

BAB VI

PENULANGAN BALOK DAN KOLOM

6.1. Pendahuluan

Pada prinsipnya ketentuan perencanaan diberikan untuk gaya rencana akibat gempa. Di dalam daerah non linier dari respon struktur penahan gempa ditentukan berdasarkan pemancaran energi yang harus direncanakan dan dibuat detailnya, sehingga keseluruhannya mampu memberikan perilaku daktail. Hal ini secara ekonomi tidaklah lazim untuk merencanakan struktur gedung sedemikian kuat, sehingga struktur bersifat elastik murni.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, maka peraturan menetapkan suatu taraf gempa rencana yang menjamin struktur gedung tidak rusak. Pada waktu menahan gempa kecil dan sedang. Pada waktu menahan gempa kuat yang lebih jarang terjadi, struktur mampu mempertahankan perilaku perubahan bentuk secara detail dengan memancarkan energi dan membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur. Struktur memulai pola rencana yang terkendali sehingga tidak mengakibatkan keruntuhan yang fatal.

6.2. Momen Rencana Balok

Momen rencana balok dihitung berdasarkan ke-3 type pembebanan dibawah ini menurut SKSNI 3.2.2

Type pembebanan 1. $M_u = 1,2 M_{D,b} + 1,6 M_{L,b}$

Type pembebanan 2. $M_u = 0,9 M_{D,b} + M_{E,b}$

Type pembebanan 3. $M_u = 1,05 (M_{D,b} + 0,6 M_{L,b} \pm M_{E,b})$

Hasil-hasil perhitungan dengan ketiga macam type pembebanan di atas dapat dilihat pada Tabel VI.1. dan Tabel VI.2.. Momen-momen maksimum pada tiap lantai akibat ketiga macam pembebanan di atas, dianggap sebagai momen rencana balok.

6.3. Penulangan Lentur Balok-Balok Portal

6.3.1. Penulangan Lentur Balok Portal N

Penulangan lentur balok portal N dihitung dengan perhitungan tulangan lentur menurut SKSNI T-15-1991-03 [8].

6.3.1.1. Balok lantai dasar

$$M - \text{tumpuan} = 110,65 \text{ kNm}$$

$$M + \text{tumpuan} = 64,55 \text{ kNm}$$

Tulangan tumpuan negatif

$$\rho'/\rho = \frac{64,55}{110,65} = 0,583$$

$$\text{dipakai } \rho'/\rho = 0,6$$

$$\text{diambil } d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 50 = 350 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w \cdot d^2} = \frac{110,65}{0,80 \cdot 25 \cdot 0,35^2} = 4489,8$$

Tabel VI.1. Momen Rencana Balok-Balok Portal N

Lantai	Balok	M_D (kNm)	M_L (kNm)	$M_{E,kiri}$ (kNm)	$M_{E,kanan}$ (kNm)	$1.2M_D+1.6M_L$ (kNm)	$0.9M_D+M_E$		$1.05(M_D+0.6M_L+M_E)$	
							E_{kiri}	E_{kanan}	E_{kiri}	E_{kanan}
Dasar	87-88	-10.64	68.07	-68.07	-70.83	-81.628	64.367	-77.283	38.0793	-110.65
	88-87	-10.57	-68.07	68.07	70.82	-81.356	-77.103	64.547	-110.431	38.3019
	88-89	-10.56	68.07	-68.07	-70.83	-81.388	64.547	-77.103	38.2893	-110.44
1	99-100	-79.09	-45.66	368.97	-368.97	-167.964	297.789	-440.15	275.6082	-499.23
	100-99	-79.31	45.66	-368.97	368.97	-22.116	-440.349	297.591	-441.928	332.909
	100-101	-79.57	-45.66	368.03	-368.84	-168.54	296.417	-440.45	274.1172	-499.6
2	111-112	-75.03	-45.63	190.64	-190.64	-163.044	123.113	-258.17	92.6436	-307.7
	112-111	-74.93	-45.63	-190.64	190.64	-162.924	-258.077	123.203	-307.595	92.7486
	112-113	-75.14	-45.63	190.64	-190.64	-163.176	123.014	-258.27	92.5281	-307.82
3	123-124	-75.05	-45.67	165.45	-165.45	-163.132	97.905	-233	66.1479	-281.3
	124-123	-74.97	-45.55	-165.46	165.46	-162.844	-232.933	97.987	-281.148	66.318
	124-125	-74.97	-45.67	165.45	-165.45	-163.036	97.977	-232.92	66.2319	-281.21
4	135-136	-74.86	-45.55	119.26	-119.26	-162.712	51.886	-186.63	17.9235	-232.52
	136-135	-75.06	-45.67	-119.26	119.26	-163.144	-186.814	51.706	-232.808	17.6379
	136-137	-75.06	-45.80	119.51	-119.62	-163.352	51.956	-187.17	17.8185	-233.27
Atap	147-148	-74.68	-45.44	78.77	-78.77	-162.32	11.558	-147.02	-24.3327	-191.3
	148-147	-75.15	-45.44	-78.94	78.94	-162.884	-146.575	11.305	-190.422	-24.648
	148-149	-75.64	-46.01	78.94	-78.94	-164.384	10.864	-147.02	-25.5213	-191.3

Tabel VI.2. Momen Rencana Balok-Balok Portal 5

Lantai	Balok	M_D (kNm)	M_L (kNm)	$M_{E,kiri}$ (kNm)	$M_{E,kanan}$ (kNm)	$1.2M_D+1.6M_L$ (kNm)	$0.9M_D+M_E$		$1.05(M_D+0.6M_L+M_E)$	
							E_{kiri}	E_{kanan}	E_{kiri}	E_{kanan}
Dasar	158	100.46	10.51	79.36	-79.34	171.728	182.812	-59.557	216.0291	-12.602
1	165-200	94.46	20.28	397.94	--397.87	167.38	647.299	-528.19	704.8104	-207.44
	200-165	23.38	6.86	0	0	39.03	21.042	6.174	28.87	7.203
2	207-172	20.57	6.86	0	0	35.66	18.513	6.174	25.9203	7.203
	172-207	70.39	20.38	300.97	-300.93	117.076	364.321	-282.59	402.7674	-104.97
3	214-179	20.56	6.86	0	0	35.648	18.504	6.174	25.9098	7.203
	179-214	68.1	20.78	280.35	-280.31	114.968	341.64	-261.61	378.9639	-95.886
4	221-186	20.56	6.86	0	0	35.648	18.504	6.174	25.9098	7.203
	186-221	68.87	20.99	211	-210.9	116.228	272.943	-192.01	307.0452	-66.501
Atap	227-193	15.74	5.25	0	0	27.288	14.166	4.725	19.8345	5.5125
	193-227	64.79	20.6	173.19	-173.19	110.708	231.501	-154.65	262.857	-51.11

SASAN PERALIHAN BALOK-DALAM

dengan $R_n = 4489,8$ dan $\rho'/\rho = 1$ maka :

$$\rho = 2,09 \% \text{ (interpolasi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 2,09 \% \cdot 250 \cdot 350 = 1829,10 \text{ mm}^2 \\ &= 18,29 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} &= 0,5 \cdot A_s \\ &= 0,5 \cdot 1829,10 = 914,55 \text{ mm}^2 = 9,145 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan positif

$$\rho'/\rho = \frac{64,55}{110,65} = 0,583 \text{ dipakaai } \rho'/\rho = 1$$

diambil $d' = 50 \text{ mm}$

$$d = 400 - 50 = 350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w \cdot d^2} \\ &= \frac{64,55}{0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,35^2} = 2635 \end{aligned}$$

dengan $R_n = 2535$ dan $\rho'/\rho = 1$ maka :

$$\rho = 1,08 \% \text{ (interpolasi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 1,08 \% \cdot 250 \cdot 350 = 942,15 \text{ mm}^2 \\ &= 9,42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} &= 0,5 \cdot A_s \\ &= 0,5 \cdot 942 = 471 \text{ mm}^2 = 4,71 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dalam hal ini tulangan terpasang diambil berdasarkan harga maksimum dari dua jenis tulangan tumpuan.

