

BAB V

ANALISIS DAN PERENCANAAN STRUKTUR

5.1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi adalah beban yang bekerja pada suatu portal berupa beban mati dan beban hidup. Untuk dapat menghitung beban yang diterima balok-balok portal, maka terlebih dahulu harus dihitung beban yang diterima pelat lantai yang kemudian disalurkan ke balok anak dan ke balok-balok portal.

Hitungan berat bangunan dan komponen bangunan yang digunakan pada perancangan struktur gedung ini berdasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPIUG 1983), sebagai berikut :

1. Beban Mati

- | | | |
|--|--------|-----------------|
| a. Beton Bertulang | : 23 | kN/m^3 |
| b. Dinding pasangan bata merah 1/2 batu | : 2,5 | kN/m^2 |
| c. Adukan semen per cm tebal | : 0,21 | kN/m^2 |
| d. Pasir per cm tebal | : 16 | kN/m^3 |
| e. Penutup lantai dari ubin per cm tebal | : 0,24 | kN/m^2 |
| f. Plafon + penggantung | : 0,18 | kN/m^2 |
| g. Mekanikal + elektrik | : 0,15 | kN/m^2 |

h. *Finishing* (spesi & *waterproofing*) : 0,50 kN/m²

2. Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada portal dibedakan menjadi :

- a. Beban hidup yang bekerja pada pelat atap : 1,0 kN/m²
 b. Beban hidup yang bekerja pada pelat lantai : 2,5 kN/m²

5.1.1. Pembebanan pada portal

Pembebanan pada portal berupa beban terbagi merata yang dihitung berdasarkan satuan per m' panjang.

1. Beban yang bekerja pada atap

a. Beban mati :

- | | | |
|--|------------|--------------|
| 1.) Pelat atap (tebal 10 cm) | = 0,1.23.1 | = 2,3 kN/m' |
| 2.) Mekanikal + elektrik | = 0,15.1 | = 0,15 kN/m' |
| 3.) Plafon + penggantung | = 0,18.1 | = 0,18 kN/m' |
| 4.) <i>Finishing</i> (spesi + <i>waterproofing</i>) | = 0,50.1 | = 0,50 kN/m' |

$$qD_1 = 3,13 \text{ kN/m'}$$

b. Beban hidup :

Beban hidup yang bekerja pada atap, $qL_1 = 1,00 \text{ kN/m'}$

2. Beban yang bekerja pada lantai

a. Beban mati :

1. Pelat lantai (tebal 12 cm)	= 0,12.23.1	= 2,76 kN/m ²
2. Pasir (tebal 5 cm)	= 0,05.16.1	= 0,8 kN/m ²
3. Spesi (tebal 3 cm)	= 3.0,21	= 0,63 kN/m ²
4. Ubin	= 0,24.1	= 0,24 kN/m ²
5. Mekanikal + elektrik	= 0,15.1	= 0,15 kN/m ²
6. Plafon + penggantung	= 0,18.1	= 0,18 kN/m ²
	qD_2	= 4.76 kN/m ²

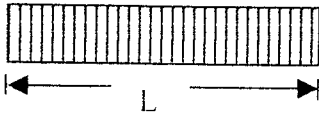
b. Beban hidup :

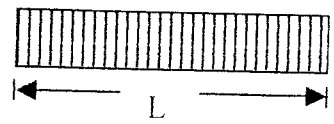
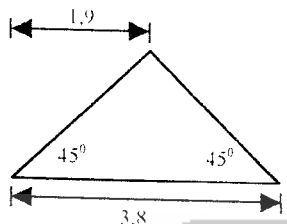
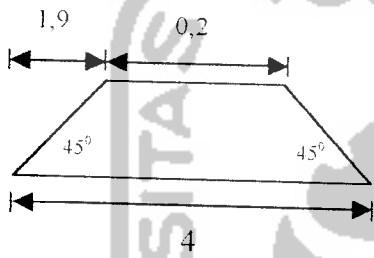
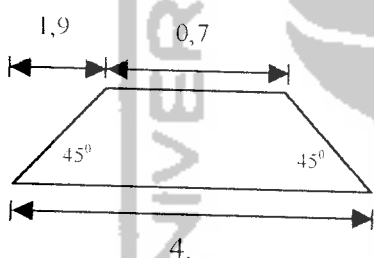
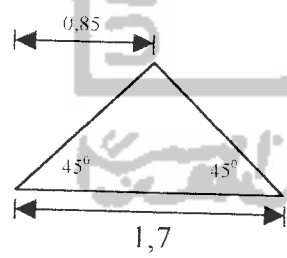
Beban hidup yang bekerja pada lantai, $qL_2 = 2,50 \text{ kN/m}^2$

5.1.2. Distribusi Pembebanan

Pembagian pembebanan pada pelat menggunakan metode amplop dengan konfigurasi berupa bidang trapesium dan segitiga. Untuk beban dinding $\frac{1}{2}$ batu didistribusikan sebagai beban terbagi merata.

Tabel 5.1. Distribusi pembebanan pada portal

No.	Bentuk Pembebanan	Beban Mati (kN/m ²)	Beban Hidup (kN/m ²)
1	Beban dinding $\frac{1}{2}$ bata 	a. Tinggi 2,8 m Lantai = 7 b. Tinggi 3 m Lantai = 7,5 c. Tinggi 3,9 m Lantai = 9,75 d. Tinggi 4,2 m Lantai = 10,5	

2		<p>a. Tinggi 3 m Lantai = 13,8</p> <p>b. Tinggi 4,2 m Lantai = 4,2</p>	
3		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
4		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
5		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
6		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>

7		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
8		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
9		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
10		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>
11		<p>Atap = 3,13 Lantai = 4,76</p>	<p>Atap = 1,00 Lantai = 2,50</p>

5.2. Beban Gempa

Dalam perencanaan struktur, beban gempa ditinjau sebagai gaya horisontal dari pengaruh pergerakan tanah akibat terjadinya gempa. Berdasarkan data struktur tinggi bangunan dan Peraturan Perencanaan Bangunan Tahan Gempa, dengan tinggi bangunan 46,6 m digunakan perencanaan struktur analisis dinamik.

5.3. Perencanaan Portal

Perencanaan struktur pada tugas akhir ini menggunakan bantuan *software* SAP '90 dengan tinjauan analisis dinamik untuk mendapatkan gaya-gaya dalam. Adapun perhitungan berat bangunan untuk masing-masing lantai adalah sebagai berikut :

1. Pelat atap

Beban mati :

Pelat atap (10 cm)	=	$0,1 \times 49,6 \times 16,4 \times 23$	=	1870,912	kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456	kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 189,2 \times 23$	=	870,32	kN
				<hr/>	
				W_{DA}	= 3998,688 kN

$$\text{Beban hidup } (W_{LA}) = 0,3 \times 49,6 \times 16,4 \times 1 = 244,032 \text{ kN}$$

2. Lantai 7 s/d 13

Beban mati :

Pelat lantai (12 cm)	=	$0,12 \times 49,6 \times 16,4 \times 23$	=	2245,094 kN
Dinding bata	=	$3 \times 227,8 \times 2,5$	=	1708,5 kN
Kolom (60/60)	=	$0,6 \times 0,6 \times 3 \times 23 \times 21$	=	521,64 kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456 kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 189,2 \times 23$	=	870,32 kN
Dinding geser (20 cm)	=	$0,2 \times 16,6 \times 3 \times 23$	=	229,08 kN
			<hr/>	
		WD ₇₋₁₃	=	6832,090 kN

$$\text{Beban hidup (WL}_{1-13}) = 0,3 \times 49,6 \times 16,4 \times 2,5 = 610,08 \text{ kN}$$

3. Lantai 4 s/d 6

Beban mati :

Pelat lantai (12 cm)	=	$0,12 \times 49,6 \times 16,4 \times 23$	=	2245,094 kN
Dinding bata	=	$3 \times 227,8 \times 2,5$	=	1708,5 kN
Kolom (80/80)	=	$0,8 \times 0,8 \times 3 \times 23 \times 21$	=	927,36 kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456 kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 189,2 \times 23$	=	870,32 kN
Dinding geser (20 cm)	=	$0,2 \times 16,6 \times 3 \times 23$	=	229,08 kN
			<hr/>	
		WD ₄₋₆	=	7237,810 kN

$$\text{Beban hidup (WL}_{4-6}) = 0,3 \times 49,6 \times 16,4 \times 2,5 = 610,08 \text{ kN}$$

