (KDS berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1}). Oleh karena itu perencanaan ini mempunyai nilai – nilai $I_e = 1,0$ dan KDS D. Dibuktikan dengan $0,50 \leq S_{DS}$ dan $0,20 \leq S_{D1}$.

Perencanaan Struktur Gedung Hotel Dracarys di Kota Depok ini menggunakan sistem struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada peraturan SNI 1726 – 2019 pada Tabel 12 didapatkan Koefisien Modifikasi Respon (R) = 8 ; Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3 ; Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5 .

6.4.1. Periode Fundamental (T)

Terdapat pada Periode Fundamental Struktur (T) tidak diperbolehkan melebihi batas koefisien (C_u) dan Periode Fundamental Pendekatan (T_a). Maka untuk menentukan T_a yang akan dihitung berdasarkan peraturan SNI 1726 – 2019 pasal 7.8.2.1 menggunakan persamaan

$$: \quad T_a = C_i h_n^x$$

hn merupakan ketinggian struktur dalam meter, untuk mendapatkan nilai C_t dan X untuk Rangka Beton Pemikul Momen ; $C_t = 0,0466$; $X = 0,9$ dan nilai $C_u = 1,4$ ($S_{d1} = 0,5535 > 0,4$ Maka, batasan Periode Fundamental (T) dengan diketahui :

- $C_t = 0,0466$
- $hn = 52 \text{ m}$
- $C_u = 1,4$
- $X = 0,9$
- $T_a = C_t \cdot h_n^x$
 $= 0,0466 \times 52^{0,9}$
 $= 1,63 \text{ detik}$
- $T = C_u \times T_a$
 $= 1,4 \times 1,63 = 2,28 \text{ detik}$

6.4.2. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons berdasarkan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.1 untuk distrinusi gaya gempa berdasarkan geser seismik yang dibagi sepanjang tinggi struktur gedung. Maka menentukan nilai gaya geser dasar seismik terlebih dahulu mengetahui nilai dari koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai rumus sebagai berikut :

C_s = Koefisien respons seismik, sesuai peraturan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1

(R) = Koefisien Modifikasi Respon

(I_e) = faktor keutamaan gempa

S_{DS} = atau parameter percepatan spektral desain periode pendek

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

$$= \frac{0,6898}{\left(\frac{8}{1,0}\right)}$$

$$= 0,086$$

Dengan tidak boleh melebihi,

- $C_s = \frac{S_{d1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
 $= \frac{0,5535}{2,28\left(\frac{8}{1,0}\right)}$

$$= 0,030$$

Dengan syarat $C_s = 0,086$ tidak melebihi $< 0,030$ tidak terpenuhi, maka dipakai $C_s = 0,030$ dan tidak kurang dari :

$$\begin{aligned} - \quad C_s &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,6898 \times 1,0 \geq 0,01 \\ &= 0,030 \geq 0,01 \text{ (Syarat Terpenuhi)} \end{aligned}$$

6.5. Pembebanan

Pembebanan struktur primer juga perlukan untuk perhitungan mengidentifikasi beban yang bekerja pada suatu struktur. Diantaranya dua beban yang diterima oleh struktur tersebut yaitu beban gravitasi serta beban gempa.

6.5.1. Perhitungan Beban Gravitasi

Beban gravitasi pada struktur terdiri dari beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*) yang bekerja pada setiap lantai , dengan beban setiap lantai sebagai berikut :

❖ Berat struktur lantai 13 (Atap)

• Beban mati (*Dead Load*)

Pelat	: (35 x 27 x 0,12) x 2400	=	272160 kg
Balok Induk Interior	: (0,40 x 0,70 x 5) x 28 x 2400	=	94080 kg
Balok Induk Interior	: (0,40 x 0,70 x 7) x 18 x 2400	=	84672 kg
Balok Induk Interior	: (0,40 x 0,60 x 3) x 12 x 2400	=	20736 kg
Balok Induk Eksterior	: (0,40 x 0,60 x 3) x 4 x 2400	=	6912 kg
Balok Induk Eksterior	: (0,40 x 0,60 x 5) x 14 x 2400	=	40320 kg
Balok Induk Eksterior	: (0,40 x 0,60 x 7) x 6 x 2400	=	24192 kg
Balok Anak Atap (BAA1)	: (0,15 x 0,30 x 2,5) x 14 x 2400	=	3780 kg
Balok Anak Atap (BAA2)	: (0,25 x 0,40 x 3) x 14 x 2400	=	10080 kg
Balok Anak Atap (BAA3)	: (0,25 x 0,40 x 7) x 20 x 2400	=	33600 kg
Balok Anak Atap (BAA4)	: (0,30 x 0,40 x 5) x 20 x 2400	=	28800 kg
Balok <i>Lift</i>	: (0,20 x 0,35 x 5) x 2 x 2400	=	1680 kg
Plafond dan Penggantung	: (35 x 27) x 18	=	17010 kg
Plumbing + Ducting Ac (35 x 27) x 40		=	37800 kg
Spesi 2 cm	: (35 x 27) x 42	=	39690 kg
Aspal 1 cm	: (35 x 27) x 14	=	13230 kg

Finishing	: (35 x 27) x 21	=	19845 kg
			= 748587 kg

❖ **Beban Hidup (*Live Load*)**

- **Beban hidup atap** : 35 x 27 x 488 = 461160 kg

Berdasarkan PPIUG – 1983 pada Pasal 3.5 Tabel 3.3 Diketahui nilai beban hidup dapat dikalikan dengan faktor reduksi untuk peninjauan gempa sebesar 0,30 untuk gedung Hotel. Maka nilai beban hidup adalah sebagai berikut :

Beban hidup atap	: 0,30 x 4611160	=	138348 kg
Air Hujan pada pelat atap	: 35 x 27 x 50	=	47250 kg
			= 185598 kg

Total Berat Lantai Atap :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Qu} &= qD + qL \\
 &= 748587 + 185598 \\
 &= 934185 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

❖ **Berat struktur lantai 1 - 12 (Lantai)**

• **Beban mati pada pelat Lantai**

Pelat	: (35 x 27 x 0,12) x 2400	=	272160 kg
Balok Induk Interior	: (0,40 x 0,70 x 5) x 28 x 2400	=	94080 kg
Balok Induk Interior	: (0,40 x 0,70 x 7) x 18 x 2400	=	84672 kg
Balok Induk Interior	: (0,40 x 0,60 x 3) x 12 x 2400	=	20736 kg
Balok Induk Eksterior	: (0,40 x 0,60 x 3) x 4 x 2400	=	6912 kg
Balok Induk Eksterior	: (0,40 x 0,60 x 5) x 14 x 2400	=	40320 kg
Balok Induk Eksterior	: (0,40 x 0,60 x 7) x 6 x 2400	=	24192 kg
Balok Anak Lantai (BAL1)	: (0,15 x 0, x 30) x 14 x 2400	=	3780 kg
Balok Anak Lantai (BAL2)	: (0,25 x 0,40 x 3) x 14 x 2400	=	10080 kg
Balok Anak Lantai (BAL3)	: (0,25 x 0,40 x 4,44) x 20 x 2400	=	21312 kg
Balok Anak Lantai (BAL4)	: (0,25 x 0,40 x 7) x 18 x 2400	=	30240 kg
Dinding	: ((35 x 2) + (27 x 2)) x 1 x 250	=	31000 kg
Kolom (90x90cm)	: ((0,9 x 0,9 x 4) x 48) x 2400	=	225792 kg

Kolom (80x80cm)	: ((0,9 x 0,9 x 4) x 48) x 2400	=	225792 kg
Kolom (70x70cm)	: ((0,7 x 0,7 x 4) x 48) x 2400	=	225792 kg
Plafond dan Penggantung	: (35 x 27) x 18	=	17010 kg
Plumbing + Ducting Ac	: (35 x 27) x 40	=	37800 kg
Spesi 2 cm	: (35 x 27) x 42	=	39690 kg
Aspal 1 cm	: (35 x 27) x 14	=	13230 kg
Furniture	: (35 x 27) x 150	=	19845 kg

+

Beban mati total lantai (**Dead Load**) = 1763796 kg

❖ **Beban Hidup (Live Load)**

- **Beban hidup atap** : 35 x 27 x 192 = 181440 kg

Berdasarkan PPIUG – 1983 pada Pasal 3.5 Tabel 3.3 Diketahui nilai beban hidup dapat dikalikan dengan faktor reduksi untuk peninjauan gempa sebesar 0,30 untuk gedung Hotel. Maka nilai beban hidup adalah sebagai berikut :

Beban hidup Lantai : 0,30 x 181440 = 54432 kg

Total Berat Lantai :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Q_u} &= q_D + q_L \\
 &= 1763796 + 54432 \\
 &= 1818228,40 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

❖ **Rekapitulasi perhitungan beban gravitasi**

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur gedung meliputi beban mati dan beban hidup. Berikut rekapitulasi berat tiap lantai dari gedung hotel Dracarys dapat dilihat pada Tabel 6.2 sebagai berikut :

Tabel 6. 2 Rekapitulasi Perhitungan Pembebanan Gravitasi Berat Tiap Lantai

Lantai	Tinggi (h) (m)	Beban (Kg)		Berat Perlantai (W) (Kg)
		Mati	Hidup	
13	52	765853	185598	951451,00
12	48	1763796,40	54432	1818228,40
11	44	1763796,40	54432	1818228,40
10	40	1763796,40	54432	1818228,40
9	36	1763796,40	54432	1818228,40

8	32	1763796,40	54432	1818228,40
7	28	1763796,40	54432	1818228,40
6	24	1763796,40	54432	1818228,40
5	20	1763796,40	54432	1818228,40
4	16	1763796,40	54432	1818228,40
3	12	1763796,40	54432	1818228,40
2	8	1763796,40	54432	1818228,40
1	4	1763796,40	54432	1818228,40
Total (W)				22770191,80

6.6. 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 :

$$\begin{aligned}
 V &= C_s W \\
 &= 0,030 \times 22770191,80 \\
 &= 683105,75
 \end{aligned}$$

Distribusi gaya gempa F_i dihitung berdasarkan SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.3 dengan rumusan sebagai berikut :

$$F_i = C_{vx} V$$

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

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

Dimana :

C_{vx} = faktor distribusi vertical

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

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total stuktur (W) yang ditempatkan atau dikarenakan 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 stuktur dengan nilai :

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

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

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

Nilai k hasil interpolasi :

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

$$k = 1 - \left(\frac{1,63-0,5}{2,5-0,5} \right) (2-1)$$

$$k = 1,565$$

$$\text{Maka : } F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V = F_x = \frac{951451 \cdot 52^{1,565}}{\square} \times 683105,75$$

Tabel 6. 3 Perhitungan Beban Gempa Tiap Lantai

Lantai	Beban Geser (Kg)	Tinggi Lantai (m)	Berat (Kg)	Faktor (k)	W.Z^k	Fi
13	683105,754	52	951451,00	1,565	461244987,63	70073,91
12	683105,754	48	1818228,40	1,565	777662171,10	118145,08
11	683105,754	44	1818228,40	1,565	678659410,75	103104,24
10	683105,754	40	1818228,40	1,565	584618189,20	88817,18
9	683105,754	36	1818228,40	1,565	495749004,39	75315,87
8	683105,754	32	1818228,40	1,565	412295080,71	62637,27
7	683105,754	28	1818228,40	1,565	334542082,51	50824,77
6	683105,754	24	1818228,40	1,565	262832478,39	39930,40
5	683105,754	20	1818228,40	1,565	197587915,79	30018,23
4	683105,754	16	1818228,40	1,565	139346546,50	21170,00
3	683105,754	12	1818228,40	1,565	88831518,70	13495,59
2	683105,754	8	1818228,40	1,565	47096026,44	7154,99
1	683105,754	4	1818228,40	1,565	15917407,08	2418,23
					4496382819,20	

❖ **Kombinasi Beban**

Kombinasi pembebanan sesuai berdasarkan dengan SNI 1727 – 2020 yang akan diinput ke dalam program bantu komputer yaitu sebagai berikut :

Tabel 6. 4 Kombinasi Pembebanan

No	Kombinasi	Kombinasi Beban
1.	COMB 1	1,4D
2.	COMB 2	1,2D + 1,6L
3.	COMB 3	1,2D + L + GX + 0,3Y
4.	COMB 4	1,2D + L – GX – 0,3Y

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

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

GX = Gempa dinamis arah X

GY = Gempa dinamis arah Y

Dengan kombinasi pembebanan diinput melalui program bantu komputer, selanjutnya proses *run-analys* sehingga diketahui nilai gaya – gaya dalam yang terjadi pada struktur tersebut. Selanjutnya akan dilakukan *check of structure* maka akan terdapat beberapa notasi warna yang berbeda – beda dengan notasi warna tersebut menunjukkan kekuatan pada struktur tersebut. Selanjutnya apabila dengan notasi warna pada struktur tersebut berwarna merah menunjukkan bahwa suatu komponen dari struktur tersebut telah mengalami *failure* (kegagalan) dapat diartikan struktur tidak dapat mampu menahan beban yang bekerja. Selanjutnya akan dilakukan *redesign* pada perencanaan awal struktur tersebut. Kemudian jika warna yang muncul sudah menunjukkan warna biru, kuning, hijau, dan orange maka dapat diartikan struktur tersebut mampu menahan beban yang bekerja.