$$As_{atas} = 9,42 \text{ cm}^2$$

$$As_{bawah} = 9,42 \text{ cm}^2$$

dari hasil perhitungan tulangan terpasang diambil berdasarkan harga maksimum dari dua jenis tulangan.

$$As_{atas} = 9,42 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{digunakan tulangan atas } 4 \text{ D } 16 &= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 8,04 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$2 \text{ D } 10 = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Total tulangan yang digunakan } 9,61 \text{ cm}^2$$

$$\text{tulangan terpasang } 9,61 \text{ cm}^2 > 9,42 \text{ cm}^2$$

$$As_{bawah} = 9,42 \text{ cm}^2$$

$$\text{digunakan tulangan atas } 4 \text{ D } 16 = 8,04 \text{ cm}^2$$

$$2 \text{ D } 10 = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Total tulangan yang digunakan } 9,61 \text{ cm}^2$$

$$\text{tulangan terpasang } 9,61 \text{ cm}^2 > 9,42 \text{ cm}^2$$

6.3.1.2. Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan Luas Tulangan Perlu Balok Portal N.

Tabel VI.3. Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan Luas Tulangan Perlu Balok Portal N.

Balok Lantai	Dimensi Balok (cm)	Tulangan Atas		Nilai Banding	Tulangan Bawah		Nilai Banding
		Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)		Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)	
Dasar	40/25	9,42	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	1,02	9,42	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	1,05
1	60/40	14,2	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	1,07	12,23	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	1,08
2	60/30	13,1	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	1,01	6,65	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	1,68
3	60/30	13,3	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	1,14	6,65	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	1,68
4	60/30	14,43	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	1,05	7,15	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	1,56
Atap	60/30	14,54	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	1,045	7,29	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	1,53

6.3.2. Penulangan Lentur Balok Portal 5

Penulangan lentur balok portal 5 dihitung dengan perhitungan tulangan lentur menurut SKSNI T-15-1991-03 [8].

6.3.2.1. Balok lantai dasar

$$M - \text{tumpuan} = 59,557 \text{ kNm}$$

$$M + \text{tumpuan} = 216,03 \text{ kNm}$$

Tulangan tumpuan negatif

$$\rho'/\rho = \frac{216,03}{59,557} = 3,627$$

$$\text{dipakai } \rho'/\rho = 1$$

$$\text{diambil } d' = 50 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 50 = 350 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w \cdot d^2}$$

$$= \frac{59,557}{0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,35^2} = 2431$$

dengan $R_n = 2431$ dan $\rho'/\rho = 1$ maka :

$$\rho = 1,06 \% \text{ (interpolasi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 1,06 \% \cdot 250 \cdot 350 = 923,56 \text{ mm}^2 \\ &= 9,23 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,5 \cdot A_s \\ &= 0,5 \cdot 932 = 462 \text{ mm}^2 = 4,62 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan positif

$$\rho'/\rho = \frac{59,557}{216,03} = 0,27 \text{ dipakaai } \rho'/\rho = 1$$

diambil $d' = 50 \text{ mm}$

$$d = 400 - 50 = 350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w \cdot d^2} \\ &= \frac{216,03}{0,80 \cdot 250 \cdot 35^2} = 8817 \end{aligned}$$

dengan $R_n = 8817$ dan $\rho'/\rho = 1$ maka :

$$\rho = 4,18 \% \text{ (interpolasi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 4,18 \% \cdot 250 \cdot 350 \\ &= 36,42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,5 \cdot A_s \\ &= 0,5 \cdot 36,42 = 18,28 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dalam hal ini tulangan terpasang diambil berdasarkan harga maksimum dari dua jenis tulangan tumpuan.

$$A_{s \text{ atas}} = 9,23 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \text{ bawah}} = 4,62 \text{ cm}^2$$

dari hasil perhitungan tulangan terpasang diambil berdasarkan harga maksimum dari dua jenis tulangan.

$$A_{s \text{ atas}} = 9,23 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{digunakan tulangan atas } 4 \text{ D } 16 &= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 8,04 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$2 \text{ D } 10 = 1,57 \text{ cm}^2$$

Total tulangan yang digunakan $9,61 \text{ cm}^2$

tulangan terpasang $9,61 \text{ cm}^2 > 9,23 \text{ cm}^2$

$$A_{s \text{ bawah}} = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$\text{digunakan tulangan atas } 4 \text{ D } 16 = 8,04 \text{ cm}^2$$

$$2 \text{ D } 10 = 1,57 \text{ cm}^2$$

Total tulangan yang digunakan $9,61 \text{ cm}^2$

tulangan terpasang $4,62 \text{ cm}^2 > 4,62 \text{ cm}^2$

6.3.1.2. Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan Luas Tulangan Perlu Balok Portal 5

Tabel VI.4. Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan Luas Tulangan Perlu Balok Portal 5.

Balok Lantai	Dimensi Balok (cm)	Tulangan Atas		Nilai Banding	Tulangan Bawah		Nilai Banding
		Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)		Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)	
Dasar	40/25	9,23	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	1,04	4,62	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	2,08
1	60/40	31,43	15D16 = 30,15 2D10 = 1,57	1,01	15,02	6D16 = 12,4 4D10 = 3,14	1,01
2	60/40	24,01	14D16 = 28,15 2D10 = 1,57	1,23	12,00	5D16 = 10,4 2D10 = 1,57	1,00
3	60/40	26,575	14D16 = 28,15 2D10 = 1,57	1,12	13,287	6D16 = 12,4 2D10 = 1,57	1,05
4	60/40	16,35	14D16 = 28,15 2D10 = 1,57	1,8	8,178	5D16 = 10,4 2D10 = 1,57	1,46
Atap	60/40	12,826	6D16 = 12,06 2D10 = 1,57	1,06	6,413	3D16 = 6,03 2D10 = 1,57	1,19

6.4. Perhitungan Momen Nominal Aktual Balok

6.4.1. Perhitungan momen nominal aktual balok Portal N

6.4.1.1. Balok lantai Dasar

Momen nominal aktual positif (asumsi balok peregi)

Tulangan atas (4D-16+2D-10) = 9,61 cm²

Tulangan bawah (4D-16+2D-10) = 9,61 cm²

$$\rho'/\rho = \frac{961}{961} = 1 \text{ diambil } \rho'/\rho = 1$$

$$\rho = \frac{961}{250.350} = 1,1 \%$$

dari tabel tulangan lentur $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 240 \text{ Mpa}$

didapat $R_n = 2520$

$$M_{nak+} = M_n = R_n \cdot b \cdot d^2 = 1200 \cdot 0,25 \cdot 0,35^2 = 77,175 \text{ kNm}$$

Momen nominal aktual positif (asumsi balok peregi)

Tulangan atas (4D-16+2D-10) = 9,61 cm²

Tulangan bawah (4D-16+2D-10) = 9,61 cm²

$$\rho'/\rho = \frac{961}{961} = 1 \text{ diambil } \rho'/\rho = 1$$

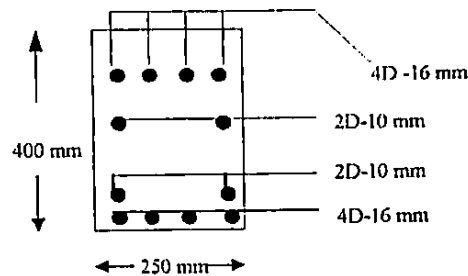
$$\rho = \frac{961}{250.350} = 1,1 \%$$

dari tabel tulangan lentur $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 240 \text{ Mpa}$