4. Lantai 3

Beban mati :

Pelat lantai (12 cm)	=	$0,12 \times 49,6 \times 16,4 \times 23$	=	2245,094 kN
Dinding bata	=	$3,9 \times 227,8 \times 2,5$	=	2221,05 kN
Kolom (80/80)	=	$0,8 \times 0,8 \times 3,9 \times 23 \times 21$	=	1205,568 kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456 kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 189,2 \times 23$	=	870,32 kN
Dinding geser (20 cm)	=	$0,2 \times 16,6 \times 3,9 \times 23$	=	297,804 kN
			<hr/>	
		WD ₃	=	8097,292 kN

$$\text{Beban hidup (WL}_3\text{)} = 0,3 \times 49,6 \times 16,4 \times 2,5 = 610,08 \text{ kN}$$

5. Lantai 2

Beban mati :

Pelat lantai (12 cm)	=	$0,12 \times 45,6 \times 13 \times 23$	=	1636,128 kN
Dinding bata	=	$2,8 \times 227,8 \times 2,5$	=	1594,6 kN
Kolom (80/80)	=	$0,8 \times 0,8 \times 2,8 \times 23 \times 21$	=	865,536 kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456 kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 123,6 \times 23$	=	625,416 kN
Dinding geser (20 cm)	=	$0,2 \times 16,6 \times 2,8 \times 23$	=	213,808 kN
			<hr/>	
		WD ₂	=	6192,944 kN

$$\text{Beban hidup (WL}_2\text{)} = 0,3 \times 45,6 \times 13 \times 2,5 = 444,6 \text{ kN}$$

6. Lantai 1

Beban mati :

Pelat lantai (12 cm)	=	$0,12 \times 45,6 \times 13 \times 23$	=	1636,128 kN
Dinding bata	=	$2,7 \times 227,8 \times 2,5$	=	1537,65 kN
Kolom (80/80)	=	$0,8 \times 0,8 \times 2,7 \times 23 \times 21$	=	834,624 kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456 kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 123,6 \times 23$	=	625,416 kN
Dinding geser (20 cm)	=	$0,2 \times 16,6 \times 2,7 \times 23$	=	206,172 kN
			<hr/>	
		WD_1	=	6097,446 kN

$$\text{Beban hidup } (WL_1) = 0,3 \times 45,6 \times 13 \times 2,5 = 444,6 \text{ kN}$$

7. Lantai basement 2

Beban mati :

Pelat lantai (12 cm)	=	$0,12 \times 45,6 \times 13 \times 23$	=	1636,128 kN
Dinding penahan tanah (20 cm)	=	$0,2 \times 4,2 \times 117,2 \times 23$	=	2264,304 kN
Kolom (80/80)	=	$0,8 \times 0,8 \times 4,2 \times 23 \times 21$	=	1298,304 kN
Balok induk (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23$	=	1257,456 kN
Balok anak (40/50)	=	$0,4 \times 0,5 \times 123,6 \times 23$	=	625,416 kN
Dinding geser (20 cm)	=	$0,2 \times 16,6 \times 4,2 \times 23$	=	320,712 kN
			<hr/>	
		WD_{B2}	=	7402,32 kN

$$\text{Beban hidup } (WL_{B2}) = 0,3 \times 45,6 \times 13 \times 2,5 = 444,6 \text{ kN}$$

8. Lantai basement 1

Beban mati :

$$\text{Pelat lantai (20 cm)} = 0,2 \times 45,6 \times 13 \times 23 = 2726,88 \text{ kN}$$

$$\text{Dinding penahan tanah (20 cm)} = 0,2 \times 3 \times 117,2 \times 23 = 1617,36 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom (80/80)} = 0,8 \times 0,8 \times 3 \times 23 \times 21 = 927,36 \text{ kN}$$

$$\text{Balok sloof (40/60)} = 0,4 \times 0,6 \times 227,8 \times 23 = 1257,456 \text{ kN}$$

$$\text{Dinding geser (20 cm)} = 0,2 \times 16,6 \times 3 \times 23 = 229,08 \text{ kN}$$

$$\text{WD}_{B1} = 6758,136 \text{ kN}$$

$$\text{Beban hidup (WL}_{B1}) = 0,3 \times 45,6 \times 13 \times 2,5 = 444,6 \text{ kN}$$

Secara garis besar berat tiap-tiap lantai dapat dilihat pada tabel 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.2. Berat dan massa bangunan

Lantai	Beban Mati (kN)	Beban Hidup Tereduksi (kN)	Berat Total (kN)	Massa Lantai $M = \frac{w}{g}$
Atap	3998,688	244,032	4242,72	432,4893
13	6832,09	610,08	7442,17	758,631
12	6832,09	610,08	7442,17	758,631
11	6832,09	610,08	7442,17	758,631
10	6832,09	610,08	7442,17	758,631
9	6832,09	610,08	7442,17	758,631
8	6832,09	610,08	7442,17	758,631
7	6832,09	610,08	7442,17	758,631
6	7237,81	610,08	7442,17	799,9888
5	7237,81	610,08	7442,17	799,9888
4	7237,81	610,08	7442,17	799,9888
3	8097,292	610,08	8708,372	887,6016
2	6192,944	444,6	6637,544	676,61
1	6097,446	444,6	6542,046	666,8752
basement 2	7402,32	444,6	7846,92	799,8899
Basement 1	6758,136	444,6	7202,736	734,2239

Berdasarkan tabel 5.2 kolom 5, ditentukan momen inersia massa untuk masing-masing lantai dengan menggunakan persamaan-persamaan:

Massa translasi :

Arah sumbu x :

$$m_{tx} = \frac{q \cdot x}{g} \quad (5-1)$$

Arah sumbu y :

$$m_{ty} = \frac{q \cdot y}{g} \quad (5-2)$$

Momen inersia massa (untuk bentuk persegi panjang) :

$$mr = \frac{M(b^2 + d^2)}{12} \quad (5-3)$$

Tabel 5.3. Momen inersia massa

Lantai	Massa	Jarak X	Jarak Y	M _{ux}	M _{uy}	MMI
Atap	432.4893	49.6	16.4	20.839	6.904	98359.53
13	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
12	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
11	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
10	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
9	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
8	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
7	758.631	49.6	16.4	36.707	12.137	172532.9
6	799.9888	49.6	16.4	36.707	12.137	181938.8
5	799.9888	49.6	16.4	36.707	12.137	181938.8
4	799.9888	49.6	16.4	36.707	12.137	181938.8
3	887.6016	49.6	16.4	36.707	12.137	201864.3
2	676.61	45.6	13	33.747	9.621	126771.9
1	666.8752	45.6	13	33.747	9.621	124910.4
Basement 2	799.8899	45.6	13	33.747	9.621	149870
Basement 1	734.2239	45.6	13	33.747	9.621	137566.6

5.4 Perhitungan Struktur

Perhitungan struktur dalam bahasan tugas akhir ini meliputi perencanaan luas penampang dan jumlah tulangan yang diperlukan untuk menahan gaya-gaya dalam portal yang bekerja pada komponen struktur akibat beban mati, hidup dan gempa. Gaya-gaya dalam portal akibat beban-beban tersebut didapatkan dari analisis struktur dengan menggunakan program SAP 90 dengan uraian input dan hasil analisis terdapat pada lampiran.

Detail analisis perencanaan ditentukan pada portal As-C dan As-2 dengan dibagi dalam 4 bagian tinjauan (lihat lampiran). Dimensi yang digunakan dalam asumsi awal untuk analisis balok dan kolom menggunakan dimensi yang baru.