6.6.1. Batas Simpangan Antar Lantai

Jarak simpangan antara tiap lantai desain tidak boleh lebih dari simpangan antar tiap lantai tingkat yang diijinkan (Δ_a). Simpangan tingkat desain $\delta_x < \Delta_a$ simpangan antar lantai ijin. Bertujuan untuk mebatasi bila terjadinya keruntuhan yang akan menyebabkan korban jiwa dan terjadi benturan antara gedung dengan sebalahnya atau sekitarnya. Maka dari itu, simpangan antar lantai dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

$$\delta_{xy} < \Delta_a \text{ berdasarkan (SNI 1726 – 2019 Tabel 20)}$$

Dimana :

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral (SNI – 2019 Tabel 12)

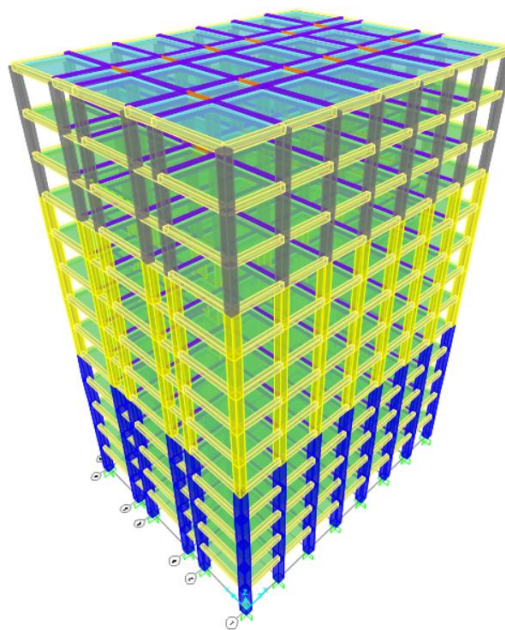
Δ_a = Simpangan ijin

$$= 0,025h \text{ (SNI 1726 – 2019 Tabel 20)}$$

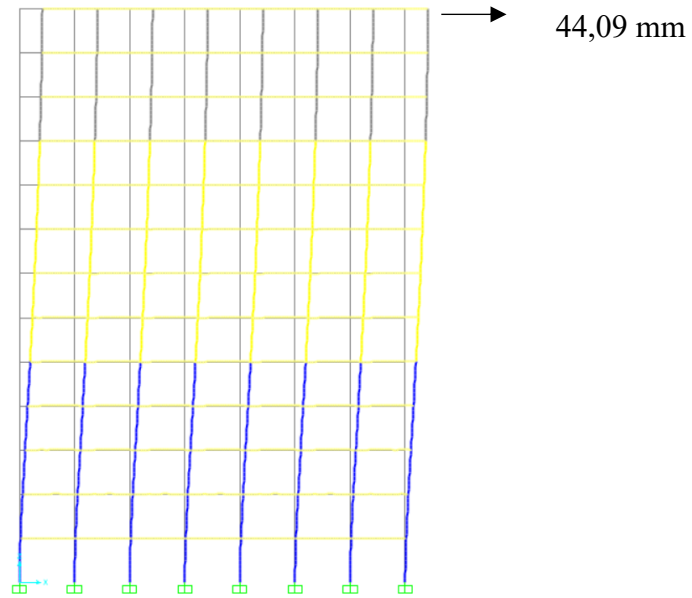
$$= 0,025 \times 4000$$

$$= 100 \text{ mm}$$

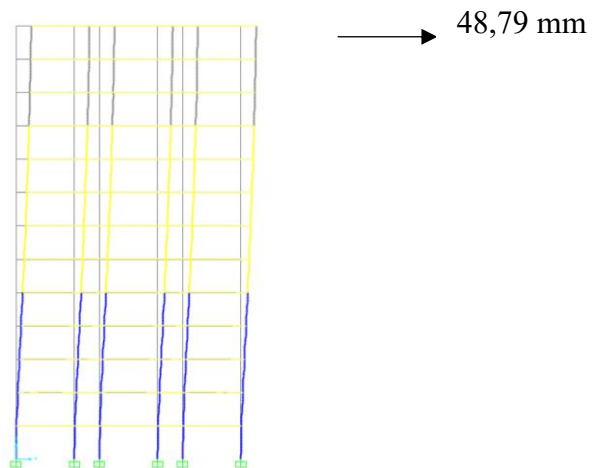
I_e = Faktor keutamaan gedung



Gambar 6. 3 Bentuk 3D Gedung Hotel Dracarys



Gambar 6. 4 Simpangan yang Terjadi Antar Lantai Arah X



Gambar 6. 5 Simpangan yang Terjadi Antar Lantai Arah Y

Dari hasil pemodelan struktur 3D yang terdapat pada Gambar 6.3, 6.4 dan 6.5 dengan program bantu komputer yaitu SAP2000. Nilai simpangan antar lantai telah diketahui, maka perlu dilakukan perhitungan simpangan ijin antar lantai. Δxy .

$$\delta_x = \frac{Cd \times \delta_{xe}}{le} = \frac{5,5 \times (2,73 - 0,00)}{1,0} = 15,01 \text{ mm}$$

$$\delta_y = \frac{Cd \times \delta_{ye}}{le} = \frac{5,5 \times (2,73 - 0,00)}{1,0} = 15,01 \text{ mm}$$

Tabel 6. 5 Simpangan Antar Lantai pada Gedung Hotel Dracarys

Lantai	Hsx	δx	δy	Δx	Δy	Δa ijin	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	4000	36,45	41,93	6,93	10,18	100	Aman
13	4000	35,19	40,08	9,90	13,20	100	Aman
12	4000	33,39	37,68	12,43	15,68	100	Aman
11	4000	31,13	34,83	13,04	16,23	100	Aman
10	4000	28,76	31,88	14,74	17,71	100	Aman
9	4000	26,08	28,66	16,39	19,20	100	Aman
8	4000	23,10	25,17	17,99	20,68	100	Aman
7	4000	19,83	21,41	19,58	21,95	100	Aman
6	4000	16,27	17,42	19,64	21,73	100	Aman
5	4000	12,70	13,47	20,57	22,33	100	Aman
4	4000	8,96	9,41	20,74	22,11	100	Aman
3	4000	5,19	5,39	18,70	19,53	100	Aman
2	4000	1,79	1,84	9,85	10,12	100	Aman
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Aman

Berdasarkan Tabel 6.5 dapat disimpulkan bahwa simpangan yang terjadi pada lantai 2 hingga lantai atap pada arah X dan arah Y tidak melebihi simpangan ijin (Δa) struktur tersebut, sehingga struktur gedung hotel Dracarys dapat dikatakan aman dari beban gempa.

6.6.1. Kontrol Periode Getar Waktu

Kontrol periode getar waktu gedung dilakukan dengan perhitungan menggunakan metode *T-Rayleigh* dengan meninjau sumbu X dan Y dapat dilihat pada **Tabel 6.6** dan **Tabel 6.7**

Tabel 6. 6 Perhitungan Kontrol Periode Getar Waktu menggunakan T-Raileigh Arah X

Lantai	Gaya Gempa F_i	W_i (Kg)	δx	δx^2	$W_i \times \delta x^2$	$F_i \times \delta x$
			(cm)	(cm)		
Atap	70073,91	951451,00	3,65	13,29	12641001,77	255419,39
13	118145,08	1818228,40	3,52	12,38	22515778,66	415752,53
12	103104,24	1818228,40	3,34	11,15	20271284,79	344265,07
11	88817,18	1818228,40	3,11	9,69	17620031,41	276487,89
10	75315,87	1818228,40	2,88	8,27	15039250,75	216608,45
9	62637,27	1818228,40	2,61	6,80	12366978,65	163358,00
8	50824,77	1818228,40	2,31	5,34	9702248,57	117405,22
7	39930,40	1818228,40	1,98	3,93	7149799,54	79181,99

6	30018,23	1818228,40	1,63	2,65	4813085,13	48839,66
5	21170,00	1818228,40	1,27	1,61	2932620,59	26885,90
4	13495,59	1818228,40	0,90	0,80	1459702,85	12092,05
3	7154,99	1818228,40	0,52	0,27	489759,82	3713,44
2	2418,23	1818228,40	0,18	0,03	58257,86	432,86
1	0	0	0	0	0	0
TOTAL					127059800,38	1960442,434

$$T_{rx} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i x \delta_x^2}{g x \sum F_i x \delta x}} = 6,3 \sqrt{\frac{127059800,38}{980 x 1960442,434}} = 0,649 \text{ detik}$$

Dengan demikian $T_a = 1,63 \text{ detik} < 3,5T_{rx}$

$$3,5T_{rx} = 3,5 x 0,649 = 2,27$$

$$T_a < 3,5T_{rx} = 1,63 < 2,27 \text{ (OK)}$$

Maka, boleh dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

Tabel 6. 7 Perhitungan Kontrol Periode Getar Waktu menggunakan T-Railegh Arah Y

Lantai	Gaya Gempa Fi	Wi (Kg)	δy	δy^2	$W_i x \delta x^2$	$F_i x \delta x$
			(cm)	(cm)		
Atap	70073,91	951451,00	4,19	17,58	16727696,94	293819,89
13	118145,08	1818228,40	4,01	16,06	29208137,38	473525,48
12	103104,24	1818228,40	3,77	14,20	25814886,82	388496,79
11	88817,18	1818228,40	3,48	12,13	22057454,19	309350,24
10	75315,87	1818228,40	3,19	10,16	18479280,70	240107,00
9	62637,27	1818228,40	2,87	8,21	14934848,08	179518,41
8	50824,77	1818228,40	2,52	6,34	11519002,38	127925,95
7	39930,40	1818228,40	2,14	4,58	8334542,62	85490,99
6	30018,23	1818228,40	1,74	3,03	5517530,45	52291,75
5	21170,00	1818228,40	1,35	1,81	3299009,97	28515,99
4	13495,59	1818228,40	0,94	0,89	1610006,70	12699,35
3	7154,99	1818228,40	0,54	0,29	528233,53	3856,54
2	2418,23	1818228,40	0,18	0,03	61557,94	444,95
1	0	0	0	0	0	0
TOTAL					158092187,70	2196043,333

$$T_{rx} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i x \delta_y^2}{g x \sum F_i x \delta y}} = 6,3 \sqrt{\frac{158092187,70}{980 x 2196043,333}} = 1,5 \text{ detik}$$

Dengan demikian $T_a = 1,63 \text{ detik} < 3,5T_{rx}$

$$3,5T_{rx} = 3,5 x 1,5 = 5,25$$

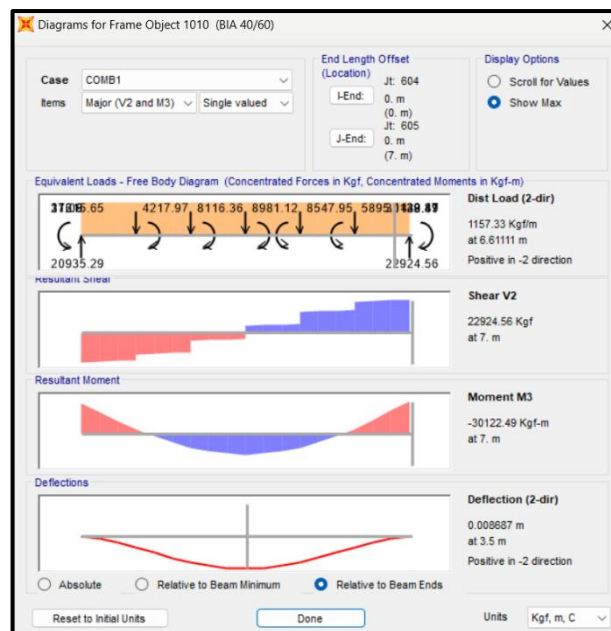
$$T_a < 3,5T_{rx} = 1,63 < 5,25 \text{ (OK)}$$

Maka, boleh dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

6.7. Perencanaan Balok Induk

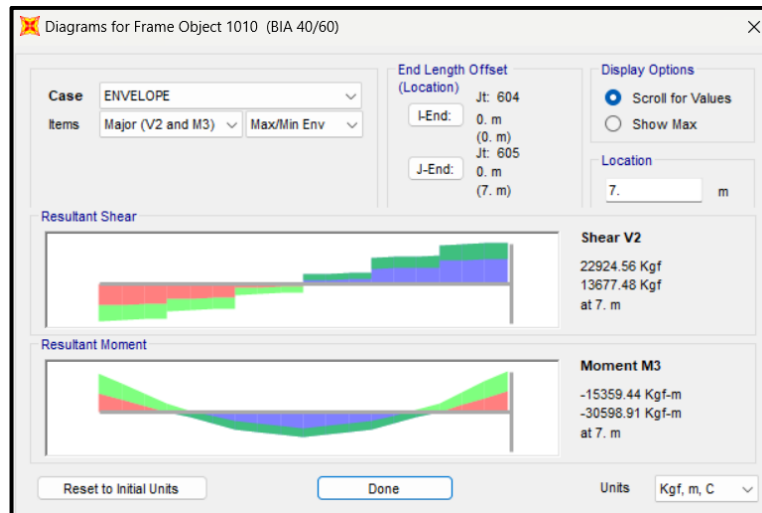
Pada perencanaan Balok Induk pada struktur gedung Hotel Dracarys ini direncanakan dengan dimensi 40/60 untuk balok induk *interior* dan dimensi 40/70 untuk balok induk *eksterior*. Balok induk ini direncanakan dengan memeriksa momen yang terjadi dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000 dengan mengambil momen yang terbesar dari balok induk yang digunakan pada perhitungan perencanaan gedung Hotel Dracarys.