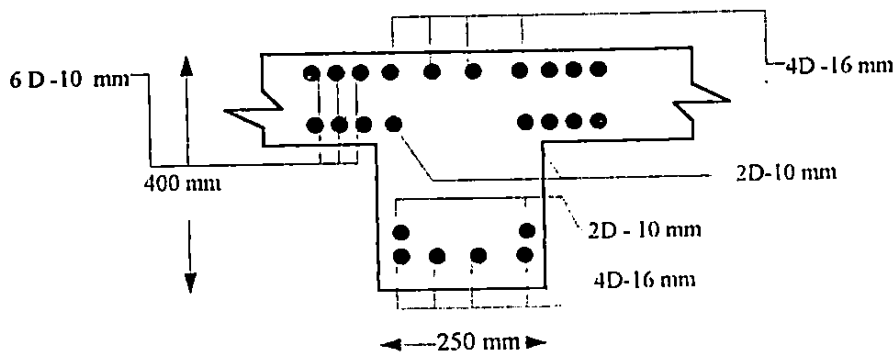
didapat $R_n = 2520$

$$M_{nak+} = M_n = R_n \cdot b \cdot d^2$$

$$= 1200 \cdot 0,25 \cdot 0,35^2 = 77,175 \text{ kNm}$$



Gambar 6.1. Asumsi penampang Balok Persegi dan Tulangan Terpasang



Gambar 6.2. Asumsi penampang balok T dan tulangan terpasang

Diasumsikan pada masing-masing sisi flens terdapat tulangan plat

$$6 \text{ D} - 10 \text{ mm dengan } \rho'/\rho = \frac{9,61}{9,61 + (2,4,71)} = 0,76 \text{ diambil } \rho'/\rho = 1$$

$$\rho = \frac{9,61 + (2,4,71)}{25,35} = 1,41 \%$$

Dari tabel $f_c' = 25$ Mpa dan $f_y = 240$ Mpa

didapat $R_n = 3120$

$$\begin{aligned} M_{nak} &= M_n = R_n \cdot b \cdot d^2 \\ &= 3120 \cdot 0,25 \cdot 0,35^2 \\ &= 95,55 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan Momen Nominal Aktual dapat dilihat pada tabel VI.5 dan VI.6.

Tabel VI.5. Tulangan dan Momen Nominal Balok Portal N

Lantai	TULANGAN ATAS		TULANGAN BAWAH		M _{nak, b} (kNm)	
	Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)	Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)	Positif	Negatif
Dasar	9,42	4D16 = 16,08 2D10 = 1,57	9,61	4D16 = 8,04 2D10 = 1,60	77,175	95,35
1	14,2	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	12,23	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	235,71	290,54
2	13,1	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	6,65	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	178,52	320,053
3	13,3	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	6,65	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	178,52	336,39
4	14,43	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	7,15	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	178,52	336,39
Atap	14,54	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	7,29	3D16 = 8,04 4D10 = 3,14	178,52	336,39

Tabel VI.6. Tulangan dan Momen Nominal Balok Portal 5

Lantai	TULANGAN ATAS		TULANGAN BAWAH		M _{nak, b} (kNm)	
	Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)	Perlu (cm ²)	Terpasang (cm ²)	Positif	Negatif
Dasar	9,23	4D16 = 8,04 2D10 = 1,60	4,62	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	55,95	178,90
1	31,43	15D16 = 30,15 2D10 = 1,60	15,02	6D16 = 12,4 4D10 = 3,14	236,72	266,26
2	24,01	14D16 = 28,15 2D10 = 1,60	12,00	5D16 = 10,4 2D10 = 1,60	179,64	472,06
3	26,575	14D16 = 28,15 2D10 = 1,60	13,287	6D16 = 12,4 2D10 = 1,60	181,53	508,20
4	16,35	14D16 = 28,15 2D10 = 1,60	8,178	5D16 = 10,4 2D10 = 1,60	179,64	472,06
Atap	12,826	6D16 = 12,06 2D10 = 1,607	6,413	3D16 = 6,03 2D10 = 1,60	173,67	254,167

6.5. Gaya Geser dan Penulangan Geser Balok

Gaya geser rencana balok di hitung berdasarkan rumus :

$$V_{u,b} = 0,7 \cdot \phi_o \left[\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right] + 1,05 V_g$$

tetapi gaya gesre maksimum balok tidak boleh lebih besar dari :

$$V_{u,b} = 1,05 (V_{D,b} + V_{L,b} + 4/K \cdot V_{E,b})$$

Penulangan geser balok :

$$V_u/\phi \leq V_c + V_s$$

$$V_c = \left(\sqrt{\frac{f_c'}{6}} \right) b_w \cdot d$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

Pada lokasi yang berpotensi sendi plastis, spesi maksimum tulangan geser tidak boleh melebihi nilai dibawah ini :

- a). $d/4$
- b). $8 \cdot d_1$.
- c). $24 \cdot d_s$
- d). $1600 \cdot f_{yt} \cdot A_{s,1} / (A_{s,u} \cdot f_{y1})$

Sedangkan pada daerah diluar sendi plastis, spesi maksimum tulangan geser tidak boleh melebihi nilai dibawah ini :

- a. $d/2$
- b. 600 mm

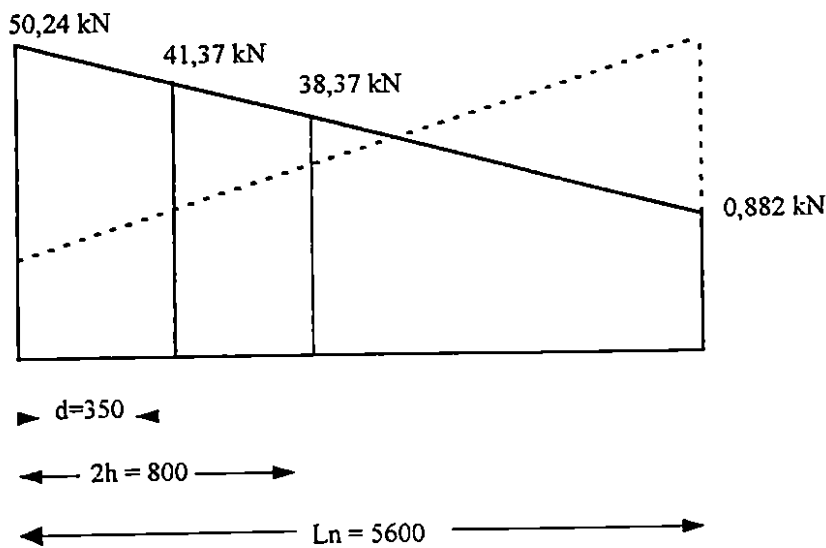
Untuk Perhitungan Gaya geser Rencana Balok Portal N (Tabel VI.7) dan Perhitungan Gaya geser Rencana Balok Portal N (Tabel VI.8)..