Cara analisis mengacu pada SK SNI-03-2847-1992, dengan ketentuan-ketentuan yang dipakai antara lain :

1. Modulus elastisitas beton (E_c) sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$, = 21019.03 dalam satuan Mpa (SK SNI pasal 3.1.5.1).
2. Modulus elastisitas untuk baja tulangan non pratekan (E_s) = 200,000 Mpa (SK SNI pasal 3.1.5.2).
3. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk analisis lentur pada balok sebesar 0.8 (SK SNI pasal 3.2.3.2.1).
4. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk komponen struktur yang memikul beban aksial tekan dengan lentur dengan tulangan sengkang biasa 0.65, untuk komponen struktur yang memikul beban aksial tarik dengan lentur dengan tulangan sengkang biasa 0.8 (SK SNI pasal 3.2.3.2.2).
5. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk geser sebesar 0.6 (SK SNI pasal 3.2.3.2.3)

5.4.1 Perhitungan struktur balok As C (Arah X)

Perencanaan struktur dengan daktilitas penuh dalam bahasan tugas akhir ini meliputi perencanaan balok portal terhadap beban lentur, perencanaan penulangan geser pada balok, dan perencanaan penulangan kolom terhadap beban aksial maupun geser.

a. Perencanaan balok portal terhadap beban lentur

Kuat lentur periu balok portal yang dinyatakan dengan M_{ub} ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan. Besarnya Gaya-gaya dalam portal diuraikan dalam bentuk tabel (5.4).

Tabel 5.4 kombinasi momen rencana
Balok portal As C

No. Bagian	Segmen	$1.2 M_D + 1.6 M_L$	$0.9 M_D \pm M_E$		$1.5 (M_D + 0.6 M_L \pm M_E)$	
			-	+	-	+
1	1	165.963	190.527	218.316	533.442	351.714
	2	94.617	108.621	124.465	304.121	200.516
	3	165.036	189.462	217.097	530.462	349.749
2	4	159.702	185.924	210.081	520.556	338.446
	5	89.263	103.919	117.421	290.955	189.168
	6	159.456	185.638	209.757	519.754	337.925
3	7	163.667	183.902	215.296	514.894	346.848
	8	103.826	116.663	136.578	326.636	220.032
	9	162.316	182.384	213.518	510.643	343.984
4	10	162.850	186.853	214.221	523.156	345.116
	11	100.523	115.340	132.233	322.932	213.032
	12	161.831	185.684	212.881	519.884	342.958

Tabel 5.5 Momen rencana pada balok portal As-C untuk struktur dengan daktilitas penuh

No. Bagian	M_{u-T} kNm	M_{u+T} KNm	M_{u-L} KNm
1	533.442	351.714	200.516
2	520.556	338.446	189.168
3	514.894	346.848	220.032
4	523.156	345.116	213.032

Dari tabel tersebut diketahui besarnya nilai momen pada daerah tumpuan dan lapangan yang paling besar pada berbagai kondisi kombinasi pembebanan. Nilai momen yang terbesar atau paling berpengaruh tersebut dipakai untuk menentukan kuat perlu lentur balok.

Uraian analisis dilakukan pada satu balok sedangkan untuk balok yang lainnya diuraikan dalam bentuk tabel. Balok portal direncanakan sebagai balok persegi, berdasarkan momen yang bekerja akibat kombinasi pembebanan sebesar :

$$M_u^- (\text{Tumpuan}) = 533.442 \quad \text{kNm}$$

$$M_u^+ (\text{Tumpuan}) = 351.714 \quad \text{kNm}$$

$$M_u^+ (\text{lapangan}) = 200.516 \quad \text{kNm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

1. Tulangan tumpuan negatif

$$M_u^- (\text{Tumpuan}) = 533.442 \quad \text{kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{533.442}{0.8} = 666.8025 \text{ kNm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y \dots\dots\dots (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.5.1})$$

$$\rho_{\min} = 0.004$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \left\{ \left(\frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right\} = 0.02$$

...(SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.3.3)

$$\rho = 0.5 \times \rho_{maks} = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.8235$$

$$R_n = \rho \times f_y \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) = 0.01 \times 400 \times (1 - 0.5 \times 0.01 \times 18.8235) = 3.6235$$

$$M_n = R_n \times b \times d^2 \Rightarrow b \times d^2 = \frac{M_n}{R_n} = \frac{666.8025}{3.6235}$$

$$\text{coba : } b = 400 \text{ mm, } d = 678.27 \text{ mm}$$

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

$$d = 600 - 20 - 12 - 0.5 \times 25 = 555.5 \text{ mm} < d = 678.27 \text{ mm}$$

maka pakai tulangan rangkap.

Perhitungan tulangan rangkap.

$$\rho_1 = (\rho - \rho') = 0.01$$

$$A_{s1} = \rho_1 \times b \times d = 0.01 \times 400 \times 555.5 = 2222 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s1} \times f_y}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{2222 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 104.5647 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = A_{s1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 2222 \times 400 \times \left(555.5 - \frac{104.5647}{2} \right) = 447.2598 \text{ kNm}$$

- Tulangan desak

$$M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1} = 666.8025 - 447.2598 = 219.5427 \text{ kNm}$$

$$d' = 20 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y \times d} \right) = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times 25 \times 0.85 \times 20}{0.01 \times 400 \times 555.5} \right)$$

$$= 502.453 \text{ MPa} \geq f_y = 400 \text{ MPa}$$

maka pakai $f_s' = 400 \text{ Mpa}$

$$A_{s_2} = A_s' = \frac{Mn_2}{f_s' \times (d - d')} = \frac{219.5427}{400 \times (555.5 - 20)} = 1024.9426 \text{ kNm} \cdot \text{cm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{1024.8738}{490.8735} = 2.01 \approx 3 \text{ buah}$$

$$A_{pakai} = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 1472.6216 \text{ mm}^2 > 1024.9426 \text{ mm}^2$$

- Tulangan tarik

$$A_s = A_{s_1} + A_{s_2}$$

$$= 2222 + 1024.9426 = 3246.9426 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{3246.9426}{490.8735} = 6.61 \approx 7 \text{ buah}$$

$$A_{pakai} = 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 3436.117 \text{ mm}^2 > 3246.9426 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kapasitas

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f_s'}{0.85 \times f_c' \times b} = \frac{3436.117 \times 400 - 1472.6216 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 92.4 \text{ mm}$$

$$Mn_1 = (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (3436.117 \times 400 - 1472.6216 \times 400) \times \left(555.5 - \frac{92.4}{2} \right) = 400.0033 \text{ kNm}$$

$$Mn_2 = As' \times fy' \times (d - d') = 1472.6216 \times 400 \times (555.5 - 20) = 315.4355 \text{ kNm}$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = 400.0033 + 315.4355$$

$$= 715.4388 \text{ kNm}$$

$$Mu = \phi Mn = 0.6 \times 715.4388 = 536.5671 \text{ kNm} > 533.442 \text{ kNm} \dots \text{OK.}$$

2. Tulangan tumpuan positif

$$Mu^+ (\text{Tumpuan}) = 351.714 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{351.714}{0.8} = 439.643 \text{ kNm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / fy \dots \dots \dots (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.5.1})$$

$$\rho_{\min} = 0.004$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \left\{ \frac{0.85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \left(\frac{600}{600 \times fy} \right) \right\} = 0.02$$

.....(SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.3.3)

$$\rho = 0.5 \times \rho_{\max} = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.8235$$

$$Rn = \rho \times fy \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) = 0.01 \times 400 \times (1 - 0.5 \times 0.01 \times 18.8235) = 3.6235$$

$$Mn = Rn \times b \times d^2 \Rightarrow b \times d^2 = \frac{Mn}{Rn} = \frac{439.643}{3.6235}$$

$$\text{coba : } b = 400 \text{ mm} \quad , d = 550.752 \text{ mm}$$

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

$$d = 600 - 20 - 12 - 0.5 \times 25 = 555.5 \text{ mm} > d = 550.752 \text{ mm}$$

maka dipakai tulangan sebelah

$$Rn_{baru} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{439.643}{400 \times 550.752^2} = 3.6234$$

$$\rho_{perlu} = \frac{Rn_{baru}}{Rn_{lama}} \times \rho = \frac{3.6234}{3.6235} \times 0.01 = 0.01$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d = 0.01 \times 400 \times 550.752 = 2203.007 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{2203.007}{490.8735} = 4.48 \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{pakai} = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 2454.3693 \text{ mm}^2 > 2203.007 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kapasitas