Dari hasil *output* dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000 setelah dilakukan pemeriksaan struktur yang telah direncanakan, maka diperoleh momen terbesar terdapat pada balok induk 40/60 terdapa pada *frame* 1010



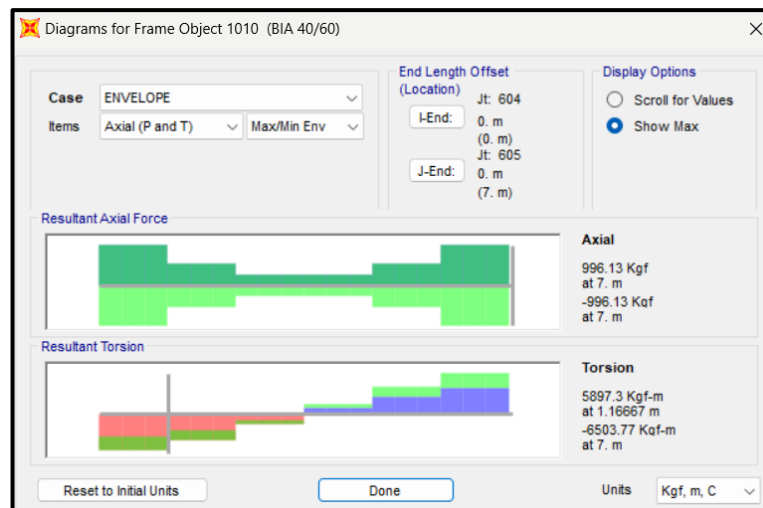
Gambar 6. 6 Output Frame 1010 Momen Tumpuan (+) dan (-) dan Geser (Kg)

Gambar 6.6 terdapat dari hasil *output* dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000 didapat momen tumpuan (+), momen tumpuan (-) dan geser dominan pada balok induk 40/60 cm terdapat pada *frame* 1010 terdapat warna hijau di *frame* tersebut menandakan beban yang bekerja beban gravitasi dan juga gempa, jika *output* warna biru orange menandakan beban yang bekerja beban gravitasi.



Gambar 6. 7 Output Frame 1010 Momen Lapangan (+) dan Geser (Kg)

Gambar 6.7 terdapat dari hasil *output* dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000 didapat momen lapangan diambil seperempat bentang balok dan geser seperti juga sama seperti pada Gambar 6.6 dominan pada balok induk 40/60 cm terdapat pada *frame* 1010 terdapat warna hijau di *frame* tersebut menandakan beban yang bekerja beban gravitasi dan juga gempa,



Gambar 6. 8 Output Torsi Frame 1010 (Nmm)

Gambar 6.8 menunjukkan torsi yang terjadi pada *frame* 1010 hasil dari hasil *output* dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000, warna hijau di *frame* tersebut menandakan beban yang bekerja beban gravitasi dan juga gempa,

6.7.1. Perhitungan Penulangan Lentur Balok Induk 40/60 cm

Tabel 6. 8 Resume Momen Balok Induk Eksterior 40/60 cm (Frame object 1010)

Momen Tumpuan Tarik (-) (Nmm)	300072800,75
Momen Tumpuan Tekan (+) (Nmm)	150624652,28
Momen Lapangan Tarik (+) (Nmm)	300072800,75
Momen Lapangan Tekan (-) (Nmm)	190708549,62
Torsi (Nmm)	63780196,07
Geser Tumpuan	22924,56
Geser Lapangan	14691,99
Geser Gravitasi	22924,56

Data Perencanaan :

Mutu beton ($f'c$)	: 35 MPa
Dimensi balok induk	: 40/60 cm
Bentang balok	: 7000 mm
Tulangan utama	: D22 (420 MPa)
Tulangan sengkang	: D13 (420 MPa)
Selimut beton (s)	: 40 mm

❖ Syarat Batas Penulangan Balok Induk 40/60 cm

Penulangan pada balok induk eksterior dengan syarat batas dengan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019 .

Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 35$ MPa maka menggunakan rumus yaitu $\beta : 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7}$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,033$$

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

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

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

Daerah Tumpuan (Momen Negatif) 40/60 cm

$$\begin{aligned}\text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 D_{\text{tul. Utama}}) - D_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 600 - 40 - (1/2 \cdot 22) - 13 \\ &= 536 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$M_{\text{tumpuan Negatif}} = 300072800,75 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{300072800,75}{400 \cdot 536^2} = 2,61 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}}\right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 2,61}{420}}\right) = 0,0065$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0065 < \rho_{\text{max}} = 0,025 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0065 \text{)}$$

Luas tulangan tarik (Atas)

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot x \cdot d = 0,0110 \cdot 400 \cdot 536 = 1397,22 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **6D22** ($A_s = 2279,64 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tarik pakai

$$A_{\text{Spakai}} = n \cdot x \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2 = 6 \cdot x \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 22^2 = 2279,64 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan tarik

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

$$s = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 9 \cdot 22}{6 - 1}$$

$$s = 32,40 \text{ mm}$$

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

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

$$32,40 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun dengan satu lapis

Kontrol kekuatan tulangan pada Tumpuan (Momen Negatif)

$$a = \frac{A_s x fy}{0,85 \cdot x \cdot fc' \cdot b} = \frac{2279,64 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 80,46$$

$$M_n = A_{\text{s pakai}} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 2279,64 \cdot 420 \cdot \left(536 - \frac{80,46}{2}\right) = 474675405,35 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 474675405,35 \text{ Nmm} > M_{\text{tumpuan Negatif}} = 300072800,75 \text{ Nmm (OK)}$$

Daerah Tumpuan (Momen Positif) 40/60 cm

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \phi_{\text{tul. Utama}}) - \phi_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 600 - 40 - (1/2 \cdot 22) - 13 \\ &= 536 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{tumpuan Positif}} = 150624652,28 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{150624652,28}{400 \cdot 536^2} = 1,31 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,31}{420}} \right) = 0,0031$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0031 < \rho_{\text{max}} = 0,025 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0031 \text{)}$$

Luas tulangan tekan (Bawah)

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0031 \cdot 400 \cdot 536 = 684,51 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D22** ($A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan pakai

$$A_{\text{Spakai}} = n \cdot x \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2 = 4 \cdot x \cdot \frac{1}{4} \cdot 22^2 = 1519,76 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan tekan

$$s = \frac{b - 2 \cdot ts - 2D_{\text{geser}} - nD_{\text{lentur}}}{4 - 1}$$

$$s = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 7 \cdot 22}{4 - 1}$$

$$s = 68,67 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

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

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

$$68,67 > 25 \geq 22 \quad \text{(OK)}$$

Maka tulangan disusun dengan satu lapis

Kontrol kekuatan tulangan pada Tumpuan (Momen Positif)

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 \cdot x \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1519,76 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 53,64$$

$$M_n = A_{\text{s pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1519,76 \cdot 420 \cdot \left(536 - \frac{53,64}{2} \right) = 32500963,22 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 32500963,22 \text{ Nmm} > M_{\text{tumpuan Positif}} = 150624652,28 \text{ Nmm} \quad \text{(OK)}$$

✚ **Daerah Lapangan (Momen Positif) 40/60 cm**

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot \emptyset_{\text{tul. Utama}}) - \emptyset_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 600 - 40 - (1/2 \cdot 22) - 13 \\ &= 536 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan Positif}} = 300072800,75 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{300072800,75}{400 \cdot 536^2} = 2,61 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 2,61}{420}} \right) = 0,0065$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0065 < \rho_{\text{max}} = 0,025 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0065 \text{)}$$

Luas tulangan tarik (Bawah)

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0065 \cdot 400 \cdot 536 = 1379,22 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **6D22** ($A_s = 2279,64 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan pakai

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

Jarak antar tulangan tarik

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

$$s = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 6 \cdot 22}{6 - 1}$$

$$s = 32,40 \text{ mm}$$

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

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

$$32,40 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun dengan satu lapis

Kontrol kekuatan tulangan pada Lapangan (Momen Positif)

$$a = \frac{A_s x fy}{0,85 \cdot x \cdot fc' \cdot b} = \frac{2279,64 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 80,46$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 2279,64 \cdot 420 \cdot \left(536 - \frac{80,46}{2} \right) = 474675405,35 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 474675405,35 \text{ Nmm} > M_{\text{lapangan Negatif}} = 300072800,75 \text{ Nmm (OK)}$$

Daerah Lapangan (Momen Negatif) 40/60 cm

$$\begin{aligned}\text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot \emptyset_{\text{tul. Utama}}) - \emptyset_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 600 - 40 - (1/2 \cdot 22) - 13 \\ &= 536 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan Positif}} = 190708549 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{190708549}{400 \cdot 536^2} = 1,66 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,66}{420}} \right) = 0,0041$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0041 < \rho_{\text{max}} = 0,025 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0041 \text{)}$$

Luas tulangan tekan (atas)

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0041 \cdot 400 \cdot 536 = 879,19 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D22** ($A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan pakai

$$A_{\text{Spakai}} = n \cdot x \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2 = 4 \cdot x \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 = 1519,76 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan disusun dengan satu lapis

Jarak antar tulangan tekan

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

$$s = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 4 \cdot 22}{4 - 1}$$

$$s = 68,67 \text{ mm}$$

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

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

$$68,67 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun dengan satu lapis

Kontrol kekuatan tulangan pada Lapangan (Momen Negatif)

$$a = \frac{A_s x fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1519,76 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 53,64$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1519,76 \cdot 420 \cdot \left(536 - \frac{53,64}{2} \right) = 325009637,22 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 325009637,22 \text{ Nmm} > M_{\text{lapangan Negatif}} = 190708549 \text{ Nmm (OK)}$$

6.7.1.1. Persyaratan Pendetailan Komponen Lentur

Balok induk pada suatu gedung hotel Dracarys ini harus memenuhi persyaratan komponen lentur yang sesuai persyaratan SRPMK sesuai dengan berdasarkan SNI 2847 – 1029 sebagai berikut :

SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6.2.1 :

Bentang bersih balok (l_n) harus minimal 4 kali tinggi efektif (d) :

- $l_n > 4d$
- $6300 \text{ mm} > 4(536)$
- $6300 \text{ mm} > 2144 \text{ mm}$ **(OK)**

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

- $b \geq 0,3h$
- $400 \text{ mm} \geq 0,3 (600)$
- $400 \text{ mm} \geq 180 \text{ mm}$ **(OK)**

Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $0,75c_1$ (dimensi kolom dan arah bentang balok) dan c_2 (dimensi kolom tegak lurus c_1) pada masing – masing sisi kolom :

- $b \leq 0,75c_1$
 $400 \text{ mm} \leq 0,75 (700)$
 $400 \text{ mm} \leq 525 \text{ mm}$
- $b \leq c_2$
 $400 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm}$ **(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) :

$$A_{S_{min}} = \frac{25\sqrt{35}}{f_y} \times b \times d = \frac{25\sqrt{35}}{420} \times 400 \times 536 = 755 \text{ mm}^2$$

Tidak boleh kurang dari :

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{420} \times 400 \times 536 = 714,67 \text{ mm}^2$$

A_S tulangan lentur terkecil yang terpasang :

$$A_{S_{terpasang}} = 1519,76 \text{ mm}^2 \text{ **(OK)**}$$

Syarat batas rasio penulangan $\rho = 0,025$, syarat ini terpenuhi karena ρ yang dipakai tidak boleh lebih kecil dari ρ_{\min} dan tidak lebih besar dari $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min} = 0,0020 < \rho = 0,0065 < \rho_{\max} = 0,025 \text{ (OK)}$$

$$\rho_{\min} = 0,0020 < \rho = 0,0032 < \rho_{\max} = 0,025 \text{ (OK)}$$

$$\rho_{\min} = 0,0020 < \rho = 0,0065 < \rho_{\max} = 0,025 \text{ (OK)}$$

$$\rho_{\min} = 0,0020 < \rho = 0,0041 < \rho_{\max} = 0,025 \text{ (OK)}$$

Tulangan menerus harus disediakan paling sedikit 2 tulangan menerus pada sisi atas dan bawah. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, maka persyaratan ini terpenuhi dengan jumlah tulangan pada daerah lapangan dan tumpuan sudah lebih dari atau sama dengan persyaratan diatas.

SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6.3.2 :

Momen positif pada muka joint harus lebih besar atau sama dengan $1/2$ momen negative

$$- 150624652,28 \text{ Nmm} > \frac{1}{2} (300072800,75)$$

$$- 150624652,28 \text{ Nmm} > 150036400,38 \text{ Nmm (OK)}$$

Momen positif tau negative $\geq \frac{1}{4} \times (300072800,75)$

$$- 300072800,75 \text{ Nmm} > \frac{1}{4} (300072800,75)$$

$$- 300072800,75 \text{ Nmm} > 75018200,19 \text{ Nmm (OK)}$$

SNI 2847 – 2019 Pasal 18.8.2.3 :

Bila perhitungan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* 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

$$- 536 \text{ mm} > 20 (22)$$

$$- 536 \text{ mm} > 440 \text{ mm (OK)}$$

6.7.1.2. Penulangan Geser Balok Induk 40/60 cm

✚ Probable Moment Capacities atau Kapasitas Momen Probabilitas (Mpr)

Kapasitas momen – momen diujung balok apabila struktur bergoyang ke kanan :

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1519,76 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 67,05 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) \\ = 1,25 \cdot 1519,76 \cdot 420 \left(536 - \frac{67,05}{2} \right)$$

$$M_{pr+} = 400912442,16 \text{ Nmm}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 2279,64 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 100,57 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) \\ = 1,25 \cdot 2279,64 \cdot 420 \left(536 - \frac{100,57}{2} \right)$$

$$M_{pr-} = 581307646,85 \text{ Nmm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{ln} = \frac{400912442,16 + 581307646,85}{6300} = 155907,95 \text{ N}$$

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

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 2279,64 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 100,57 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) \\ = 1,25 \cdot 2279,64 \cdot 420 \left(536 - \frac{100,57}{2} \right)$$

$$M_{pr+} = 581307646,85 \text{ Nmm}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1519,76 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 67,05 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) \\ = 1,25 \cdot 1519,76 \cdot 420 \left(536 - \frac{67,05}{2} \right)$$

$$M_{pr-} = 400912442,16 \text{ Nmm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{ln} = \frac{581307646,85 + 400912442,16}{6300} = 155907,95 \text{ N}$$

✚ Diagram geser

Reaksi geser pada balok akibat oleh gempa didapatkan dari program bantu komputer 22924,56 Kg

$$V_u = 22924,56 \text{ Kg}$$

$$q_u = \frac{V_u \times 2}{l_n} = \frac{22924,56 \times 2}{6,3} = 7277,64 \text{ Kg/m}$$

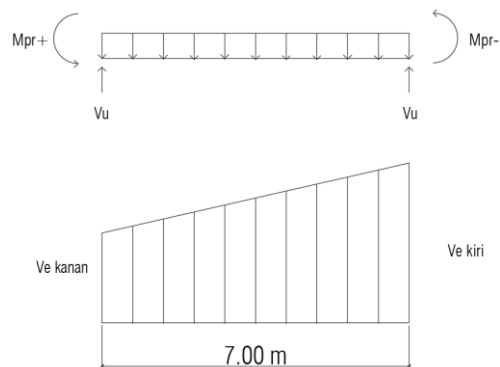
Struktur bergoyang ke kanan :

- Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kiri}} &= V_{\text{sway}} - V_u \\ &= 155907,95 - 224660,688 \\ &= -687527,40 \text{ N} = -68752,74 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kanan}} &= V_{\text{sway}} + V_u \\ &= 155907,95 + 224660,688 \\ &= 3805686,40 \text{ N} = 380568,64 \text{ Kg} \end{aligned}$$



Gambar 6. 9 Diagram Geser (Bergoyang ke Kanan)

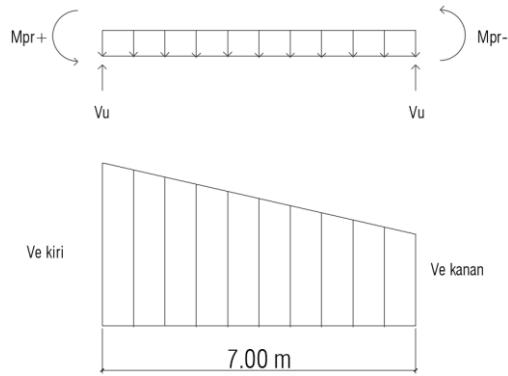
Struktur bergoyang ke kiri :

- Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kiri}} &= V_{\text{sway}} + V_u \\ &= 155907,95 + 224660,688 \\ &= 3805686,40 \text{ N} = 380568,64 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kanan}} &= V_{\text{sway}} - V_u \\ &= 155907,95 - 224660,688 \\ &= -687527,40 \text{ N} = -68752,74 \text{ Kg} \end{aligned}$$



Gambar 6. 10 Diagram Geser (Bergoyang ke Kiri)

✚ Cek Syarat Geser

Syarat pendetailan tulangan geser balok induk mengacu pada SNI 2847 – 2019. Adapun syarat – syarat pendetailan tulangan geser antara lain adalah segai berikut :

- **Pengecekan Syarat Geser**

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa mewakili setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.

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

$$155907,95 \text{ N} \geq 0,5 \times -68752,74 \text{ N}$$

$$155907,95 \text{ N} \geq 34376,37 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6.5.2 juga disebutkan bahwa gaya tekan aksial terfaktor (P_u) termasuk pengaruh gempa kurang dari nilai berikut :

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

$$9762,07 < \frac{(400 \cdot 600) \cdot 35}{20}$$

$$9762,07 < 420000 \text{ N (OK)}$$

- **Tulangan Geser pada Daerah Sendi Plastis (Tumpuan)**

Berdasarkan kedua syarat diatas terpenuhi, maka kekuatan geser balok didesain dengan mengasumsikan $V_c = 0$, tulangan geser terdapat di daerah sendi plastis dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{max}}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 536 \\ &= 845605 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{Vu}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{224660,68}{0,75} - 0 \\
 &= 299547,56 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_s \leq V_{s_{\max}} = 299547,56 \text{ N} \leq 845605 \text{ N (OK)}$$

Maka direncanakan dengan spasi tulangan, $s = 100 \text{ mm}$, luas tulangan geser perlu ialah :

$$\begin{aligned}
 A_{v \text{ perlu}} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\
 &= \frac{299547,56 \times 100}{420 \times 536} \\
 &= 133,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan spasi tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D13-100

$$\begin{aligned}
 A_{v \text{ pakai}} &= n \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \pi (13)^2 \\
 &= 265,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{v \text{ pakai}} \geq A_{v \text{ perlu}} = 265,33 \text{ mm}^2 \geq 133,06 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

- Pengecekan Syarat geser berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6.4.1 dan Pasal 18.6.4.4 dengan kedua ujung komponen lentur harus terpasang sengkang sepanjang jarak kedua kali tinggi balok diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Maka sengkang pertama terpasang pada jarak $\leq 50 \text{ mm}$ dari perletakan. Spasi sengkang pengeang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari ketiga persyaratan pada bawah ini :

$$\text{➤ } d/4 = 536/4$$

$$= 134 \text{ mm}$$

$$\text{➤ } 6 \times D_{\text{Longitudinal}} = 6 \times 22$$

$$= 132 \text{ mm}$$

$$\text{➤ } 150 \text{ mm}$$

Cek syarat jarak sengkang

$$\text{Spasi} < 150 \text{ mm}$$

$$100 < 150 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser sengkang 2D13 – 100 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

- **Pengecekan tulangan geser yang ada di daerah ujung sendi plastis (Lapangan)**

Jarak ujung sendi plastis dari muka kolom yaitu $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$. Pada daerah ini untuk nilai pada geser beton (V_c) di hitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \sqrt{35} \times 400 \times 536 \\ V_c &= 215629,28 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, direncanakan dengan spasi tulangan geser, $s = 150 \text{ mm}$, luas tulangan geser perlu ialah :

$$\begin{aligned} V_u &= V_e - (q_u \times 2h) = 380568,64 - (71320,85 (2 \times 0,6)) = 294983,61 \text{ N} \\ V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{294983,61}{0,75} - 215629,28 = 177682,21 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, luas tulangan geser perlu adalah

$$\begin{aligned} A_{v \text{ perlu}} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{177682,21 \times 150}{420 \times 536} \\ &= 118,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan spasi tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D12-150

$$\begin{aligned} A_{v \text{ pakai}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{v \text{ pakai}} \geq A_{v \text{ perlu}} = 265,33 \text{ mm}^2 \geq 118,39 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Pengecekan Syarat geser berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6.4.6. Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang harus dipasang bentang balok dengan spasi tidak boleh melebihi $d/2$.

Kemudian cek persyaratan :

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

$$150 \text{ mm} < \frac{536}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 268 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser sengkang 2D13 – 150 mm pada daerah lapangan balok induk.

6.7.1.3. Penulangan Torsi pada Balok Induk 40/60 cm

✚ Periksa kecukupan penampang

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

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

Maka, didapat dari hasil analisa program bantu komputer, diperoleh nilai torsi maksimum dan geser maksimum sebagai berikut :

$$T_u = 63780196,07 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 224660,69 \text{ N}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \sqrt{35} \times 400 \times 536 \end{aligned}$$

$$V_c = 215629,28 \text{ N}$$

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

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

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

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

Sehingga :

$$\sqrt{\left(\frac{224660,69}{400 \times 536}\right)^2 + \left(\frac{63780196,07 \times 1628}{1,7 \cdot 155649^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{224660,69}{400 \times 536} + 0,66\sqrt{35}\right)$$

$$1,05 \text{ MPa} \leq 5,72 \text{ MPa} \quad \text{(OK)}$$

Karena didapat nilai $1,05 \text{ MPa} \leq 5,72 \text{ MPa}$, maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

✚ Cek persyaratan pengaruh puntir

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

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

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 :

$$63780196,07 < 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot \left(\frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$63780196,07 \text{ Nmm} > 10606347,84 \text{ Nmm}$$

Maka, memerlukan tulangan torsi

✚ Kebutuhan tulangan torsi geser

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

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

$$\phi T_n \geq T_u$$

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

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

Dengan nilai A_o :

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot 155649$$

$$= 132301,65 \text{ mm}^2$$

Maka kebutuhan tulangan torsi dapat dihitung :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{63780196,07}{0,75 \cdot 2 \cdot 132301,65 \cdot 420 \cdot \cot 35} = 0,36 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,36 \text{ mm}^2$$

✚ Tulangan longitudinal penahan torsi

Maka distribusi tulangan longitudinal (AI) torsi dihitung sesuai berdasarkan dengan SNI 2847 – 2019 Pasal 22.7.6.1

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{f_y} \right) \cot \theta$$

$$Al = 0,14 \times 1628 \times \left(\frac{420}{420}\right) \times \cot^2 35$$

$$Al = 1245,76$$

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

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

$$0,36 \geq \frac{0,175 \cdot 400}{420}$$

$$0,36 \geq 0,17$$

Maka diambil nilai $\frac{A_t}{s} = 0,36$

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

$$A_{l_{\min}} = 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{240000}{420} - 0,17 \times 1628 \times \left(\frac{420}{420}\right)$$

$$A_{l_{\min}} = 1143,10 \text{ mm}^2$$

Maka di ambil Al terbesar = 1143,10 mm²

$$\frac{A1}{4} = \frac{1143,10}{4} = 285,77 \text{ mm}^2$$

Penyebaran tulanga torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Sisi atas : maka dissalurkan pada tulangan tarik balok
- Sisi bawah : maka dissalurkan pada tulangan tekan balok

Maka sisi – sisi pinggang balok dipasang luasan tulangan punter sebesar :

$$A_{S \text{ perlu}} = 2 \cdot \frac{A1}{4} = 2 \times 285,77$$

$$= 571,55 \text{ mm}^2$$

Maka dengan direncanakan untuk tulngan torsi 4D16 mm pada sisi pinggang balok :

$$A_{S \text{ pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

Maka :

$$A_{S \text{ pasang}} \geq A_{S \text{ perlu}} = 803,84 \text{ mm}^2 \geq 571,55 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tulangan geser tumpuan setelah torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi :

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{f_y \times d} = \frac{299547,58}{420 \times 536}$$

$$= 1,33 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi :

$$\begin{aligned}\frac{Av_t}{s} &= \frac{Av}{s} + 2 \left(\frac{A_t}{s} \right) \\ &= 1,33 + 2 (0,36) \\ &= 2,06 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\frac{Av_{pakai}}{s} &= \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2}{s} \\ &= \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi 13^2}{100} = 2,65 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\frac{Av_{pakai}}{s} \geq \frac{Av_t}{s} = 2,65 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 2,06 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