Untuk Gaya Geser Maksimum Balok Portal N (Tabel VI.9) dan Gaya Geser Maksimum Balok Portal 5 (Tabel VI.10)

6.6. Perhitungan Tulangan Geser Balok

Contoh perhitungan tulangan geser balok Portal N

Perhitungan Balok Lantai Dasar



Gambar 6.3. Gaya geser pada penampang kritis dan daerah sendi plastis

6.6.1. Didalam sendi plastis

Untuk Balok 250×400

$V_{u,b}$ terpakai = $41,37 \text{ kN}$

$V_c = 0,00$

$$V_s = \frac{V_{u,b}}{\phi} = \frac{41,37}{0,6} = 68,95 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Tabel IV.7. Gaya Geser Rencana Balok Portal N

Lantai	Balok	$M_{nak,b}$	$M_{nak-,b}$	$1,25 \cdot 0,7 \left[\frac{M_{nak+,b} + M_{nak-,b}}{l_n} \right]$	$1,05 V_g$	$V_{u,b}$	$V_{u,b}$ terpakai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Dasar	87-88	77.18	135	30.98	33.7	50.241125	41.3749
	88-87	135.2	77.2	30.98	33.7	50.241125	39.6941
	88-89	77.18	135	30.98	33.7	50.241125	41.3749
1	99-100	235.7	291	76.74	82.9	122.56875	108.408
	100-99	290.5	236	76.74	82.9	122.56875	112.191
	100-101	235.7	291	76.74	82.9	122.56875	108.408
2	111-112	178.5	320	72.71	78.4	116.09298	91.8993
	112-111	320.1	179	72.71	78.4	116.09298	81.1291
	112-113	178.5	320	72.71	78.4	116.09298	91.8993
3	123-124	178.5	320	72.71	78.3	115.99298	80.3409
	124-123	320.1	179	72.71	78.3	115.99298	69.5613
	124-125	178.5	320	72.71	78.3	115.99298	80.3409
4	135-136	178.5	320	72.71	78.3	115.89298	80.2714
	136-135	320.1	179	72.71	78.3	115.89298	69.5012
	136-137	178.5	320	72.71	78.3	115.89298	80.2714
Atap	147-148	178.5	320	72.71	78.3	115.79298	80.2019
	148-147	320.1	179	72.71	78.3	115.79298	69.4411
	148-149	178.5	320	72.71	78.3	115.79298	80.2019

Tabel VI.8. Gaya Geser Rencana Balok Portal 5

Lantai	Balok	$M_{nak,b}$	$M_{nak-,b}$	$1,25 \cdot 0,7 \left[\frac{M_{nak+,b} + M_{nak-,b}}{l_n} \right]$	$1,05 V_g$	$V_{u,b}$	$V_{u,b}$ terpakai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Dasar	158	55.96	179	26.83	37.3	50.909105	43.9415
1	165-200	236.7	260	56.79	78.2	105.97463	92.3521
	200-165	260.5	237	56.79	78.3	105.97463	89.7388
2	207-172	179.6	472	74.44	102.4	138.615	120.528
	172-207	472.1	180	74.44	102.5	138.61279	123.525
3	214-179	181.5	508	78.77	108.3	146.70671	124.416
	179-214	508.2	182	78.78	108.3	146.715	108.519
4	221-186	179.6	472	74.44	102.4	138.615	120.528
	186-221	173.7	254	48.87	102.4	138.615	3694.88
Atap	227-193	254.2	174	48.88	67.6	91.245282	88.692
	193-227	173.7	254	48.88	67.5	91.445447	86.9238

BAB XI PERALIHAN BALOK-DAN-KOLOM

Tabel VI.9. Gaya Geser Maksimum Balok Portal N

Lantai (1)	$V_{D,b}$ (kN) (2)	$V_{L,b}$ (kN) (3)	$V_{E,b}$ (kN) (4)	$V_{U,b}$ maks (kN) (5)
Dasar	67.5	10.29	21.06	170.1315
1	87.27	10.29	100.54	524.706
2	87.3	10.29	83.55	453.3795
3	87.22	10.29	63.56	369.3375
4	87.3	10.3	41.03	274.806
Atap	87.37	10.31	21.76	193.956

Tabel VI.10. Gaya Geser Maksimum Balok Portal 5

Lantai (1)	$V_{D,b}$ (Kn) (2)	$V_{L,b}$ (kN) (3)	$V_{E,b}$ (kN) (4)	$V_{U,b}$ maks (kN) (5)
Dasar	75	7.87	21.94	179.1615
1	105.53	8.19	129.48	663.222
2	106.54	8.27	117.7	614.8905
3	106.97	8.3	94.75	518.9835
4	107.15	8.31	67.58	405.069
Atap	107.22	8.32	46.34	315.945

Keterangan Tabel VI.7 dan Tabel VI.8.

(1), (2) = struktur yang ditinjau

(3), (4) = lihat Tabel VI.3 Tulangan dan Momen Nominal Balok Portal N dan

Lihat Tabel VI.4. Tulangan dan Momen Nominal Balok Portal 5

(6) $V_g = V_D + (R_1 \cdot R_2 \cdot V_L)$

V_D dan V_L diperoleh dari hasil analisis struktur

R_1 dan R_2 (*Park, R and Pauly, T, 1975 "Reinforced Concrete Structure", John Wiley dan Sons*)

$R_1 = 0.28$

$R_2 = 0.39$ untuk daktilitas penuh $\mu = 4$

(7) $V_{ub} = 0,7 \cdot \phi_c \left[\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right] + 1,05 \cdot V_g$

(8) $\left[1,05 \cdot V - 0,7 \cdot \phi_c \left(\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right) \right] + \frac{l_n - d}{l_n} \left[V_{u,b} - \left(1,05 \cdot V_g - 0,7 \cdot \phi_c \left(\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right) \right) \right]$

Keterangan Tabel VI.9 dan Tabel VI.10

(1) = Struktur yang ditinjau

(2) = dari hasil analisis struktur

(5) $V_{ub \text{ maks}} = 1,05(V_{D,b} + V_{L,b} + 4/K (V_{E,b}))$

Dipakai sengkang Φ 10 dengan mutu baja (f_y) = 240 Mpa

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2.1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240 \cdot 350}{689,5 \cdot 10^3} = 19 < d/4 = 87,5 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang Φ 10 - 15

6.6.2. Diluar sendi plastis

Untuk Balok 250 x 400

$$V_{u,b} = 0,882 + \left[\frac{5,6 - 0,8}{5,6} \right] [50,95 - 0,882] = 38,37$$

$$V_c = \sqrt{\frac{f_c'}{6}} \cdot b_w \cdot d = (\sqrt{25/6}) \cdot 250 \cdot 350 = 72916,6 \text{ N} = 72,92 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_{u,b}}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{50,95}{0,6} - 72,92 = 11,997 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Dipakai sengkang Φ 10 dengan mutu baja (f_y) = 240 Mpa

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2.1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240 \cdot 350}{119,97 \cdot 10^3} = 11 < d/2 = 175 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang Φ 10 - 10 mm

Penulangan gaya geser balok secara lengkap dapat dilihat pada Tabel VI.11. dan Tabel VI.12. yang menunjukkan bahwa, hasil perhitungan sudah memenuhi persyaratan yaitu $\frac{V_{u,b}}{\phi}$ kurang dari ($V_c + V_s$).