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{2454.3693 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 115.4997 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454.3693 \times 400 \times \left(550.752 - \frac{115.4997}{2} \right) = 484.004 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 484.004 \times 0.8 = 387.2032 \text{ kNm} > Mu_{terjadi} = 351.74 \text{ kNm}$$

3. Tulangan lapangan positif

$$Mu^- (\text{Tumpuan}) = 200.516 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{200.516}{0.8} = 250.645 \text{ kNm}$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \dots\dots\dots (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.5.1})$$

$$\rho_{min} = 0.004$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \left\{ \left(\frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 \times f_y} \right) \right\} = 0.02$$

...(SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.3.3)

$$\rho = 0.5 \times \rho_{maks} = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.8235$$

$$Rn = \rho \times f_y \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) = 0.01 \times 400 \times (1 - 0.5 \times 0.01 \times 18.8235) = 3.6235$$

$$Mn = Rn \times b \times d^2 \Rightarrow b \times d^2 = \frac{Mn}{Rn} = \frac{250.645}{3.6235}$$

$$\text{coba : } b = 400 \text{ mm, } d = 415.849 \text{ mm}$$

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

$$d = 600 - 20 - 12 - 0.5 \times 25 = 555.5 \text{ mm} > d = 415.849 \text{ mm}$$

maka dipakai tulangan sebelah

$$Rn_{baru} = \frac{Mu}{b \times d^2} = \frac{250.645}{400 \times 415.849^2} = 3.6234$$

$$\rho_{perlu} = \frac{Rn_{baru}}{Rn_{lama}} \times \rho = \frac{3.6234}{3.6235} \times 0.01 = 0.01$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d = 0.01 \times 400 \times 415.849 = 1663.396 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{1663.396}{490.8735} = 3.39 \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{pakai} = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 1963.496 \text{ mm}^2 > 1663.396 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kapasitas

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{1963.496 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 92.340 \text{ mm}$$

$$Mn = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1963.496 \times 400 \times \left(415.849 - \frac{92.340}{2} \right) = 290.345 \text{ kNm}$$

$$\phi Mn = 290.345 \times 0.8 = 232.276 \text{ kNm} > Mu_{terjadi} = 200.516 \text{ kNm} \dots \text{OK.}$$

Tabel 5.6 Tulangan dan momen nominal tumpuan balok Portal As C (Arah X)

No. Bagian	Tulangan atas		Tulangan bawah		Mnak,b	
	M-	Terpasang	M+	Terpasang	Positif	Negatif
1	533.442	7 D 25	351.714	5 D 25	484.004	715.4388
2	520.556	7 D 25	338.446	5 D 25	484.004	715.4388
3	514.894	7 D 25	346.848	5 D 25	484.004	715.4388
4	523.156	7 D 25	345.116	5 D 25	484.004	715.4388

Tabel 5.7 Tulangan dan momen nominal lapangan balok Portal As C (Arah X)

No. Bagian	M- kNm	Tulangan terpasang		Mnak,b kNm
		Atas	Bawah	
1	200.516	2 D 25	4 D 25	290.345
2	189.168	2 D 25	4 D 25	290.345
3	220.032	2 D 25	4 D 25	290.345
4	213.032	2 D 25	4 D 25	290.345

b. Perencanaan balok portal terhadap gaya geser

Sesuai dengan konsep desain kapasitas, kuat geser balok portal yang dibebani oleh beban gravitasi di sepanjang bentangnya harus dihitung dengan kondisi terjadinya sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok tersebut, yang

ditentukan berdasarkan rumus sedangkan besarnya gaya geser yang bekerja dianalisis akibat beban gravitasi dan gempa.

Tabel 5.68 Gaya geser rencana balok portal As C (Arah X)

No. Bagian	l_n mm	$M_{nak,b}$ KNm	$M_{nak,b'}$ kNm	$1.25 \times 0.7 \times \left(\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right)$	$1.05 \times V_g$	$V_{u,b}$ (5+6) kN
8	2	3	4	5	6	7
1	7700	715.4388	484.004	136.300	323.864	460.164
2	7700	715.4388	484.004	136.300	326.039	462.339
3	7700	715.4388	484.004	136.300	327.161	463.461
4	7700	715.4388	484.004	136.300	328.873	465.173

Tabel 5.70 Gaya geser maksimum balok portal As C (Arah X)

No. Bagian	$V_{D,b}$ KNm	$V_{L,b}$ kNm	$V_{E,b}$ kNm	$V_{u,b,max} = 1.05 (V_{D,b} + V_{L,b} + 4/K \cdot V_{E,b})$ KNm
1	128.620	34.700	69.399	462.663
2	129.484	34.933	69.866	465.770
3	129.930	35.053	70.106	467.373
4	138.115	37.261	74.523	496.818

Penulangan geser balok lantai bagian I :

$$V_{u,max} = 462663 \text{ N}$$

$$V_{u,b} = 460.164 \text{ N}$$

$$V_{u,min} = 211968 \text{ N}$$

$$L_n = 7700 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

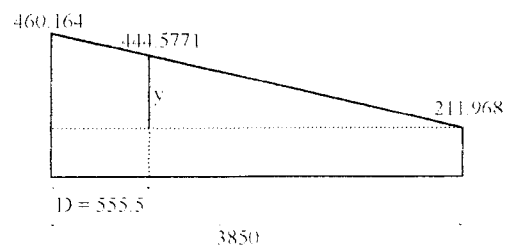
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d = 555.5 \text{ mm}$$

$$f_y \text{ sengkang} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ pokok} = 400 \text{ MPa}$$

1. Dalam sendi plastis



Gambar 5.1 Diagram gaya geser balok didalam sendi plastis portal As C

$$\frac{y}{460.164 - 211.968} = \frac{3850 - 555.5}{3850} \Rightarrow y = 214.5233 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ terpakai}} = 211.968 + 214.5233 = 426.4913 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{426.4913}{0.6} = 710.888 \text{ kN}$$

dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$A_{12} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157.0796 \text{ mm}^2$$

-. Kontrol

$$\frac{V_{u,b}}{\phi} < V_c + V_s$$

$$\frac{426.4913}{0.65} < 0 + 710.888 \Rightarrow 656.140 \text{ kNm} < 710.888 \text{ kNm} \dots \dots \text{OK}$$

Syarat pembatasan jarak sengkang didaerah sendi plastis (SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.14.3.3.2) ;

$$S \leq d/4 = 138.875 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 \text{ diameter tulangan pokok} = 200 \text{ mm}$$

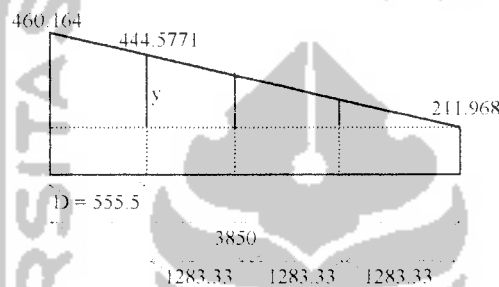
$$S \leq 24 \text{ diameter tulangan sengkang} = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq \frac{1600 \times f_y^{\text{sengkang}} \times \left(\frac{A_v}{n} \right)}{A_s \times f_y^{\text{tulangan}}} = \frac{1600 \times 240 \times \left(\frac{157.0796}{2} \right)}{490.8738 \times 400} = 153.600 \text{ mm}$$

maka dipakai $\varnothing 10 - 100 \text{ mm}$

2. Diluar sendi plastis

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 400 \times 555.5 = 185.166 \text{ kN}$$



Gambar 5.2 Diagram gaya geser balok diluar sendi plastis portal As C

$$\frac{y}{460.164 - 211.968} = \frac{2566.66}{3850} \Rightarrow y = 167.13 \text{ kN}$$

$$V_u^{\text{terpakai}} = 211.968 + 167.13 = 379.098 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{379.098}{0.6} = 631.83 \text{ kN}$$

dipakai tulangan $\varnothing 12$

$$A_{12} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157.0796 \text{ mm}^2$$

-. Kontrol

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 379.098 - 185.166 = 193.932 \text{ kN} \leq 3 \phi V_c = 555.498 \text{ kN}$$

Syarat pembatasan jarak sengkang di luar daerah sendi plastis (SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.14.3.3.3) :

$$S \leq d/2 = 277.75 \text{ mm}$$

maka dipakai $\varnothing 12 - 250 \text{ mm}$

5.4.2 Perhitungan struktur balok As 2 (Arah Y)

Perencanaan struktur dengan daktilitas penuh dalam bahasan tugas akhir ini meliputi perencanaan balok portal terhadap beban lentur, perencanaan penulangan geser pada balok, dan perencanaan penulangan kolom terhadap beban aksial maupun geser.

a. Perencanaan balok portal terhadap beban lentur

Kuat lentur perlu balok portal yang dinyatakan dengan M_{ub} ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan. Besarnya Gaya-gaya dalam portal diuraikan dalam bentuk tabel (5.10) .