Tulangan geser lapangan setelah torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi :

$$\begin{aligned}\frac{Av}{s} &= \frac{Vs}{f_y \times d} = \frac{177682,21}{420 \times 536} \\ &= 0,79 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi :

$$\begin{aligned}\frac{Av_t}{s} &= \frac{Av}{s} + 2 \left(\frac{A_t}{s} \right) \\ &= 0,79 + 2(0,36) \\ &= 1,51 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D12 – 150 mm.

$$\begin{aligned}\frac{Av_{pakai}}{s} &= \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2}{s} \\ &= \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi 12^2}{150} = 1,77 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\frac{Av_{pakai}}{s} \geq \frac{Av_t}{s} = 1,77 \text{ mm}^2/\text{mm} > 1,51 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

Penambahan luas tulangan perlu :

- Tumpuan Atas (6D22)

$$A_{S\text{perlu}} = 1397,22 + 571,55$$

$$A_{S\text{perlu}} \leq A_{S\text{pakai}} = 1968,77 \text{ mm}^2 \leq 2279,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tumpuan Bawah (4D22)

$$A_{S\text{perlu}} = 648,51 + 571,55$$

$$= 1256,06 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 1256,06 \text{ mm}^2 \leq 1519,76 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

➤ Lapangan Bawah (6D22)

$$\begin{aligned} A_{S \text{ perlu}} &= 1397,22 + 571,55 \\ &= 1968,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 1968,77 \text{ mm}^2 \leq 2279,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

➤ Lapangan Atas (4D22)

$$\begin{aligned} A_{S \text{ perlu}} &= 872,19 + 571,55 \\ &= 1443,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S \text{ perlu}} \leq A_{S \text{ pakai}} = 1443,74 \text{ mm}^2 \leq 1889,70 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

6.7.1.4. Penyaluran dan Sambungan Lewatan Tulangan Balok Induk 40/70 cm

a. Panjang penyaluran tulangan tarik

Sebagaimana tercantum berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 25.4.2.1. Maka panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik harus diambil nilai yang terbesar dari beberapa persyaratan berikut :

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

B. $l_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_{ci}}} \right) db \rightarrow \text{untuk } D \geq 16$

$$l_d = \left(\left(\frac{420 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \right) \right) \times 22$$

$$l_d = 918,73 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang akan digunakan adalah 1000 mm

b. Panjang penyaluran tulangan tekan

Sebagaimana tercantum berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 25.4.9.1, Maka panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tekan harus diambil nilai yang terbesar dari beberapa persyaratan berikut :

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

B. $l_{dc} = \left(\frac{0,24 \cdot f_y \cdot \psi_y}{\lambda \sqrt{f'_{ci}}} \right) db$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \cdot 420 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$l_{dc} = 374,84 \text{ mm}$$

$$C. l_{dc} = 0,043 f_y \Psi_y db$$

$$= 0,043 \times 420 \times 1 \times 22$$

$$= 397,32 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang akan digunakan adalah 400 mm

c. Panjang penyaluran kait tulangan lentur

Sebagaimana tercantum berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 25.4.3.1, Maka panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan suatu kait harus diambil nilai yang terbesar dari persyaratan berikut :

$$A. l_{dh} = 8 \cdot db = 8 \cdot 22 = 176$$

$$B. l_{dh} = 150$$

$$C. l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot f_y \cdot \Psi_c \cdot \Psi_e \cdot \Psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) db$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot 420 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{35}} \right) \cdot 22$$

$$l_{dh} = 374,84 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran kait yang digunakan adalah sebesar 450 mm

d. Sambungan lewatan tulangan tarik

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Tabel 25.5.2.1. Panjang sambungan lewatan pada kondisi tarik yaitu :

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

$$l_{st} = 1,3 \left(\frac{420 \cdot 1 \cdot 1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \right) 22$$

$$l_{st} = 966,86 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}$$

e. Sambungan lewatan tulangan tekan

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 25.5.5.1. Panjang sambungan lewatan pada kondisi tekan yaitu :

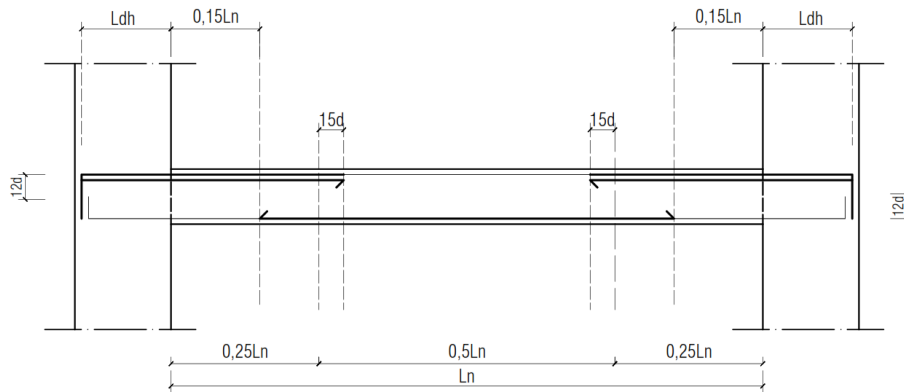
$$l_{sc} = 300 \text{ mm}$$

$$l_{sc} = 0,071 \cdot f_y \cdot db$$

$$l_{sc} = 0,071 \cdot 420 \cdot 22 = 656,04 \text{ mm}$$

Maka, sambungan lewatan yang akan digunakan = 700 mm

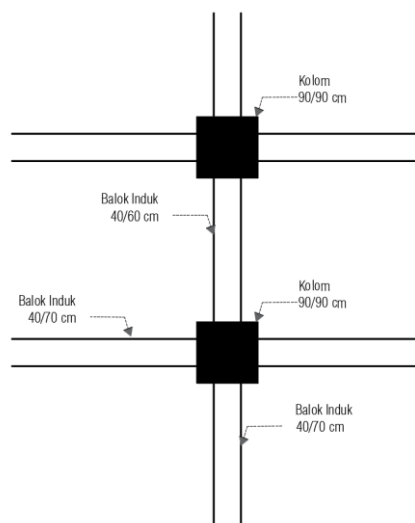
6.7.1.5. Pemutusan Tulangan pada Balok Induk 40/60 cm



Gambar 6. 11 Pemutusan Tulangan Balok Induk

6.8. Perencanaan Kolom

Pada perencanaan Balok Induk pada struktur gedung Hotel Dracarys ini direncanakan dengan tiga tipe dimensi yaitu 90/90 cm, 80/80 cm dan 70/70 cm. pada gedung Hotel Dracarys ini akan dibahas mengenai desain penulangan kolom, kontrol kolom dengan menggunakan program bantu komputer yaitu *SPColoum* dan juga pendetailan kolom sesuai dengan peraturan. Berikut data perencanaan kolom bisa dilihat sebagai berikut :



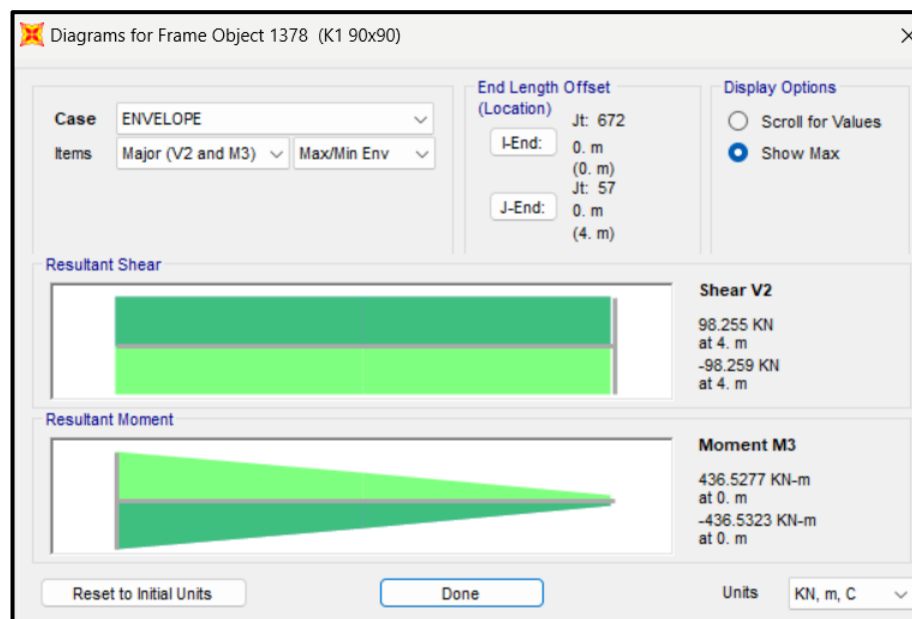
Gambar 6. 12 Kolom yang ditinjau

Data Perencanaan :

Mutu beton ($f'c$)	: 35 MPa
Panjang (L)	: 4000 mm
Tinggi (h)	: 900 mm
Lebar	: 900 mm
Tulangan utama	: D25 (420 MPa)
Tulangan Geser	: D16 (420 MPa)
Selimit beton (s)	: 40 mm

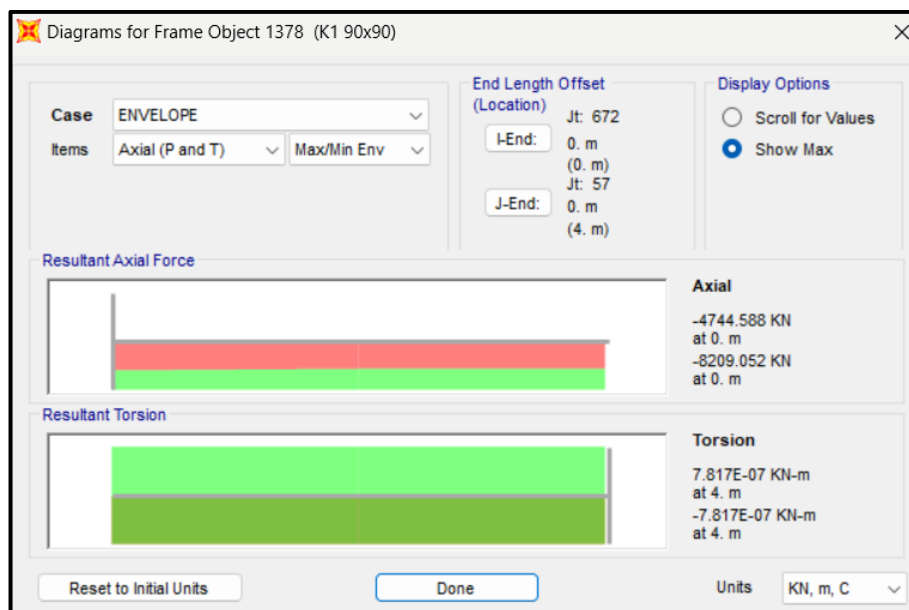
6.8.1. Analisa Gaya Dalam

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



Gambar 6. 13 Output Frame 1378 Geser dan Momen Kolom 90/90 cm

Gambar 6.19 terdapat dari hasil *output* dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000 didapat geser dan momen kolom 90/90 cm terdapat pada frame 1378 terdapat warna hijau di frame tersebut menandakan beban yang bekerja beban gravitasi dan juga gempa,



Gambar 6. 14 Output Frame 1378 Aksial dan Torsi Kolom 90/90 cm

Gambar 6.20 hasil *output* dengan bantuan program bantu komputer yaitu SAP2000 didapat gaya axial dan juga torsi yang bekerja dalam kolom 90/90 cm terdapat pada frame 1378 terdapat warna hijau di frame tersebut menandakan beban yang bekerja beban gravitasi dan juga gempa,

Tabel 6. 9 Rekapitulasi Gaya pada Kolom

Gaya dalam Akibat Gaya Gempa	Nilai
M1ns Arah X (M3) kNm	436,5323
M2ns Arah X (M3) kNm	240,3483
M1ns Arah Y (M2) kNm	493,5948
M2ns Arah Y (M2) kNm	224,1905
Aksial kNm	8209,052
Torsi kNm	7,81
Geser Kn	98,25
Δ_0 mm	1,84

6.8.2. Perencanaan Tulangan Longitudinal Kolom

6.8.2.1. Menentukan kolom *Sway* dan *Non Sway*

Sebagaimana disebutkan didalam peraturan SNI 2847 – 2019 Pasal 6.6.4.3, kolom dan tingkat pada struktur boleh dianggap tak bergoyang jika memenuhi syarat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\Sigma Pu \Delta_0}{V_{usLc}} \leq 0,05 \\ &= \frac{8209,05 \times 1,84}{98,25 \times 4000} = 0,038 \leq 0,05 \end{aligned}$$