Tabel VI.11. Penulangan Geser Balok Portal N

Lantai	Letak	$V_{u,b}$ terpakai	V_c	Tulangan Geser	V_s terpasang	Check $\frac{u_b}{\phi} < V_c + V_s$
Dasar	pada sendi plastis	41.3749	0,00	Φ 10 - 15 mm	68,95	$68,89 < 68,95$
	luar sendi plastis	38.37	72,917	Φ 10 - 10 mm	11,997	$38,37 < 84,914$
1	pada sendi plastis	112.191	0,00	Φ 10 - 15 mm	238,45	$186,985 < 238,450$
	luar sendi plastis	89.007	183,333	Φ 10 - 20 mm	103,333	$148,345 < 286,663$
2	pada sendi plastis	91.8993	0,00	Φ 10 - 10 mm	266,26	$153,165 < 266,260$
	luar sendi plastis	61.081	183,333	Φ 10 - 15 mm	256,437	$100,135 < 439,767$
3	pada sendi plastis	80.3409	0,00	Φ 10 - 10 mm	178,422	$133,901 < 178,422$
	luar sendi plastis	50.987	183,333	Φ 10 - 15 mm	114,037	$87,97 < 297,367$
4	pada sendi plastis	80.2714	0,00	Φ 10 - 10 mm	120,072	$133,78 < 120,072$
	luar sendi plastis	50.454	183,333	Φ 10 - 15 mm	16,67	$87,890 < 199,99$
Atap	pada sendi plastis	80.2019	0,00	Φ 10 - 20 mm	120,072	$133,77 < 120,072$
	luar sendi plastis	50.561	183,333	Φ 10 - 20 mm	16,67	$87,894 < 199,99$

Tabel VI.12. Penulangan Geser Balok Portal 5

Lantai	Letak	$V_{u,b}$ terpakai	V_c	Tulangan Geser	V_s terpasang	Check $V_{u,b}/\phi < V_c + V_s$
Dasar	pada sendi plastis	43.9415	0,00	Φ 10 - 15 mm	88,461	73,23<88,461
	luar sendi plastis	28,98	72,917	Φ 10 - 15 mm	32,11	48,314<105,027
1	pada sendi plastis	92.3521	0,00	Φ 10 - 05 mm	279,075	153,915<279,075
	luar sendi plastis	76,881	183.333	Φ 10 - 20 mm	133,163	128,135<316,493
2	pada sendi plastis	123.525	0,00	Φ 10 - 05 mm	247,228	205,877<247,228
	luar sendi plastis	101,882	183.333	Φ 10 - 20 mm	52,103	169,801<235,436
3	pada sendi plastis	124.416	0,00	Φ 10 - 05 mm	230,982	207,350<230,982
	luar sendi plastis	102,983	183.333	Φ 10 - 20 mm	21,067	171,630<204,400
4	pada sendi plastis	120.528	0,00	Φ 10 - 05 mm	146,738	200,88<146,738
	luar sendi plastis	99,67	183.333	Φ 10 - 20 mm	61,223	166,117244,556
Atap	pada sendi plastis	88.692	0,00	Φ 10 - 05 mm	179,747	147,82<179,747
	luar sendi plastis	60,98	183.333	Φ 10 - 20 mm	61,223	101,63<244,556

6.7. Penulangan Kolom Akibat Beban Lentur dan Aksial

$$\sum M_{u,k} \geq 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \sum M_{nak,b}$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih dari

$$\sum M_{u,k} = 1,05 \sum (M_{D,k} + M_{L,k} + 4/k \cdot M_{E,k})$$

$$N_{u,k} = \frac{0,7 \cdot R_v \cdot A_g \sum M_{nak}}{l} + 1,05 N_{g,k}$$

dan tidak perlu lebih dari

$$N_{U,k} = 1,05 (N_{g,k} + 4/K \cdot N_{E,k})$$

dengan:

$$\phi_o = 1,25$$

$$K = 1$$

$\omega_d = 1,3$ kecuali untuk kolom lantai 1 dan lantai paling atas yang memungkinkan terjadi sendi plastis pada kolom, $\omega_d = 1$

$R_v =$ faktor reduksi

1 untuk $1 < n < 4$

1,1 - 0,025 untuk $4 < n < 20$

0,6 untuk $n > 20$

$n =$ jumlah lantai tingkat diatas kolom yang ditinjau.

Momen rencana kolom juga dapat ditulis

$$M_{u,k} = \frac{h}{hn} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \alpha k \left(\frac{l k_i}{\ln k_i} \cdot M_{nak-b-k_i} + \frac{l k_a}{\ln k_a} \cdot M_{nak, b k_a} \right)$$

dengan :

$h =$ tinggi kolom dari titik pertemuan ketitik pertemuan

h_n = tinggi bersih kolom

l_{ki} = bentang balok sebelah kiri, dari titik pertemuan ketitik pertemuan

l_{nki} = bentang bersih balok sebelah kiri

l_{ka} = bentang balok sebelah kanan, dari titik pertemuan ketitik pertemuan

l_{nka} = bentang bersih balok sebelah kanan.

Dalam perhitungan ini karena arah X maupun arah Y ditahan oleh struktur portal rangka terbuka maka menurut "Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung ".Gaya aksial dan momen rencana untuk kolom harus diperhitungkan.

Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat hasil perhitungan pada Tabel VI.13, sedang untuk momen maksimum dapat dilihat pada Tabel VI.14.

Untuk perhitungan gaya aksial rencana kolom dapat dilihat pada Tabel VI.15, sedang gaya aksial maksimum kolom dapat dilihat pada Tabel VI.16

Untuk penulangan kolom akibat M_{uk-x} dan N_{uk-x} dapat dilihat pada Tabel VI.17, sedang akibat M_{uk-y} dan M_{uk-y} dapat dilihat pada tabel VI.18.

Tabel VI.13. Momen Rencana Kolom N-5 dan Kolom P-5

Lantai	Kolom	M _{E, k} (kNm)		α, ka	α, kb	M _{nak, b-x} (kNm)		M _{nak, b-y} (kNm)		M _{nak, k-x} (kNm)		M _{nak, k-y} (kNm)	
		Atas	Bawah			Kiri	Kanan	Kiri	kanan	Atas	Bawah	Atas	Bawah
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Dasar	N	99.12	0.000	1.000	0.000	89.52	178.90	61.77	90	137.12	168.58	126.8	241.6
	P	411.4	0.000	1.000	0.000	89.52	178.90	61.77	90.01	137.13	168.59	126.8	241.6
1	N	257.2	164.580	0.610	0.390	242.00	436.20	548.9	661.9	578.14	471.894	378.3	377.8
	P	157.9	108.2	0.593	0.407	242.00	436.20	548.9	661.9	562.59	491.731	368.1	393.7
2	N	205	77.810	0.725	0.275	196.02	774.20	372.3	630.7	476.7	362.1	340.3	404.3
	P	126.8	39.39	0.763	0.237	196.02	774.20	372.3	630.7	501.75	311.9	358.1	348.3
3	N	190.7	65.700	0.744	0.256	196.02	331.90	330.6	566.8	441.8	332.0	334.	232.1
	P	113.8	30.6	0.788	0.212	196.02	331.90	330.6	566.8	468.2	345.6	354.	313.4
4	N	163.3	15.070	0.916	0.084	101.64	132.00	242.0	454.6	380.5	63.69	243	34.6
	P	94.24	3.75	0.962	0.038	101.64	132.00	242.0	454.6	399.7	28.85	255.	15.7
Atap	N	71.37	34.240	0.676	0.324	101.60	132.00	196.0	374.9	179.1	92.9	179.	157.4
	P	45.13	18.110	0.714	0.286	101.64	132.00	196.0	374.9	189.6	82.1	189.	139.0