Tabel 5.10 Kombinasi momen rencana portak As 2

No. Bagian	Segmen	$1.2 M_D + 1.6 M_L$	$0.9 M_D \pm M_E$		$1.5 (M_D + 0.6 M_L \pm M_E)$	
			-	+	-	+
1	1	132.284	195.930	174.013	548.570	280.340
	2	57.309	84.881	75.387	237.654	121.450
	3	131.510	194.783	172.994	545.359	278.699
2	4	130.234	199.037	171.317	557.269	275.996
	5	60.764	92.865	79.931	260.006	128.772
	6	128.535	196.440	169.081	549.997	272.394
3	7	133.841	194.928	176.061	545.764	283.640
	8	52.638	76.663	69.243	214.642	111.552
	9	133.706	194.732	175.884	545.215	283.355
4	10	134.441	204.927	176.851	573.760	284.912
	11	56.681	86.398	74.561	241.899	120.120
	12	134.250	204.635	176.599	572.942	284.506

Tabel 5.11 Momen rencana pada balok portal As-2 untuk struktur dengan daktilitas penuh

No. Bagian	M_{u-T} kNm	M_{u+T} kNm	M_{u-l} kNm
1	548.570	280.340	121.450
2	557.269	275.996	128.772
3	545.764	283.640	111.552
4	573.760	284.912	120.120

Dari tabel tersebut diketahui besarnya nilai momen pada daerah tumpuan dan lapangan yang paling besar pada berbagai kondisi kombinasi pembebanan. Nilai momen yang terbesar atau paling berpengaruh tersebut dipakai untuk menentukan kuat perlu lentur balok.

Uraian analisis dilakukan pada satu balok sedangkan untuk balok yang lainnya diuraikan dalam bentuk tabel. Balok portal direncanakan sebagai balok persegi, berdasarkan momen yang bekerja akibat kombinasi pembebanan sebesar :

$$M_u^- (\text{Tumpuan}) = 548.570 \quad \text{kNm}$$

$$M_u^+ (\text{Tumpuan}) = 280.340 \quad \text{kNm}$$

$$M_u^+ (\text{lapangan}) = 121.450 \quad \text{kNm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

1. Tulangan tumpuan negatif

$$M_u^- (\text{Tumpuan}) = 548.570 \quad \text{kNm}$$

$$\frac{M_u}{\phi} = \frac{548.570}{0.8} = 685.7125 \text{ kNm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y \dots\dots\dots (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.5.1})$$

$$\rho_{\min} = 0.004$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \left\{ \left(\frac{0.85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 \times f_y} \right) \right\} = 0.02$$

...(SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.3.3)

$$\rho = 0.5 \times \rho_{maks} = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.8235$$

$$R_n = \rho \times f_y \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) = 0.01 \times 400 \times (1 - 0.5 \times 0.01 \times 18.8235) = 3.6235$$

$$M_n = R_n \times b \times d^2 \Rightarrow b \times d^2 = \frac{M_n}{R_n} = \frac{685.7125}{3.6235}$$

$$\text{coba : } b = 400 \text{ mm, } d = 687.823 \text{ mm}$$

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

$$d = 600 - 20 - 12 - 0.5 \times 25 = 555.5 \text{ mm} < d = 687.823 \text{ mm}$$

maka pakai tulangan rangkap

Perhitungan tulangan rangkap.

$$\rho_1 = (\rho - \rho') = 0.01$$

$$A_{s1} = \rho_1 \times b \times d = 0.01 \times 400 \times 555.5 = 2222 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s1} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{2222 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 104.5647 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = A_{s1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 2222 \times 400 \times \left(555.5 - \frac{104.5647}{2} \right) = 447.2598 \text{ kNm}$$

- Tulangan desak

$$M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1} = 685.7125 - 447.2598 = 238.4527 \text{ kNm}$$

$$d' = 20 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y} \right) = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times 25 \times 0.85}{0.01 \times 400} \times \frac{20}{555.5} \right)$$

$$= 502.453 \text{ MPa} \geq f_y = 400 \text{ MPa}$$

maka pakai $f_s' = 400 \text{ Mpa}$

$$A_{s2} = A_{s'} = \frac{Mn_2}{f_s' \times (d - d')} = \frac{238.4527}{400 \times (555.5 - 20)} = 1113.2246 \text{ kNm}$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{1113.2246}{490.8735} = 2.27 \approx 3 \text{ buah}$$

$$A_{\text{pakai}} = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 1472.6216 \text{ mm}^2 > 1113.2246 \text{ mm}^2$$

- Tulangan tarik

$$A_s = A_{s1} + A_{s'}$$

$$= 2222 + 1113.2246 = 3335.2246 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{3335.2246}{490.8735} = 6.79 \approx 7 \text{ buah}$$

$$A_{\text{pakai}} = 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 3436.117 \text{ mm}^2 > 3335.2246 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kapasitas

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_{s'} \times f_s'}{0.85 \times f_c' \times b} = \frac{3335.2246 \times 400 - 1113.2246 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 111.1 \text{ mm}$$

$$Mn_1 = (A_s \times f_y - A_{s'} \times f_s') \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (3335.2246 \times 400 - 1113.2246 \times 400) \times \left(555.5 - \frac{111.1}{2} \right) = 444.3556 \text{ kNm}$$

$$Mn_2 = As' \times fy' \times (d - d') = 1113.2246 \times 400 \times (555.5 - 20) = 238.4527 \text{ kNm}$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = 444.3556 + 238.4527$$

$$= 682.8083 \text{ kNm}$$

$$Mu = \phi Mn = 0.6 \times 682.8083 = 564.2466 \text{ kNm} > 548.570 \text{ kNm}$$

2. Tulangan tumpuan positif

$$M_{ii}^+ (\text{Tumpuan}) = 280.340 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{280.340}{0.8} = 350.425 \text{ kNm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / fy \dots \dots \dots (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.5.1})$$

$$\rho_{\min} = 0.004$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0.75 \times \left\{ \left(\frac{0.85 \times f'c \times \beta}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 \times fy} \right) \right\} = 0.02$$

.....(SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.3.3)

$$\rho = 0.5 \times \rho_{\text{maks}} = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.8235$$

$$Rn = \rho \times fy \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) = 0.01 \times 400 \times (1 - 0.5 \times 0.01 \times 18.8235) = 3.6235$$

$$Mn = Rn \times b \times d^2 \Rightarrow b \times d^2 = \frac{Mn}{Rn} = \frac{350.425}{3.6235}$$

$$\text{coba : } b = 400 \text{ mm} \quad , d = 491.7036 \text{ mm}$$

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

$$d = 600 - 20 - 12 - 0.5 \times 25 = 555.5 \text{ mm} > d = 491.7036 \text{ mm}$$

maka dipakai tulangan sebelah

$$Rn_{baru} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{350.425}{400 \times 491.7036^2} = 3.6235$$

$$\rho_{perlu} = \frac{Rn_{baru}}{Rn_{lama}} \times \rho = \frac{3.6235}{3.6235} \times 0.01 = 0.01$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d = 0.01 \times 400 \times 491.7036 = 1966.8144 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{1966.8144}{490.8738} = 4.01 \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{pakai} = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 2454.3693 \text{ mm}^2 > 1966.8144 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kapasitas

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{2454.3693 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 115.4997 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454.3693 \times 400 \times \left(491.7096 - \frac{115.4997}{2} \right) = 426.0389 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 426.0389 \times 0.8 = 340.8312 \text{ kNm} > Mu_{terjadi} = 280.340 \text{ kNm}$$