Maka, termasuk dalam kolom *non sway*

6.8.2.2. Kontrol Kelangsingan Kolom

Kolom 700 x 700 mm²

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f'c'} \\ &= 4700\sqrt{35} \\ &= 27805,57 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 900 \times 900^3 = 38272500000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} E_c \times I_g &= 27805,57 \times 38272500000 \\ &= 10,64 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Balok Induk 400 x 700 mm² arah X :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f'c'} \\ &= 4700\sqrt{35} \\ &= 27805,57 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 = 8003333333 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} E_c \times I_g &= 27805,57 \times 8003333333 \\ &= 2,22 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Balok Induk 400 x 700 mm² arah Y :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f'c'} \\ &= 4700\sqrt{35} = 27805,57 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 = 8003333333 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,57 \times 8003333333$$

$$= 2,22 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Berikutnya, dilakukan perhitungan faktor panjang tekuk kolom (k) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Kekakuan Kolom Atas

$$\Psi_A = \frac{\frac{Ecxi_{kolom}}{l_{bawah}} + \frac{Ecxi_{kolom}}{l_{atas}}}{\frac{Ecxi_{balok x}}{l_{bawah}} + \frac{Ecxi_{balok x}}{l_{atas}} + \frac{Ecxi_{balok y}}{l_{bawah}} + \frac{Ecxi_{balok y}}{l_{atas}}}$$

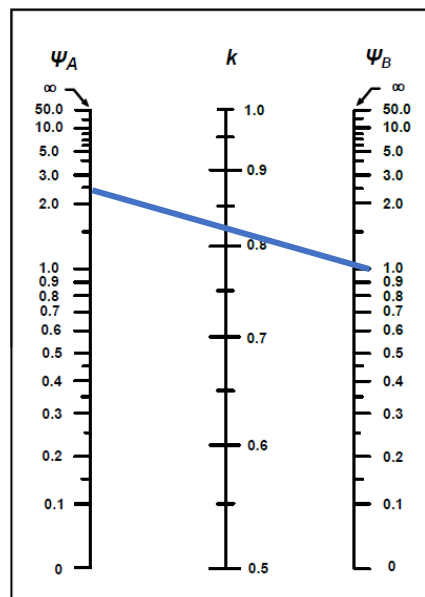
$$\Psi_A = \frac{\frac{10,64 \times 10^{14}}{4000} + \frac{10,64 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{2,22 \times 10^{14}}{7000} + \frac{2,22 \times 10^{14}}{7000} + \frac{2,22 \times 10^{14}}{7000} + \frac{2,22 \times 10^{14}}{7000}}$$

$$= 2,3$$

Kekakuan kolom bawah

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

Berikutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan pada kolom (k) sebagai berikut :



Gambar 6. 15 Nomogram Faktor kekakuan Kolom (Struktur Rangka Tidak Bergoyang)

Dari hasil nomogram diatas untuk nilai (k) maka didapatkan (k) = 0,87

Jari – jari inersia (r)

Terdapat dalam SNI 2847 – 2019 Pasal 6.2.5.1 pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan jika memenuhi persamaan sebagai berikut (r) :

$$r = 0,3 b$$

$$= 0,3 \times 0,9 = 0,27 \text{ m}$$

Kontrol kelangsingan

Berdasarkan dalam SNI 2847 Pasal 6.2.5.b, pengaruh kealngsingan kolom dapat diabaikan jika memenuhi persamaan sebagai berikut :

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

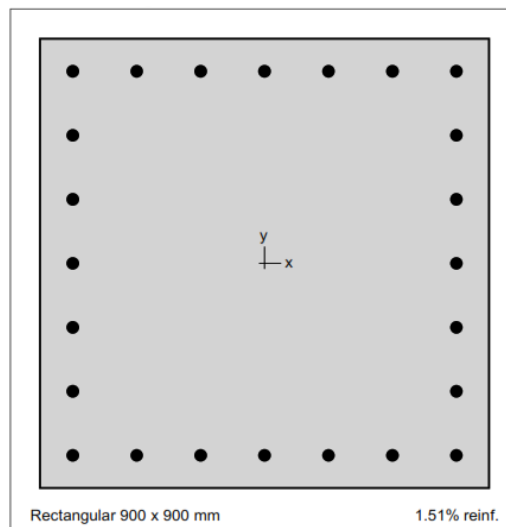
$$\frac{0,87 \cdot 4}{0,27} \leq 34 - 12 \left(\frac{44513,19}{24508,31} \right) \leq 40$$

$$12,15 \leq 12,21 \leq 40 \text{ (OK)}$$

Maka, kelangsingan kolom dapat diabaikan

6.8.2.1. Desain Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.4.1 beserta menurut , untuk luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak boleh melebihi dari $0,060A_g$ (Patrisko Hirel Karisoh, Servie O. Dupas, 2018). Kemudian untuk mendapatkan digunakan program bantu komputer *SPColoum*.



Gambar 6. 16 Konfigurasi penulangan Kolom

Dari hasil desain dengan menggunakan program bantu komputer berdasarkan gaya dalam dengan dimensi kolom menggunakan 900 x 900 mm, maka didapat konfigurasi penulangan 24D25 mm . Berdasarkan konfigurasi tersebut didapat dengan rasio tulangan $\rho = 1,51\% = 0,0151$, sehingga nilai $0,01 < \rho < 0,06 = 0,01 < 0,0151 < 0,06$ menunjukkan bahwa telah terpenuhi.

6.8.2.3. Perhitungan Kuat tekan Maksimal Rencana Kolom

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 24.2.2, maka untuk komponen nonprategang dan komponen baja beton, nilai P_n max dihitung dengan berdasarkan perumusan berikut :

$$A_{st} = 24 \cdot (0,25 \cdot 3,14 \cdot (25^2)) = 11775$$

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

$$\phi P_n \text{ max} = 0,75 \cdot 0,85 \cdot (0,85 \cdot 35 \cdot (810000 - 11775)) + 420 \cdot 11775$$

$$\phi P_n \text{ max} = 92593334,29 \text{ N}$$

$$\phi P_n \text{ max} > P_u = 92593334,29 \text{ N} > 8209052 \text{ N (OK)}$$

6.8.2.4. Cek Syarat Pendetailan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.2 kolom – kolom pada sistem rangka pemikulmomen khusus harus memenuhi pada persyaratan dibawah ini :

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

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

$$900 \geq 300 \text{ mm. (OK)}$$

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

$$\frac{900}{900} \geq 0,4$$

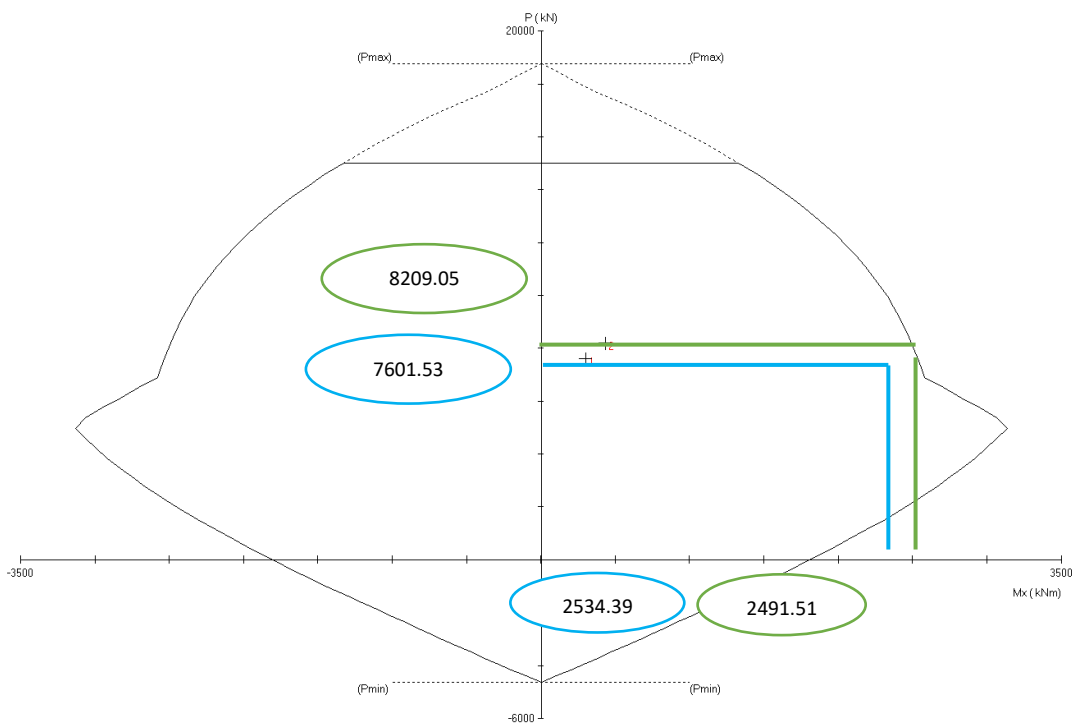
$$1 \geq 0,4 \text{ (OK)}$$

6.8.2.2. Pendetailan *Strong Column Weak Beam*

Pendetailan *Strong Column Weak Beam* yang berdasarkan SNI 2847 Pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memnuhi syarat berikut ini :

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

Nilai M_{nc} didapatkan dari diagram interaksi dengan menyesuaikan dengan gaya aksial terfaktor. Nilai gaya terfaktor yang didapatkan dari hasil *output* program bantu komputer.



Gambar 6. 17 Diagram Interaksi Gaya Aksial dan Momen Kolom 70/70 cm

Berdasarkan dari hasil *output* diagram interaksi pada **Gambar 6.23** diatas, maka diperoleh momen M_x , terdapat P_u dari hasil kolom diatas yang berwarna biru berserta terdapat P_u dari hasil kolom dibawahnya yang berwarna hijau. Selanjutnya dari hasil tersebut didapat tanda (+) didalam diagram tersebut maka dinyatakan aman dan jauh dari batas zona kritis, untuk dengan mudah bagi pembaca maka dilakukan tarik garis pada P_u ke sumbu y dari P_{max} sesuai dengan hasil *output* tersebut dari tanda (+) dan juga tarik garis pada (+) ke ke momen M_x sumbu x sesuai dengan hasil *output* tersebut, maka hasil yang terdapat pada tabel 6.13 dibawah ini.

Tabel 6. 10 Factored Loads dan Moments with Corresponding Capacities

No.	P_u (Kn)	ϕM_{nc} (kNm)
1.	7601,53	2534.39
2.	8209,05	2491.51

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

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom – kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka – muka *joint*.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka – muka *joint*.

Dimana :

$$M_{nc} \text{ atas} = \frac{2534,39}{0,65} = 3833,09 \text{ KNm}$$

$$M_{nc} \text{ bawah} = \frac{436,53}{0,65} = 3833,09 \text{ KNm}$$

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

$$\sum M_{nc} = 3833,09 + 3833,09 = 7732,15 \text{ kNm}$$

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

$$\text{Tulangan atas (9D22)} : A_s = 3421 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah (7D22)} : A_s = 2661 \text{ mm}^2$$

Dalam perhitungan M_{nb} harus dihitung juga luas tulangan pelat selebar lebar efektif pelat, dikarenakan pada kolom terdapat balok dan pelat lantai yang menyatu. Dimana pusat berat tulangan balok dihitung menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$d' = \frac{9(ts + D_{geser} + 0,5D) + 7(ts + D_{geser} + D + 25 + 0,5D)}{9+4}$$

$$= \frac{9(40+13+0,5 \cdot 22) + 7(40+13+22+25 + 0,5 \cdot 25)}{9+7}$$

$$d' = 83,97 \text{ mm}$$

Jarak antar A_s tulangan pada balok dan pelat atas :

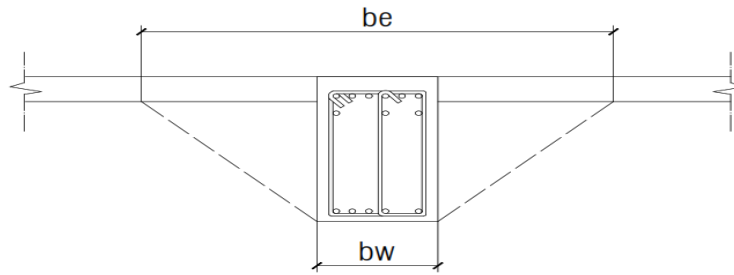
$$d1 = d' - s_{\text{pelat}} - 0,5 D_{\text{pelat}}$$

$$= 83,97 - 20 - (0,5 \cdot 13) = 57,47 \text{ mm}$$

Jarak antar A_s tulangan pada balok dan pelat bawah :

$$d2 = t_{\text{pelat}} - d1 - s_{\text{pelat}} - 0,5 D_{\text{pelat}}$$

$$= 120 - 57,47 - 20 - (0,5 \cdot 13) = 36,03 \text{ mm}$$



Gambar 6. 18 Lebar Efektif Balok T

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 6.3.2.1, untuk lebar balok T diambil dari nilai yang terkecil dari persyaratan berikut ini :