Tabel VI.14. Momen Maksimum Kolom N-5 dan Kolom P-5

Lantai	Kolom	M _{DK-x} (kNm)	M _{DK-y} (kNm)	M _{LK-x} (kNm)	M _{LK-y} (kNm)	M _{EK-x} (kNm)	M _{EK-y} (kNm)	M _{UK-x} (kNm)		M _{UK-y} (kNm)	
								Atas	Bawah	Atas	Bawah
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Dasar	N	0.00	30.74	0.00	4.830	661.730	653.020	3639.4	-6633.5	3613.812	-2882
	P	0.00	2.76	0.00	0.29	661.730	416.91	3307.8	-5224	2588.004	-1890
1	N	0.00	40.570	0.00	5.390	382.790	257.660	1980.6	-3175.8	1612.745	-1163
	P	0.00	2.1	0.00	0.25	382.790	240.79	1913.6	-3020.5	1496.101	-1092
2	N	0.00	45.24	0.00	5.170	740.020	205.830	3420.4	-4397.1	1849.842	-1020
	P	0.00	1.52	0.00	0.250	740.020	214.740	3380.5	-4384.3	1836.192	-1057
3	N	0.00	44.61	0.00	5.270	292.620	190.670	1521.6	-2410.8	1221.889	-862.3
	P	0.00	2.01	0.00	0.130	292.620	179.700	1457.7	-2284.2	1125.688	-816.2
4	N	0.00	44.92	0.00	5.300	228.710	163.280	1219	-1981.6	1026.682	-733.8
	P	0.00	6.52	0.00	0.47	228.710	136.81	1140.3	-1771.2	870.1161	-622.6
Atap	N	0.00	80.32	0.00	9.480	132.330	71.370	740	-1093.2	560.7798	-327.5
	P	0.00	2.01	0.00	0.23	132.330	87.78	668.74	-1072.3	537.7638	-396.5

Keterangan Tabel VI.13 :

(1),(2) Struktur yang ditinjau

(3),(4) Dari hasil analisis struktur

$$(5) \quad \alpha_{ka} = \frac{ME_{,klt+atas}}{ME_{,kltlbawah} + ME_{,klt+atas}}$$

$$(6) \quad \alpha_{kb} = \frac{ME_{,klt+lbawah}}{ME_{,kltlbawah} + ME_{,klt+atas}}$$

(7),(8) Lihat Tabel VI.3. Tulangan dan Momen Aktual Balok Portal N dan Tabel VI.4. Tulangan dan Momen Aktual Balok Portal P

(9),(10) Lihat Tabel VI.3 Tulangan dan Momen Aktual Balok Portal N dan Tabel VI.4. Tulangan dan Momen Aktual Balok Portal P

$$(11) \quad M_{u, klt i} = \frac{h}{hn} 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \alpha_{ka} \left[\frac{l}{ln} \left(\sum Mnak, bx + 0,3 \sum Mnak, by \right)_{ln} \right]$$

$$(12) \quad M_{u, klt i} = \frac{h}{hn} 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \alpha_{kb} \left[\frac{l}{ln} \left(\sum Mnak, bx + 0,3 \sum Mnak, by \right)_{ln-1} \right]$$

$$(13) \quad M_{u, klt i} = \frac{h}{hn} 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \alpha_{ka} \left[\frac{l}{ln} \left(0,3 \sum Mnak, bx + \sum Mnak, by \right)_{ln} \right]$$

$$(14) \quad M_{u, klt i} = \frac{h}{hn} 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \alpha_{kb} \left[\frac{l}{ln} \left(0,3 \sum Mnak, bx + \sum Mnak, by \right)_{ln-1} \right]$$

(1) s/d (14) tidak perlu lebih besar dari nilai pada Tabel VI.12. Momen Maksimum Kolom N-3 dan Kolom P-3

$\omega d = 1,3$ kecuali lantai bawah dan lantai atas $\omega d = 1$ dimana sendi plastis diijinkan terjadi

$$M_{u, \text{kl 1 bawah } x} = M_{E, kx} + 0,3 M_{E, ky}$$

$$M_{u, \text{kl 1 bawah } x} = 0,3 M_{E, kx} + M_{E, ky}$$

Keterangan Tabel VI.14 :

- (1),(2) Struktur yang ditinjau
- (3),(4),(5),(6),(7),(8) Dari hasil analisis struktur
- (9) $1.05 \sum \left[M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{k} (M_{E,kx} + 0,3 M_{E,ky}) \right]$
- (10) $1.05 \sum \left[M_{D,k} + M_{L,k} - \frac{4}{k} (M_{E,kx} + 0,3 M_{E,ky}) \right]$
- (11) $1.05 \sum \left[M_{D,k} + M_{L,k} + \frac{4}{k} (0,3 M_{E,kx} + M_{E,ky}) \right]$
- (12) $1.05 \sum \left[M_{D,k} + M_{L,k} - \frac{4}{k} (0,3 M_{E,kx} + M_{E,ky}) \right]$

Tabel VI.15. Gaya Aksial Rencana Kolom N -5 dan Kolom P-5

Lantai	Kolom	Ng k (kNm)	M _{nak b-x} (kNm)		M _{nak b-y} (kNm)		N _{u k-x} (kNm)		N _{u k-y} (kNm)	
			Positif	Negatif	Positif	Negatif	Maks	Min	Maks	Min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Dasar	N	1661.09	89.52	178.9	61.770	90.000	454.1	720.8	905.8	2502.3
	P	1327.36	89.52	178.9	61.770	90.000	362.9	575.9	723.9	1999.3
1	N	1470.84	242.01	436.16	548.990	661.950	131.3	441.3	2.57.9	215.1
	P	1137.85	242.01	436.16	548.990	661.950	101.6	341.3	199.5	166.3
2	N	1175.46	196.03	774.19	372.330	630.670	48.6	737.9	81.7	113.2
	P	906.41	196.03	774.19	372.330	630.670	37.5	568.9	63.0	87.3
3	N	878.20	196.03	331.99	372.350	566.670	99.2	398.6	112.2	106.5
	P	675.62	196.03	331.99	372.350	566.670	76.3	306.5	86.3	81.9
4	N	579.91	101.64	132.07	242.040	454.630	124.8	231.3	78.6	68.2
	P	444.56	101.64	132.07	242.040	454.630	95.7	177.3	60.3	52.3
Atap	N	281.10	101.64	132.07	196.070	374.180	70.2	728.8	45.2	40.7
	P	213.36	101.64	132.07	196.070	374.180	53.3	552.6	34.3	30.9

Tabel VI.16. Gaya Aksial Maksimum Kolom N-5 dan Kolom P-5

Lantai	Kolom	N _{gk} (kNm)	M _{EK-x} (kNm)	M _{EK-y} (kNm)	N _{u k-x}		N _{u k-y}	
					Maks	Min	Maks	Min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Dasar	N	1661.09	179.45	19.45	2522.3	965.95	1990.674	1497.6
	P	1327.36	179.45	480.59	2753	34.495	2124.455	663
1	N	1470.84	178.47	25.28	2325.8	762.96	1795.798	1293
	P	1137.85	178.47	450.65	2512.1	-122.65	1892.797	496.69
2	N	1175.46	141.76	25.08	1861.2	607.24	1439.185	1029.3
	P	906.41	141.76	374.32	2018.8	-115.3	1523.384	380.08
3	N	878.20	98.88	20.88	1363.7	480.51	1068.623	775.6
	P	675.62	98.88	207.89	1386.6	32.164	1052.274	366.53
4	N	579.91	60.48	15.28	882.17	335.64	701.1543	516.66
	P	444.56	60.48	113.09	863.3	70.279	661.7373	271.84
Atap	N	281.10	27.92	9.26	424.09	166.22	340.0572	250.25
	P	213.36	27.92	46.04	399.3	48.754	307.5492	140.51