2. Tulangan lapangan positif

$$Mu^+ (\text{Lapangan}) = 121.450 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{121.45}{0.8} = 151.8125 \text{ kNm}$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \dots \dots \dots (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.5.1})$$

$$\rho_{min} = 0.004$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \left\{ \left(\frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 \times f_y} \right) \right\} = 0.02$$

....(SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.3.3.3)

$$\rho = 0.5 \times \rho_{maks} = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.8235$$

$$Rn = \rho \times f_y \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) = 0.01 \times 400 \times (1 - 0.5 \times 0.01 \times 18.8235) = 3.6235$$

$$Mn = Rn \times b \times d^2 \Rightarrow b \times d^2 = \frac{Mn}{Rn} = \frac{151.8125}{3.6235}$$

$$\text{coba : } b = 400 \text{ mm, } d = 323.6381 \text{ mm}$$

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

$$d = 600 - 20 - 12 - 0.5 \times 25 = 555.5 \text{ mm} > d = 323.6381 \text{ mm}$$

maka dipakai tulangan sebelah

$$Rn_{baru} = \frac{Mu}{b \times d^2} = \frac{151.8125}{400 \times 323.6381^2} = 3.6235$$

$$\rho_{perlu} = \frac{Rn_{baru}}{Rn_{lama}} \times \rho = \frac{3.6235}{3.6235} \times 0.01 = 0.01$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d = 0.01 \times 400 \times 323.6381 = 1294.5524 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$A_{25} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.8738 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{1294.5524}{490.8735} = 2.64 \approx 3 \text{ buah}$$

$$A_{pakai} = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 1472.6216 \text{ mm}^2 > 1294.5524 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kapasitas

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1472.6216 \times 400}{0.85 \times 25 \times 400} = 69.2998 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1472.6216 \times 400 \times \left(323.6321 - \frac{69.2998}{2} \right) = 170.2246 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 170.2246 \times 0.8 = 136.1797 \text{ kNm} > M_u_{\text{terjadi}} = 121.450 \text{ kNm}$$

Tabel 5.12 Tulangan dan momen nominal tumpuan balok Portal As 2 (Arah Y)

No. Bagian	Tulangan atas		Tulangan bawah		Mnak,b	
	M-	Terpasang	M+	Terpasang	Positif	Negatif
1	548.570	7 D 25	280.340	5 D 25	426.0389	682.8083
2	557.269	7 D 25	275.996	5 D 25	426.0389	682.8083
3	545.764	7 D 25	283.640	5 D 25	426.0389	682.8083
4	573.760	7 D 25	284.912	5 D 25	426.0389	682.8083

Tabel 5.13 Tulangan dan momen nominal lapngan balok Portal As 2 (Arah Y)

No. Bagian	M- KNm	Tulangan terpasang		Mnak,b KNm
		Atas	Bawah	
1	121.450	2 D 25	3 D 25	170.2246
2	128.772	2 D 25	3 D 25	170.2246
3	111.552	2 D 25	3 D 25	170.2246
4	120.120	2 D 25	3 D 25	170.2246

b. Perencanaan balok portal terhadap gaya geser

Sesuai dengan konsep desain kapasitas, kuat geser balok portal yang dibebani oleh beban gravitasi di sepanjang bentangnya harus dihitung dengan kondisi terjadinya sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok tersebut, yang ditentukan berdasarkan rumus sedangkan besarnya gaya geser yang bekerja dianalisis akibat beban gravitasi dan gempa.

Tabel 5.14 Gaya geser rencana balok portal As 2 (Arah Y)

No. Bagian	l_n mm	$M_{mak,b}$ KNm	$M_{mak,b'}$ kNm	$1,25 \times 0,7 \times \left(\frac{M_{l,r} + M_{l,r'}}{l_n} \right)$	$1,05 \times Vg$	$V_{u,b}$ (5+6) kN
1	2	3	4	5	6	7
1	6800	682.8083	426.0389	142.683	291.096	433.779
2	6800	682.8083	426.0389	142.683	304.718	447.401
3	6800	682.8083	426.0389	142.683	320.387	463.070
4	6800	682.8083	426.0389	142.683	328.249	470.932

Tabel 5.15 Gaya geser maksimum balok portal As 2 (Arah Y)

No. Bagian	$V_{D,b}$ KNm	$V_{L,b}$ KNm	$V_{F,b}$ kNm	$V_{u,b \text{ mak}} = 1,05 (V_{D,b} + V_{L,b} + 4/K \cdot V_{F,b})$ kNm
1	125.615	33.889	67.778	451.851
2	126.021	33.998	67.997	453.312
3	131.798	35.557	71.114	474.093
4	134.817	36.372	72.743	484.955

Penulangan geser balok lantai bagian 1 :

$$V_{u \text{ maks}} = 451851 \text{ N}$$

$$V_u = 433779 \text{ N}$$

$$V_{u \text{ min}} = 164389 \text{ N}$$

$$L_n = 6800 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

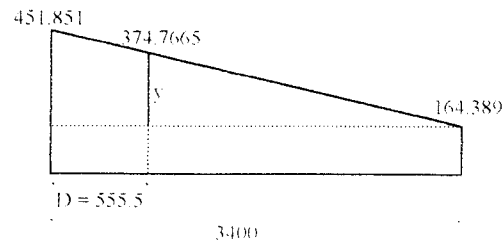
$$h = 800 \text{ mm}$$

$$d = 555.5 \text{ mm}$$

$$f_y \text{ sengkang} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ pokok} = 400 \text{ Mpa}$$

1. Dalam sendi plastis



Gambar 5.3 Diagram gaya geser balok didalam sendi plastis portal As 2

$$\frac{y}{451.851 - 164.389} = \frac{3400 - 555.5}{3400} \Rightarrow y = 210.3775 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ terpakai}} = 164.389 + 210.3775 = 374.7664 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{374.7664}{0.6} = 624.6109 \text{ kN}$$

dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$A_{12} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157.0796 \text{ mm}^2$$

-. Kontrol

$$\frac{V_{u,b}}{\phi} < V_c + V_s$$

$$\frac{374.7664}{0.6} < 0 + 624.6109 \Rightarrow 576.5637 \text{ kNm} < 624.6109 \text{ kNm} \dots \text{OK.}$$

Syarat pembatasan jarak sengkang didaerah sendi plastis (SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.14.3.3.2) :

$$S \leq d/4 = 138.875 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 \text{ diameter tulangan pokok} = 200 \text{ mm}$$

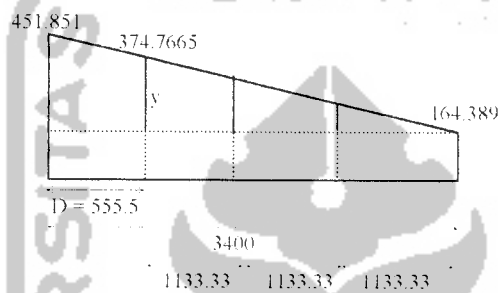
$$S \leq 24 \text{ diameter tulangan sengkang} = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq \frac{1600 \times f_y^{\text{senggang}} \times \left(\frac{A_v}{n} \right)}{A_s \times f_y^{\text{ulangan}}} = \frac{1600 \times 240 \times \left(\frac{157.0796}{2} \right)}{490.8738 \times 400} = 153.600 \text{ mm}$$

maka dipakai $\varnothing 12 - 100 \text{ mm}$

2. Diluar sendi plastis

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 400 \times 555.5 = 185.166 \text{ kN}$$



Gambar 5.4 Diagram gaya geser balok diluar sendi plastis portal As 2

$$\frac{y}{451.851 - 164.389} = \frac{2266.66}{3400} \Rightarrow y = 167.648 \text{ kN}$$

$$V_u^{\text{terpakai}} = 164.389 + 167.6408 = 332.0298 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{332.0298}{0.6} = 553.381 \text{ kN}$$

dipakai tulangan $\varnothing 10$

$$A_{10} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157.0796 \text{ mm}^2$$

-. Kontrol

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 367.0408 - 185.166 = 181.8748 \text{ kN} \leq 3 \phi V_c = 555.498 \text{ kN}$$

Syarat pembatasan jarak sengkang di luar daerah sendi plastis (SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.14.3.3.3) ;

$$S \leq d/2 = 277.75 \text{ mm}$$

maka dipakai $\varnothing 10 - 250 \text{ mm}$

5.4.3 Perhitungan struktur kolom

a. Perencanaan kolom terhadap momen lentur dan gaya aksial

Kuat lentur perlu kolom portal dengan daktilitas penuh yang ditentukan pada muka bidang balok M_{u-k} harus dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu dengan kolom tersebut.