1. $bw + 8h = 400 + (8 \cdot 120) = 1360 \text{ mm}$
2. $bw + \left(\frac{S_w}{2}\right) = 400 + \left(\frac{4300}{2}\right) = 2550 \text{ mm}$
3. $bw + \left(\frac{\ell_n}{8}\right) = 400 + \left(\frac{6300}{8}\right) = 1187,50 \text{ mm}$

maka, diambil dengan nilai terkecil $be = 1187,50 \text{ mm}$

Luas tulangan atas :

$$\begin{aligned} \text{As atas} &= \text{As balok} + \left(\frac{be}{\text{jarak tulangan pelat}} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ &= 3799,40 + \left(\frac{1187,50}{200} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \right) \\ &= 4416,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan bawah :

$$\text{As bawah} : 2659,58 \text{ mm}^2$$

Tinggi efektif balok T :

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

$$d \text{ atas} = 636 - \left[\left(\frac{531}{4416,29} \cdot 57,47 \right) + \left(\frac{531}{4416,29} \cdot 36,03 \right) \right]$$

$$d \text{ atas} = 624,76 \text{ mm}$$

$$d \text{ bawah} = 636 \text{ mm}$$

a. M_{nb}^-

$$a^- = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{4416,29 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400}$$

$$= 155,87 \text{ mm}$$

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

$$= 4416,29 \cdot 420 \cdot \left(624,76 - \frac{155,87}{2}\right)$$

$$M_{nb}^- = 1014271245,71 \text{ Nmm} = 1014,27 \text{ kNm}$$

b. M_{nb}^+

$$a^+ = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2659,58 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400}$$

$$= 131,41 \text{ mm}$$

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

$$= 2659,58 \cdot 420 \cdot \left(636 - \frac{131,41}{2}\right)$$

$$M_{nb}^+ = 637030734,66 \text{ Nmm} = 637,03 \text{ kNm}$$

c. $\Sigma M_{nb} = M_{nb}^- + M_{nb}^+$

$$\Sigma M_{nb} = 1014,27 + 637,03$$

$$\Sigma M_{nb} = 1651,30 \text{ Knm}$$

Berikutnya dilakukan dengan pengecekan persyaratan sebagai berikut :

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

$$7732,15 \geq 1,2 \cdot 1651,30$$

$$7732,15 \text{ kNm} \geq 1981,56 \text{ kNm (OK)}$$

Maka, persyaratan *Strong Column Weak Beam* terpenuhi.

6.8.3. Perhitungan Tulangan *Confinement*

Berdasarkan yang tercantum dalam SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.5.2, tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari masing – masing muka *joint* kolom. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari ketiga persamaan sebagai berikut :

- Tinggi komponen struktur pada muka *joint* : $h = 700 \text{ mm}$

- $\frac{1}{6}$ tinggi bersih kolom = $\frac{1}{6} \times 3300 = 550$
- 450 mm

Maka digunakan pengekang terpanjang $l_0 = 700$ mm dari muka penampang

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

$$8209,05 \leq 0,3 \times 900 \times 900 \times 35$$

$$9160,94 \leq 8505 \text{ kNm}$$

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

$$A. \frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_y} bc$$

$$B. \frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{f_c'}{f_y} bc$$

$$C. 0,2 \cdot k_f \cdot kn \cdot \left(\frac{P_u}{f_{yt} \cdot ach} \right)$$

Dimana :

- Luas penampang beton :

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 900 \times 900 \\ &= 810.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas penampang sampai luar tulangan

$$\begin{aligned} A_{ch} &= (b - 2ts) (h - 2ts) \\ &= (900 - 2(40)) (900 - 2(40)) \\ &= 672400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} bc &= b - 2ts \\ &= 900 - 2(40) \\ &= 820 \text{ mm} \end{aligned}$$

k_f = faktor kekuatan beton

$$k_f = \frac{f_c'}{175} + 0,8 \geq 1,0$$

$$= \frac{35}{175} + 0,6 \geq 1,0 = 0,8 < 1,0$$

Maka diambil nilai $k_f = 1,0$

k_n = faktor keefektifan pengeangan

$$k_n = \frac{nl}{nl-2}$$

$$= \frac{24}{24-2} = 1,09$$

Sehingga :

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

$$= 0,3 \left(\frac{810000}{672400} - 1 \right) \frac{35}{420} 820$$

$$= 4,20 \text{ mm}$$

$$- \frac{Ash}{s} = 0,09 \frac{f'c}{f_y} bc$$

$$= 0,09 \frac{35}{420} 820$$

$$= 6,15 \text{ mm}$$

$$- 0,2 \cdot k_f \cdot k_n \cdot \left(\frac{Pu}{f_{yt} \cdot ach} \right) = 0,2 \cdot 1,0 \cdot 1,09 \left(\frac{8209,05}{420 \cdot 672400} \right) = 0,0000634 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Maka diambil nilai yang terbesar adalah $\frac{Ash}{s} = 6,15 \text{ mm}$

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

a. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom

$$S_0 = \frac{900}{4} = 225 \text{ mm}$$

b. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_0 = 6 \times 25 = 150$$

c. S_0 yang akan 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

$$h_x = \frac{900 - 2(40) - 2(16) - 25}{4} = 190,75 \text{ mm}$$

$$S_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left(\frac{350 - 190,75}{3} \right) = 153,08$$

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.5.3, disebutkan bahwa S_0 tidak boleh melebihi dari 150 mm dan tidak boleh kurang dari 100 mm, Karena S_0 lebih dari 150 mm, maka direncanakan dengan spasi tulangan sebesar 100 mm.

$$\frac{Ash}{s} = 6,15 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 100 = 615 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan sengkang 4 kaki D16 – 100mm

$$\begin{aligned} Ash_{pakai} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \\ &= 803,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Ash_{pakai} \geq Ash_{perlu}$$

$$803,84 \text{ mm}^2 \geq 615 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

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 :

$$S_0 = 6 \times 25 = 150$$

- $S_0 = 150 \text{ mm}$

Maka spasi tulangan daerah l_0 direncanakan sebesar 150 mm

6.8.3.1. Perhitungan Tulangan Geser

Sebagaimana yang tercantum 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.

A. Gaya Geser M_{pr} Kolom

$$V_e = \frac{M_{pratas} + M_{prbawah}}{l_u}$$

Dimana nilai M_{pr} kolom dihitung seperti sebagai berikut :

Tulangan terpasang pada kolom 24D25 ($A_s = 11775 \text{ mm}^2$)

$$a_{prc} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{1,25 \cdot 11775 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 900} = 230,88$$

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

$$= 1,25 \cdot 11775 \cdot 420 \left(791,50 - \frac{230,88}{2} \right)$$

$$= 4179311139,71 \text{ Nmm}$$

Maka gaya geser pada Mpr kolom $V_e = \frac{4179311139,71 + 4179311139,71}{3300} = 2532915,84 \text{ N}$

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

B. Gaya geser Mpr Balok

$$V_e = \frac{M_{pr\text{atas}} DF_{\text{atas}} + M_{pr\text{bawah}} DF_{\text{bawah}}}{l_u}$$

Df ialah faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah elemen yang didesain, karena kekakuan kolom dilantai atas dan bawah sama maka $DF_{\text{atas}} = DF_{\text{bawah}} = 0,5$

$$V_e = \frac{1101444523 \cdot 0,5 + 806117945,10 \cdot 0,5}{6100} = 156357,58 \text{ N}$$

C. Gaya Geser Hasil Analisis

$$V_e = 137874 \text{ kN}$$

D. Gaya Geser Dipakai

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

$$137,87 \text{ kN} \leq 153,36 \text{ kN} \leq 2532,92 \text{ kN}$$

Digunakan nilai $V_e = 156,36 \text{ kN}$

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.6 .2.1, tulangan transversal didesain untuk menahan gaya geser dengan menggunakan asumsi $V_c = 0$, apabila

$$V_e \geq 0,5 V_u$$

$$156,36 \geq 0,5 \cdot 2532,92$$

$$156,36 \text{ kN} \leq 1266,46 \text{ (Tidak OK)}$$

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

$$8209,05 < \frac{810000 \cdot 35}{20}$$

$$8209052 \text{ N} < 1417500 \text{ N (Tidak OK)}$$

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

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{8209052}{14 \cdot 810000} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 900 \cdot 791,50$$

$$V_c = 1235062,74 \text{ N}$$

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

Sehingga :

$$V_s = \frac{Av \cdot fyt \cdot d}{s}$$

Tulangan *confident* pada sebelumnya dipasang 4 kaki D16 – 100, maka dari itu :

$$V_s = \frac{803,84 \cdot 420 \cdot 791,50}{100} = 2672205,31 \text{ N}$$

Sehingga :

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

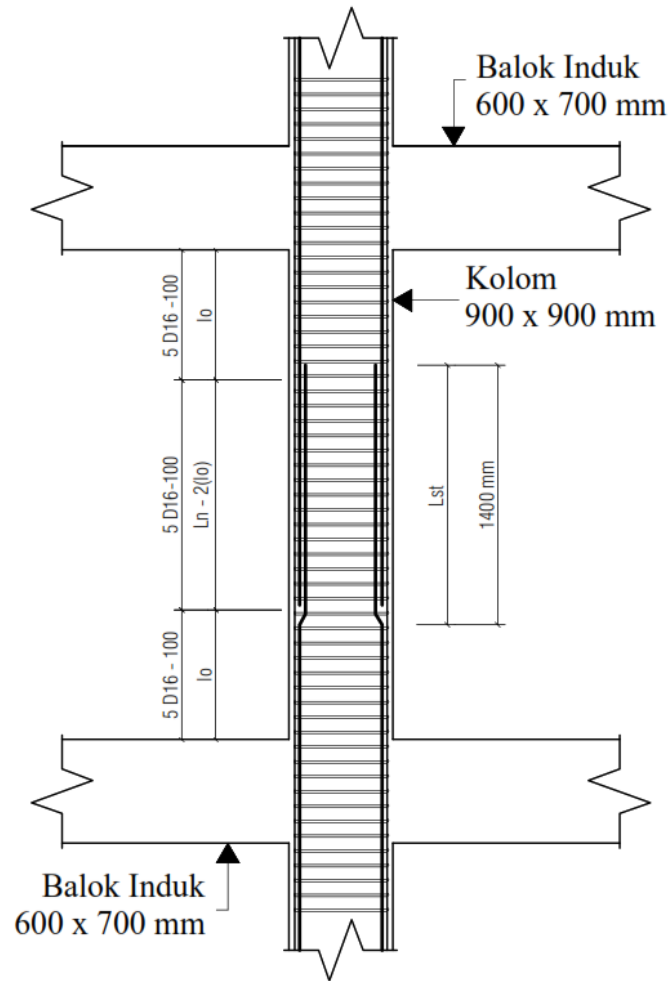
$$0,75(1235062,74 + 2672205,31) \geq 2.487.124,29 \text{ N}$$

$$2930451,04 \text{ N} \geq 2532915,84 \text{ N (OK)}$$

6.8.4. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan pada Kolom

Sambungan lewatan yang tercantum dalam 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 dengan tulangan transversal. Panjang sambungan lewatan ditentukan berdasarkan perumusan yang tercantum dalam SNI 2847 – 2019 Tabel 25.5.2.1. Sebagai berikut :

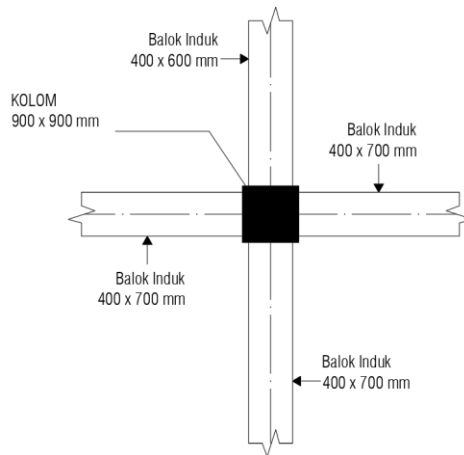
$$l_{st} = 1,3 \left(\frac{fy \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{fc'}} \right) db = 1,3 \left(\frac{420 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \right) \cdot 25 = 1357,22 = 1400 \text{ mm}$$



Gambar 6. 19 Tulangan Sambungan pada Kolom

6.8.5 Desain Hubungan Balok Kolom

Hubungan antara balok dengan kolom untuk perencanaan dengan sistem rangka pemikul momen khusus yang tercantum berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.8. Sebagai contoh perhitungan hubungan balok dengan kolom dilakukan pada salah satu *joint* yang terletak pada lantai satu sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 6.39 dibawah ini:



Gambar 6. 20 Hubungan Balok kolom yang Ditinjau

A. Cek Persyaratan Dimensi Kolom

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

$$20D_{\text{balok}} \leq 900 = 20 \cdot 22 \leq 900$$

$$= 440 \text{ mm} \leq 900 \text{ mm (OK)}$$

B. Luas Efektif Joint

Luas efektif *joint*, A_j , sebagaimana yang tercantum dalam SNI 2847 – 2019 Pasal 18.4.3, harus dihitung dari perkalian antara tinggi dengan lebar efektif *joint*

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

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 seperti pada persamaan berikut :

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

$$b_{\text{efektif}} = 400 + 700 \leq 400 + 2 \left(\frac{700 - 400}{2} \right)$$

$$b_{\text{efektif}} = 1100 < 700 \text{ mm}$$

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

$$= 700 \times 700$$

$$= 490.000 \text{ mm}^2$$

C. Cek Persyaratan tulangan transversal

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

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

$$400 \geq \frac{3}{4} \cdot 900$$

$$400 \text{ mm} \leq 675 \text{ mm}$$

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

6.8.6. Desain Hubungan Balok Kolom yang Terkekang oleh 4 Balok

A. Cek Gaya Geser pada *Joint*

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

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

$$= 0,5 (806117945,10 + 1101444523,48)$$

$$= 953781234,29 \text{ Nmm}$$

Maka didapat dari nilai M_c , sehingga dapat ditentukan V_{sway} merupakan hasil dari penjumlahan M_c atas dan M_c bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_c + M_c}{l_u}$$

$$= \frac{953781234,29 + 953781234,29}{3300}$$

$$= 578049,23 \text{ N}$$

Geser yang terjadi pada *joint* juga disebabkan dari gaya tekan dan tarik pada tulangan longitudinal balok.