Keterangan tabel VI. 15

$$(3) N_{gk} = N_{Dk} + N_{Lk} + \sum b_s \text{ kolom}$$

(4), (5) lihat Tabel VI. 5. Tulangan dan Momen Nominal Balok Portal N

(6), (7) lihat Tabel VI. 5. Tulangan dan Momen Nominal Balok Portal P

$$(8) = 1,05 N_{gk} + 0,7 \cdot \phi_o / L \{ \sum (M_{nak,bx-ki} - M_{nak,bx,ka}) + 0,3 \cdot \sum (M_{nak,byki} - M_{nak,by,ka}) \}$$

$$(9) = 1,05 N_{gk} - 0,7 \cdot \phi_o / L \{ \sum (M_{nak,bx-ki} - M_{nak,bx,ka}) + 0,3 \cdot \sum (M_{nak,byki} - M_{nak,by,ka}) \}$$

$$(10) = 1,05 N_{gk} + 0,7 \cdot \phi_o / L \{ 0,3 \sum (M_{nak,bx-ki} - M_{nak,bx,ka}) + \sum (M_{nak,byki} - M_{nak,by,ka}) \}$$

$$(11) = 1,05 N_{gk} - 0,7 \cdot \phi_o / L \{ 0,3 \cdot \sum (M_{nak,bx-ki} - M_{nak,bx,ka}) + \sum (M_{nak,byki} - M_{nak,by,ka}) \}$$

Keterangan Tabel VI.16

(1), (2) = struktur yang ditinjau

(3) = lihat tabel VI.15. Gaya Aksial Rencana Kolom N-5 dan Kolom P-5

(4), (5) = dari hasil analisis struktur

$$(6) = 1,05 (N_{gk} + 4/K (N_{Ekx} + 0,3 N_{eky}))$$

$$(7) = 1,05 (N_{gk} - 4/K (N_{Ekx} + 0,3 N_{eky}))$$

$$(8) = 1,05 (N_{gk} + 4/K (0,3 N_{Ekx} + N_{eky}))$$

$$(9) = 1,05 (N_{gk} - 4/K (0,3 N_{Ekx} + N_{eky}))$$

Tabel VI.17. Penulangan Kolom N-5 dan Kolom P-5 Akibat M_{uk-x} dan N_{uk-x}

Lantai	Kolom	N_{uk-y}		M_{uk-y}	N_{uk-y}/ϕ		M_{uk}/ϕ	r pada grafik %		p=r. β	As _{total} (cm ²)	Tulangan Terpasang
		Maks	Min	(kNm)	Ag.0.85.fc'		Ag.0.85.fc'.h	Maks	Min			
					Maks	Min						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Dasar	N	2522.3	965.95	168.58	0.78	0.30	0.095	1.4	1.0	1.4	50,4	20D-19
	P	2753	34.495	168.59	0.85	0.01	0.095	1.4	1.0	1.4	24,00	20D-19
1	N	2325.8	762.96	471.89	0.72	0.24	0.265	1.3	1.1	1.3	51,48	20D-19
	P	2512.1	122.65	491.73	0.78	0.04	0.277	1.0	1.1	1.1	39,60	20D-19
2	N	1861.2	607.24	362.1	0.58	0.19	0.204	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
	P	2018.8	115.3	311.9	0.62	0.04	0.175	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
3	N	1363.7	480.51	332	0.42	0.15	0.187	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
	P	1386.6	32.164	345.6	0.43	0.01	0.194	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
4	N	882.17	335.64	63.69	0.27	0.10	0.036	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
	P	863.3	70.279	28.85	0.27	0.02	0.016	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
Atap	N	424.09	166.22	92.9	0.13	0.05	0.052	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19
	P	399.3	48.754	82.1	0.12	0.02	0.046	1.0	1.0	1.0	24,00	9D-19

Tabel VI.18. Penulangan Kolom N-5 dan Kolom P-5 Akibat M_{uk-x} dan N_{uk-x}

Lantai	Kolom	N_{uk-x}		M_{uk-x} (kNm)	N_{uk-x}/ϕ		M_{uk}/ϕ Ag.0.85.fc'.h	r pada grafik %		p=r. β	As total (cm ²)	Tulangan Terpasang
		maks	min		Maks	Min		Maks	Min			
		(3)	(4)									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Dasar	N	1990.67	1497.6	126.8	0.62	0.46	0.071	1.5	1.0	1.5	54.00	20D-19
	P	2124.46	663	126.8	0.66	0.21	0.071	1.1	1.0	1.1	39.60	14D-19
1	N	1795.80	1293	378.3	0.56	0.40	0.213	1.9	1.1	1.9	68.40	25D-19
	P	1892.80	496.69	368.1	0.59	0.15	0.207	1.0	1.1	1.1	39.60	14D-19
2	N	1439.19	1029.3	340.3	0.45	0.32	0.191	1.2	1.0	1.2	43.20	16D-19
	P	1523.38	380.08	358.1	0.47	0.12	0.201	1.0	1.0	1.0	36.00	14D-19
3	N	1068.62	775.6	334	0.33	0.24	0.188	1.1	1.0	1.1	39.60	14D-19
	P	1052.27	366.53	354	0.33	0.11	0.199	1.0	1.0	1.0	36.00	14D-19
4	N	701.15	516.66	243	0.22	0.16	0.137	1.0	1.0	1.0	36.00	14D-19
	P	661.74	271.84	255	0.20	0.08	0.143	1.0	1.0	1.0	36.00	14D-19
Atap	N	340.06	250.25	179	0.11	0.08	0.101	1.0	1.0	1.0	36.00	14D-19
	P	307.55	140.51	189	0.10	0.04	0.106	1.0	1.0	1.0	36.00	14D-19

Keterangan Tabel VI. 17 dan Tabel VI.18

- (1),(2) Struktur yang ditinjau
- (3), (4) Lihat Tabel VI.15 Gaya Aksial Rencana Kolom N-5 dan Kolom P-5
- (5) Lihat Tabel VI.13. Momen Rencana kolom N-5 dan Kolom P-5
- (9), (10) Lihat grafik tulangan kolom (lampiran 5)
- (11) $\beta = 1,0$ untuk $f_c' = 25$ Mpa
- (12) $A_s \text{ total} = \rho \cdot A_g$
 - rasio tulangan minimum kolom = 1 %

Dari tabel VI.19 dan Tabel VI.20. perbandingan penulangan kolom tersebut, nilai banding dari luas tulangan terpasang dengan luas tulangan perlu lebih dari 1, hal ini menunjukkan bahwa tulangan kolom yang ada lebih besar dari tulangan perlu, sehingga kolom tersebut mampu menahan momen dan beban aksial yang ada. Untuk lebih jelasnya lihat tabel :

Tabel VI.19. Perbandingan Penulangan Kolom Akibat $M_{UK,x}$ dan $N_{UK,x}$

Lantai	Kolom	Tulangan Terpasang	Luas Tulangan Terpasang (cm ²)	Luas Tulangan Perlu (cm ²)	Nilai banding
Dasar	N	20D-19	56,70	50,40	1,125
	P	10D-19	28,35	24,00	1,18
1	N	20D-19	56,70	51,48	1,10
	P	14D-19	39,69	39,60	1,01
2	N	9D-19	25,51	24,00	1,06
	P	9D-19	25,51	24,00	1,06
3	N	9D-19	25,51	24,00	1,06
	P	9D-19	25,51	24,00	1,06
4	N	9D-19	25,51	24,00	1,06
	P	9D-19	25,51	24,00	1,06
Atap	N	9D-19	25,51	24,00	1,06
	P	9D-19	25,51	24,00	1,06

Tabel VI.20. Perbandingan Penulangan Kolom Akibat $M_{UK,y}$ dan $N_{UK,y}$

Lantai	Kolom	Tulangan Terpasang	Luas Tulangan Terpasang (cm ²)	Luas Tulangan Perlu (cm ²)	Nilai banding
Dasar	N	20D-19	56,70	54,00	1,05
	P	14D-19	39,69	39,60	1,01
1	N	25D-19	70,88	68,40	1,04
	P	14D-19	39,69	39,60	1,01
2	N	16D-19	45,36	43,20	1,06
	P	14D-19	39,69	39,60	1,05
3	N	14D-19	39,69	36,00	1,10
	P	14D-19	39,69	36,00	1,10
4	N	14D-19	39,69	36,00	1,10
	P	14D-19	39,69	36,00	1,10
Atap	N	14D-19	39,69	36,00	1,10
	P	14D-19	39,69	36,00	1,10