Besarnya nilai momen rencana pada kolom portal diuraikan pada tabel dibawah.

Tabel 5.18 Momen hasil analisis struktur portal As C (arah X)

Arah X (Portal As C)						
No. Bagian	Ujung atas			Ujung bawah		
	M_{DL}	M_{LL}	M_{EL}	M_{DL}	M_{LL}	M_{EL}
1	159.3872	142.6096	117.4432	324.2912	290.1553	238.9514
2	180.1075	159.8336	131.5445	164.9015	147.5435	121.5064
3	155.2448	137.7696	113.3856	145.1270	129.8505	106.9357
4	325.9987	289.3026	238.0986	169.8585	151.9786	125.1589

Tabel 5.19 Momen hasil analisis struktur portal As 2 (arah Y)

Arah Y (Portal As 2)						
No. Bagian	Ujung atas			Ujung bawah		
	M_{DL}	M_{LL}	M_{EL}	M_{DL}	M_{LL}	M_{EL}
1	108.2302	161.2586	132.8012	340.5057	304.6630	250.8990
2	163.4570	146.2510	120.4420	160.2768	143.4056	118.0987
3	188.1380	168.3340	138.6280	177.0484	158.4118	130.4567
4	340.0700	304.6638	250.8896	152.3672	136.3285	112.2705

Tabel 5.18 Momen rencana pada kolom untuk struktur dengan daktilitas penuh

No. Bagian	α, k_a	α, k_b	$M_{nak,b-x}$		$M_{nak,b-y}$		$M_{u,k-x}$		$M_{u,k-y}$	
			kiri	kanan	kiri	kanan	atas	bawah	atas	bawah
1	0.5	1.0	119.969	503.489	293.1991	293.1991	471.660	943.320	443.422	886.844
2	0.6	0.5	119.969	503.489	293.1991	293.1991	598.645	498.871	562.805	469.004
3	0.5	0.4	119.969	503.489	293.1991	293.1991	498.871	399.097	469.004	386.895
4	1.0	0.5	119.969	503.489	293.1991	293.1991	997.742	498.871	938.008	469.004

Tabel 5.29 Gaya aksial rencana pada kolom untuk struktur dengan daktilitas penuh

No. Bagian	$N_{g,k}$ kN	P_{u-x} kNm	P_{u-y} kNm
1	5569.040	5847.406	5847.466
2	4137.949	4344.735	4344.813
3	2829.633	2971.003	2971.081
4	1670.524	1753.938	1754.016

1. Arah X (Portal as C)

$$L_{\text{kolom}} = 3900 \text{ mm} \quad l_u \text{ kolom} = 3300 \text{ mm} \quad l_n = 6900 \text{ mm}$$

$$H_{\text{balok}} = 600 \text{ mm} \quad b_{\text{balok}} = 400 \text{ mm}$$

- Cek kelangsingan kolom

$$\begin{aligned} \frac{k \times l}{r} &\leq 34 - 12 \times \left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \\ &\leq 34 - 12 \times \left(\frac{471.660}{943.320} \right) \\ &\leq 28 \end{aligned}$$

menentukan nilai k :

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$I_c = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 800 \times 800^3 = 3.41 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$\beta_d = \frac{1.2 \times M_D}{1.2M_D + 1.6M_L} = \frac{1.2 \times 159.3872}{1.2 \times 159.3872 + 1.6 \times 142.6096} = 0.456 < 1$$

$$EI = \frac{Ec \times Ic}{2.5 \times (1 + \beta_d)} = \frac{23500 \times 3.41 \times 10^{10}}{2.5 \times (1 + 0.456)} = 2.2015 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$\psi_{\text{ujung atas kolom}} = \frac{\sum EI / I_u \text{ kolom-kolom}}{\sum EI / I_n \text{ balok-balok}} = \frac{2 \times (2.2015 \times 10^{14} / 3300)}{2 \times (2.2015 \times 10^{14} / 6900)} = 2.09$$

$$\psi_{\text{ujung bawah kolom}} = \frac{\sum EI / I_u \text{ kolom-kolom}}{\sum EI / I_n \text{ balok-balok}} = \frac{2 \times (2.2015 \times 10^{14} / 3300)}{2 \times (2.2015 \times 10^{14} / 6900)} = 2.09$$

Dari diagram nomogram didapat faktor tekuk kolom $K = 1.6$

$$r = 0.289 \times h = 0.289 \times 800 = 231.2 \text{ mm}$$

$$\frac{k \times l}{r} = \frac{1.6 \times 3300}{231.2} = 16.5571 \text{ mm} < 28 \text{ mm}, \text{ analisis kolom pendek maka tidak}$$

perlu pembesaran momen

$$M_{u-x} = \frac{M_{u-x}}{\phi} = \frac{943.320}{0.65} = 1451.2615 \text{ kNm}$$

2. Arah Y (Portal As 2)

$$L_{\text{kolom}} = 3900 \text{ mm} \quad I_u \text{ kolom} = 3300 \text{ mm} \quad I_n = 7700 \text{ mm}$$

$$H_{\text{balok}} = 600 \text{ mm} \quad b_{\text{balok}} = 400 \text{ mm}$$

- Cek kelangsingan kolom

$$\begin{aligned} \frac{k \times l}{r} &\leq 34 - 12 \times \left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \\ &\leq 34 - 12 \times \left(\frac{443.422}{886.844} \right) \\ &\leq 28 \end{aligned}$$

menentukan nilai k :

$$Ec = 4700 \times \sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$I_c = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 800 \times 800^3 = 3.41 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$\beta_d = \frac{1.2 \times M_D}{1.2M_D + 1.6M_L} = \frac{1.2 \times 108.2302}{1.2 \times 108.2302 + 1.6 \times 161.2586} = 0.3348 < 1$$

$$EI = \frac{Ec \times I_c}{2.5 \times (1 + \beta_d)} = \frac{23500 \times 3.41 \times 10^{10}}{2.5 \times (1 + 0.3348)} = 2.2112 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$\psi_{\text{ujung atas kolom}} = \frac{\sum EI / l_{\text{u kolom-kolom}}}{\sum EI / l_{\text{n balok-balok}}} = \frac{2 \times (2.2112 \times 10^{14} / 3300)}{2 \times (2.2112 \times 10^{14} / 7700)} = 2.33$$

$$\psi_{\text{ujung bawah kolom}} = \frac{\sum EI / l_{\text{u kolom-kolom}}}{\sum EI / l_{\text{n balok-balok}}} = \frac{2 \times (2.2112 \times 10^{14} / 3300)}{2 \times (2.2112 \times 10^{14} / 7700)} = 2.33$$

Dari diagram nomogram didapat faktor tekuk kolom $K = 1.7$

$$r = 0.289 \times h = 0.289 \times 800 = 231.2 \text{ mm}$$

$$\frac{k \times l}{r} = \frac{1.7 \times 3300}{231.2} = 24.2647 \text{ mm} < 28 \text{ mm}, \text{ analisis kolom pendek maka tidak}$$

perlu pembesaran momen

$$M_{n-y} = \frac{M_{u-y}}{\phi} = \frac{886.844}{0.65} = 1364.3754 \text{ kNm}$$

3. Penulangan kolom

$$M_{n-x} = 1451.2615 \text{ kNm} \quad P_{u-x} = 5847.406 \text{ kN}$$

$$M_{n-y} = 1364.3754 \text{ kNm} \quad P_{u-y} = 5847.466 \text{ kN}$$

- Cek eksentrisitas :

$$e_{\min} = (15 + 0.03 \times h_{\text{kolom}}) = (15 + 0.03 \times 3300) = 114 \text{ mm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{5847.466}{0.65} = 8996.1015 \text{ kN}$$

$$e = \frac{Mn}{Pn} = \frac{1451.2615 \times 10^3}{8996.1015} = 161.3212 \text{ mm} > 114 \text{ mm}$$