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok dibagian kiri *joint*

$$T_1 = 1,25 A_s f_y$$

$$= 1,25 \cdot 3799,40 \cdot 420$$

$$T_1 = 1994685 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri *joint*

$$C_1 = T_1 = 1994685 \text{ N}$$

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok dibagian kanan *joint*

$$T_2 = 1,25 A_s f_y$$

$$= 1,25 \cdot 2659,58 \cdot 420$$

$$T_2 = 1396279,50 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kanan *joint*

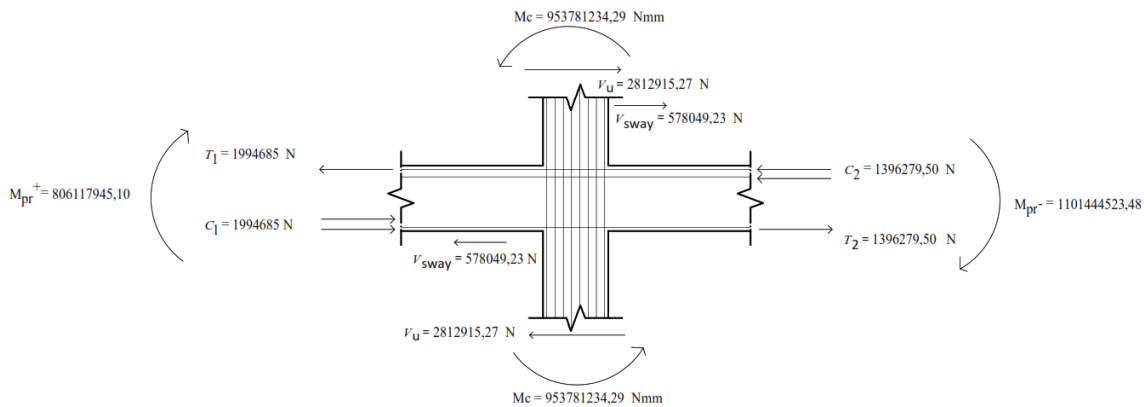
$$C_2 = T_2 = 1396279,50 \text{ N}$$

Maka, total gaya geser yang bekerja pada *joint* sebagai berikut

$$V_u = T_1 + C_2 - V_{\text{sway}}$$

$$= 1994685 + 1396279,50 - 578049,23$$

$$= 2812915,27 \text{ N}$$



Gambar 6. 21 Hubungan Balok kolom Terkekang Empat Balok

B. Kapasitas Kuat Geser *Joint*

Kapasitas kuat geser joint dimana yang tercantum berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.8.4.1, kapasitas kekuatan geser nominal pada *joint*, V_n dengan *joint* yang rerkekangbalok pada keempat sisinya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

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

$$= 1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 490.000$$

$$V_n = 4928094,46$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$(0,75 \cdot 4928094,46) \geq 2812915,27 \text{ N}$$

$$3696070,84 \text{ N} \geq 2812915,27 \text{ N (OK)}$$

6.8.7. Desain Hubungan Balok Kolom Terkekang 3 atau 2 Balok

A. Cek Gaya Geser pada *Joint*

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

$$\begin{aligned} M_c &= DF (M_{pr}^+) \\ &= 0,5 \cdot 806117945,10 \end{aligned}$$

$$M_c = 403058927,55 \text{ Nmm}$$

Maka didapat dari nilai M_c , sehingga dapat ditentukan V_{sway} merupakan hasil dari penjumlahan M_c atas dan M_c bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{M_c + M_c}{l_u} \\ &= \frac{403058927,55 + 403058927,55}{3300} \\ &= 244278,17 \text{ N} \end{aligned}$$

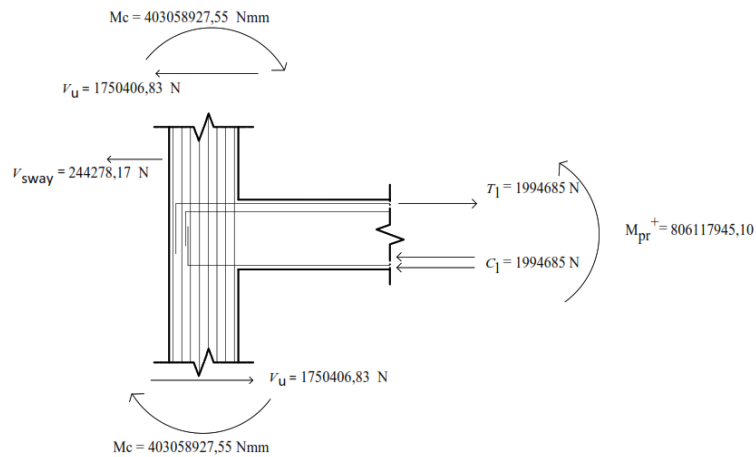
Geser yang terjadi pada *joint* juga disebabkan dari gaya tekan dan tarik pada tulangan longitudinal balok.

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok dibagian kiri *joint*

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 A_s f_y \\ &= 1,25 \cdot 3799,40 \cdot 420 \\ T_1 &= 1994685 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, total gaya geser yang bekerja pada *joint* sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_u &= T_1 - V_{sway} \\ &= 1994685 - 244278,17 \\ &= 1750406,83 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 6. 22 Hubungan Balok kolom Terkekang 3 Balok atau 2 Balok

C. Kapasitas Kuat Geser *Joint*

Kapasitas kuat geser joint dimana yang tercantum berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.8.4.1, kapasitas kekuatan geser nominal pada *joint*, V_n dengan *joint* yang rerkekangbalok pada keempat sisinya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

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

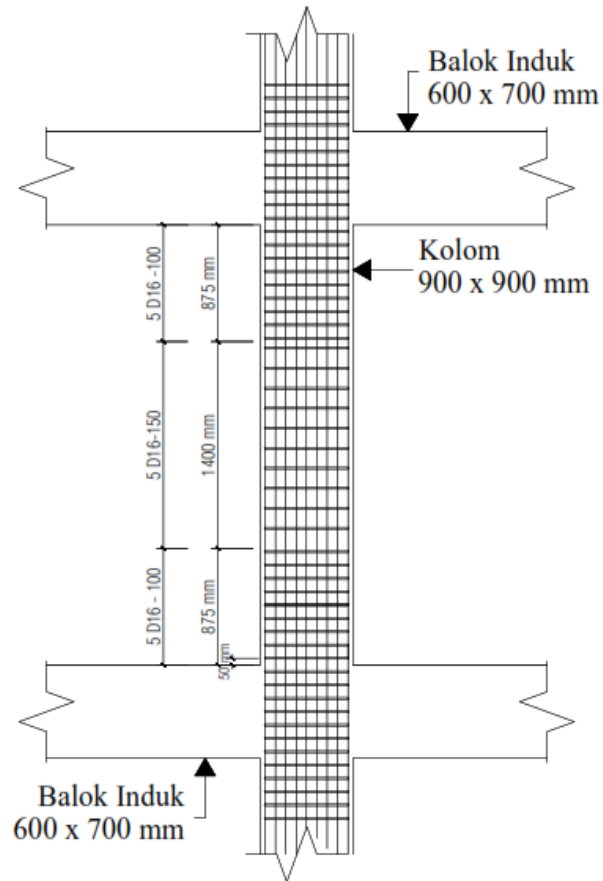
$$= 1,2 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 490.000$$

$$V_n = 1478654,91 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$(0,75 \cdot 1478654,91) \geq 1750406,83 \text{ N}$$

$$2608991,18 \text{ N} \geq 1750406,83 \text{ N (OK)}$$



Gambar 6. 23 Detail Penulangan Kolom

6.8.8. Rekapitulasi Penulasan Struktur Primer

Tabel 6. 11 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Lantai	Dimensi (cm)	Dimensi (cm)	Tumpuan Pakai						Lapangan Pakai						Tumpuan Output SAP2000		Lapangan Output SAP2000		Kontrol		
			Tulangan			Luas			Tulangan			Luas			c		d		a > c	b > d	
			a						b						e		e				
2 - 5	40/60	Atas	6	D	22	2279,64	mm2	4	D	22	1519,76	mm2	1968,77	mm2	1443,74	mm2	OK	OK			
		Tengah	4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	571,55	mm2	571,55	mm2	OK	OK			
		Bawah	4	D	22	1519,76	mm2	6	D	22	2279,64	mm2	1256,06	mm2	1968,77	mm2	OK	OK			
		Sengkang	2	D	13	-	100	2,65	mm2/mm	2	D	13	-	150	1,77	mm2/mm	2,06	mm2/mm	1,51	mm2/mm	OK
	40/70	Atas	10	D	22	3799,40	mm2	7	D	22	2659,58	mm2	2997,33	mm2	2334,03	mm2	OK	OK			
		Tengah	4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	672,87	mm2	672,87	mm2	OK	OK			
		Bawah	7	D	22	2659,58	mm2	10	D	22	3799,40	mm2	1910,01	mm2	3125,24	mm2	OK	OK			
		Sengkang	3	D	13	-	100	3,98	mm2/mm	3	D	13	-	150	2,65	mm2/mm	2,45	mm2/mm	1,94	mm2/mm	OK
6 - 10	40/60	Atas	5	D	22	1899,70	mm2	4	D	22	1519,76	mm2	1765,53	mm2	1243,62	mm2	OK	OK			
		Tengah	4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	431,79	mm2	431,79	mm2	OK	OK			
		Bawah	4	D	22	1519,76	mm2	5	D	22	1899,7	mm2	1230,85	mm2	1699	mm2	OK	OK			
		Sengkang	2	D	13	-	100	2,65	mm2/mm	2	D	13	-	150	2,65	mm2/mm	2,45	mm2/mm	2,45	mm2/mm	OK
	40/70	Atas	7	D	22	2659,58	mm2	5	D	22	1899,70	mm2	1563,05	mm2	607,88	mm2	OK	OK			
		Tengah	4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	612,36	mm2	612,36	mm2	OK	OK			
		Bawah	5	D	22	1899,70	mm2	7	D	22	2659,58	mm2	1099,39	mm2	1397,79	mm2	OK	OK			
		Sengkang	3	D	13	-	100	398,00	mm2	3	D	13	-	150	398,00	mm2/mm	109,65	mm2/mm	1,81	mm2/mm	OK
11 - 13	40/60	Atas	4	D	22	1519,76	mm2	3	D	22	1139,82	mm2	1462,22	mm2	894,8	mm2	OK	OK			
		Tengah	4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	455,64	mm2	455,64	mm2	OK	OK			
		Bawah	4	D	22	1519,76	mm2	4	D	22	1519,76	mm2	1230,85	mm2	1405,21	mm2	OK	OK			
		Sengkang	2	D	13	-	100	2,65	mm2/mm	2	D	13	-	150	2,65	mm2/mm	2,45	mm2/mm	2,45	mm2/mm	OK
	40/70	Atas	7	D	22	2659,58	mm2	5	D	22	1899,70	mm2	1625,42	mm2	894,8	mm2	OK	OK			
		Tengah	4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	455,64	mm2	455,64	mm2	OK	OK			
		Bawah	5	D	22	1899,70	mm2	7	D	22	2659,58	mm2	982,52	mm2	1141,47	mm2	OK	OK			
		Sengkang	3	D	13	-	100	398,00	mm2/mm	3	D	13	-	150	398,00	mm2/mm	112,60	mm2/mm	116,38	mm2/mm	OK

Tabel 6. 12 Rekapitulasi Penulangan Kolom

No	Lantai	Kolom	Dimensi	Tumpuan			Output SAP2000		Kontrol			
			cm	Tulangan	Mn (Tonm)	ϕ Pn (Ton)	Mn (Tonm)	Pu (Ton)	Moment	Aksial		
1.	1 - 5	K1	900 x 900	24	D	25	497,57	10652,66	49,07	922,74	OK	OK
2.	6 - 10	K2	800 x 800	20	D	25	360,91	8809,53	78,54	585,61	OK	OK
3.	11 - 13	K3	700 x 700	16	D	25	246,70	7005,08	57,28	202,36	OK	OK