-. rasio penulangan

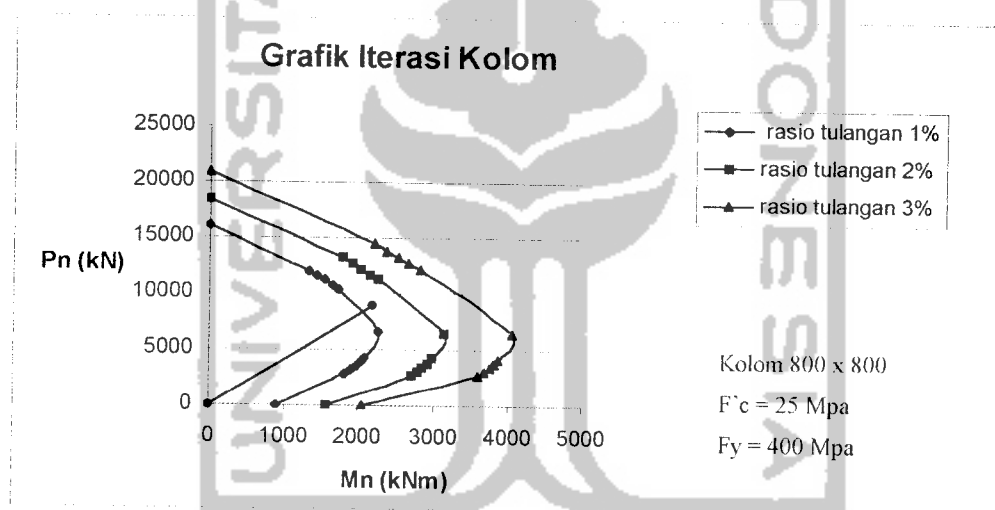
$$\frac{M_{n-y}}{M_{n-x}} = \frac{1364.3754}{1451.2615} = 0.94 \approx \frac{b}{h} = 1.0$$

$$M_{ox} = M_{n-x} + M_{n-y} \times \frac{b}{h} \times \frac{1-\beta}{\beta}$$

$$= 1451.2615 + 1364.3754 \times 1 \times \frac{1-0.65}{0.65} = 2185.9252 \text{ kNm}$$

$$Mn = 2185.9252 \text{ kNm}$$

$$Pn = 8996.1015 \text{ kN}$$



Gambar 5.5 Grafik iterasi kolom

Dari grafik diatas didapat $\rho = 1.5\%$ pada daerah patah desak.

$$A_g = 640000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 1.5\% \times 640000 \text{ mm}^2 = 9600 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan $\varnothing 29$

$$A_{32} = \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 = 660.5199 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan } n = \frac{9600}{660.5199} = 14.53 \approx 16 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ aktual} = \frac{16}{4} \times \pi \times 29^2 = 10568.3176 \text{ mm}^2$$

- kontrol kekuatan penampang :

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{A_s' \times f_y}{e + 0.5} + \frac{b \times h \times f_c'}{3 \times h \times e + 1.18} \\
 &= \frac{10568.3176 \times 400}{(760 - 40) + 0.5} + \frac{800 \times 800 \times 25}{3 \times 800 \times 161.3212 + 1.18} = 14485.5892 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P_u = \phi \times P_n = 0.65 \times 14485.5892 = 9415.633 \text{ kN} > P_u = 8996.1015 \text{ kN} \dots \dots \text{OK}$$

b. Perencanaan kolom portal terhadap gaya geser

Kuat geser kolom dengan daktilitas penuh berdasarkan terjadinya sendi-sendi plastis pada ujung balok-balok yang bertemu pada kolom tersebut.

$$V_{E-x} = 54.2530 \text{ kN}$$

$$V_{E-y} = 70.952 \text{ kN}$$

$$V_{uk} = \frac{M_{u,k \text{ atas}} + M_{u,k \text{ bawah}}}{h'} = \frac{471.660 + 943.320}{3.3} = 428.7818 \text{ kN}$$

1. Daerah ujung kolom

Panjang daerah ujung kolom :

$$H_k = 800 \text{ mm}$$

$$1/6 h_k = 1/6 \times 800 = 133.33 \text{ mm}$$

$$45 \text{ cm} = 450 \text{ mm}$$

diambil yang terbesar 800 mm.

$$V_c = 0 \text{ kN} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3. 14. 4. 4. 2})$$

SK SNI T-15-1991-03, pasal 3. 14. 4. 4. 4. 3 membatasi jarak kaki antar sengkang maksimal 350 mm. Dipakai sengkang diameter 10 mm, jarak antar kaki:

$$\frac{800 - 40 \times 2 - 10 \times 4}{3} = 226.67 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 4 = 314.1593 \text{ mm}^2$$

$$d = 800 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 29 = 735.5 \text{ mm}$$

Jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{\left(\frac{V_{u,k}}{\phi} - V_c \right)} = \frac{314.1593 \times 240 \times 735.5}{\left(\frac{428.7818}{0.6} - 0 \right)} = 177.6 \text{ mm}$$

$$S = \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil kolom} = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ mm}$$

$$S = 8 \times \text{tulangan longitudinal} = 8 \times 29 = 232 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm}$$

Diambil yang terkecil 150 mm. Maka dipakai sengkang \varnothing 10-150.

2. Daerah tengah kolom

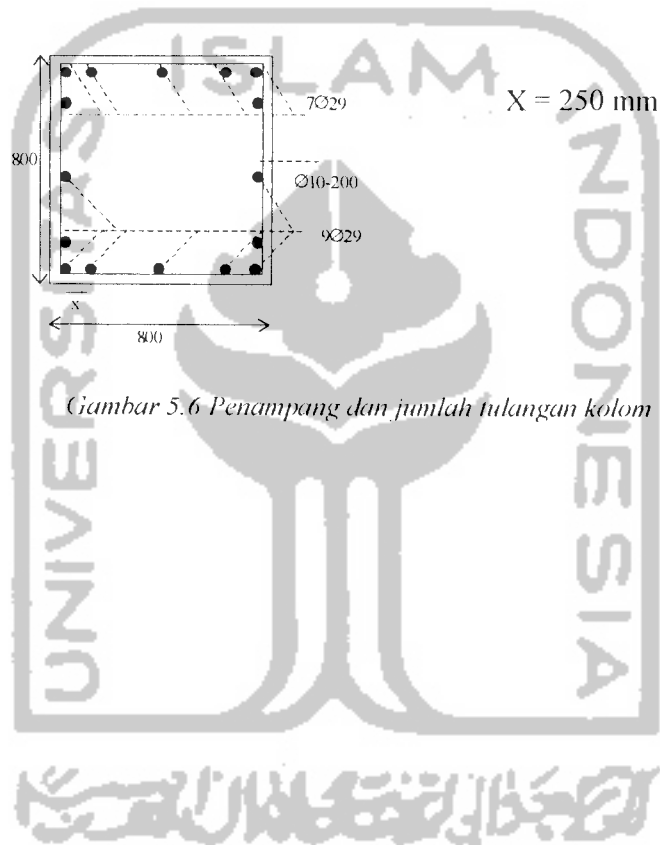
$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 - \frac{N_{u,k}}{14 \times A_{gr}} \right) \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times b \times d \\ &= \left(1 - \frac{9178.4492}{14 \times 640000} \right) \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 800 \times 735.5 = 489.8310 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipakai sengkang \varnothing 10. Jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{\left(\frac{V_{u,k}}{\phi} - V_c \right)} = \frac{314.1593 \times 240 \times 735.5}{\left(\frac{428.7818}{0.6} - 489.8310 \right)} = 213.998 \text{ mm}$$

- $16 \times \varnothing$ tulangan pokok = 16×29 = 464 mm
- $48 \times \varnothing$ tulangan sengkang = 48×10 = 480 mm
- dimensi terkecil kolom = 800 mm
- $b / 2$ = $800 / 2$ = 400 mm
- 20 cm = 200 mm

diambil jarak sengkang 200 mm. Maka dipakai sengkang $\varnothing 10-200$.



Gambar 5.6 Penampang dan jumlah tulangan kolom