6.8. Gaya Geser dan Tulangan Geser Kolom

Perhitungan momen nominal aktual kolom

6.8.1. Kolom N lantai dasar tulangan terpasang (20D-19)

$$A_s \text{ total} = 20 \pi 0,25^2 = 5670 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_{s \text{ total}}}{A_{gr}} = \frac{5670}{600^2} \times 100 \% = 1,575 \%$$

$$\Omega = \rho/\beta = 1,575/1 = 1,575 \% \quad \text{untuk } f_c' = 1 \text{ maka harga } \beta = 1,0$$

$$N_{UK-\text{min}} \text{ yang dianggap bekerja} = 2522,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{u, \text{katas}}}{\phi \cdot A_g \cdot 0,85 f_c'} = \frac{2522,3 \cdot 10^3}{\phi \cdot 600^2 \cdot 0,85 \cdot 25} = 0,5$$

$$\frac{M_{uk} / \phi}{A_g \cdot 0,85 \cdot f_c'} = 0,09 \quad \text{dengan } M_{nak}, k = M_{UK}/\phi = 280,97 \text{ kNm}$$

Untuk hasil selengkapnya lihat pada Tabel VI.21. dan Tabel VI.22.

Dari tabel VI.21 dan Tabel VI.22 menunjukkan bahwa jarak sengkang tulangan geser sudah memenuhi persyaratan, hal ini di lihat dari cek $(V_u, k/\phi)$ kurang dari $(V_c + V_s)$. Sehingga struktur kolom dapat menahan gaya geser yang terjadi.

Tabel IV.21. Gaya Geser Rencana Kolom N-5 dan KolomP-5

Lantai	Kolom	$M_{u,ka}$ (kNm)	$M_{u,kb}$ (kNm)	$V_{d,k}$ (kN)	$V_{l,k}$ (kN)	$V_{E,lox}$ (kN)	$V_{E,ky}$ (kN)	$V_{u,k}$ (kN)	$V_{u,k \times maks}$ (kN)	$V_{u,ky \text{ maks}}$ (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Dasar	N	137.12	168.580	18.570	2.040	192.650	215.83	105.41		
	P	137.13	168.590	18.570	2.040	192.650	215.41	105.42	558.825	365.686
1	N	578.14	471.894	31.130	2.870	187.760	209.59	362.08	560.209	365.149
	P	562.59	491.731	31.130	2.870	187.760	209.59	363.56	560.209	84.060
2	N	476.7	362.100	30.530	2.270	166.770	184.93	289.24	501.862	82.508
	P	501.75	311.9	30.530	2.270	166.770	184.85	280.57	501.963	106.800
3	N	441.8	332.000	31.080	2.430	135.170	149.51	266.83	414.517	115.806
	P	468.2	345.6	31.080	2.430	135.170	149.55	280.62	414.467	52.694
4	N	380.5	63.690	27.350	2.120	93.990	103.7	153.17	295.04	38.261
	P	399.7	28.85	27.350	2.120	93.990	103.43	147.78	295.38	70.750
Atap	N	179.1	92.900	47.590	3.690	43.070	192.65	93.793	-8.001	76.073
	P	189.6	82.100	47.590	3.690	43.070	47.76	93.69	174.56	193.354

Tabel VI.22. Gaya Geser dan Tulangan Geser Kolom N-5 dan P-5

Lantai	Kolom	$V_{u,k}$	$N_{u,k}$	V_c (kNm)	Tulangan Geser	V_s Terpasang	Check $V_{u,k}/\phi < V_c + V_s$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Dasar	N	105.41	454.10	17.091	Φ 06-110 mm	279.07	162.1692 < 296.16
	P	105.41	362.90	13.859	Φ 06-110 mm	279.07	162.1692 < 292.93
1	N	84.06	131.30	12.698	Φ 06-110 mm	279.07	129.3231 < 291.77
	P	82.508	101.60	10.052	Φ 06-110 mm	279.07	126.9354 < 289.12
2	N	106.8	48.60	5.3298	Φ 06-110 mm	279.07	164.3077 < 284.40
	P	115.806	37.50	4.3409	Φ 06-110 mm	279.07	178.1631 < 283.41
3	N	52.697	99.20	9.8379	Φ 06-110 mm	279.07	81.07231 < 288.91
	P	38.261	76.30	7.7977	Φ 06-110 mm	279.07	58.86308 < 286.87
4	N	70.75	124.80	12.119	Φ 06-110 mm	279.07	108.8462 < 291.19
	P	76.073	95.70	9.526	Φ 06-110 mm	279.07	117.0354 < 288.60
Atap	N	193.354	70.20	7.2542	Φ 06-110 mm	279.07	297.4677 < 286.32
	P	10.901	53.30	5.7486	Φ 06-110 mm	279.07	16.77077 < 284.82

Keterangan Tabel VI.21 :

- (1),(2) Struktur yang ditinjau
 (3),(4) Lihat Tabel VI.13. Momen Rencana Kolom N-5 dan Kolom P-5
 (5),(6),(7),(8) diperoleh dari hasil analisis struktur
 (9) $V_{u,k} = (M_{u,ka} + M_{u,kb})/h_n$
 (10) $V_k = 1.05 (V_{D,k} + V_{L,k} + 4/K (V_{E,kx} + 0,3 V_{E,ky}))$
 (11) $V_k = 1.05 (V_{D,k} + V_{L,k} + 4/K (0,3 V_{E,kx} + V_{E,ky}))$

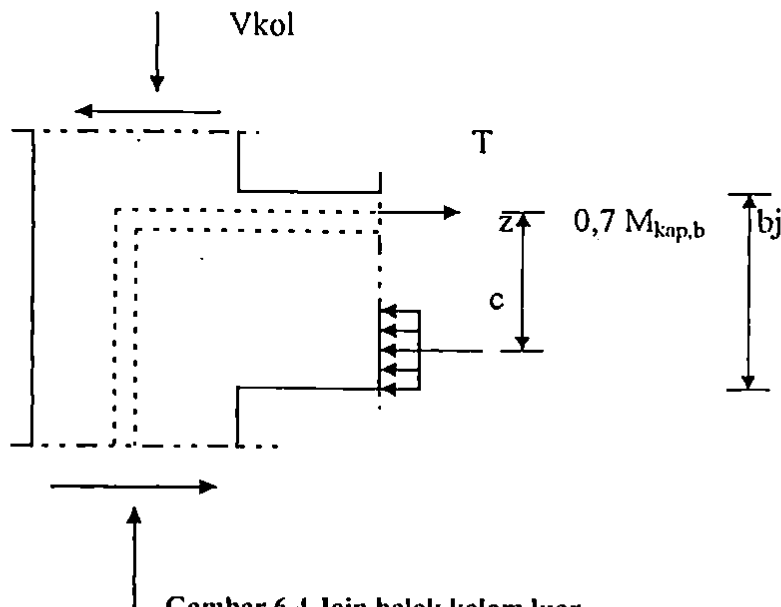
Keterangan Tabel VI.22

- (1),(2) Struktur yang ditinjau
 (3) Lihat Tabel VI.21 Gaya Geser Rencana Kolom N-5 dan P-5
 (4) Lihat Tabel VI.15 Gaya Aksial Rencana Kolom N-5 dan P-5
 Lihat Tabel VI.16 Gaya Aksial Maksimum Kolom N-5 dan P-5
 (5) $V_c = \{1 + N_u/14 A_g\} \{\sqrt{f_c'}/6\} . b_w . d$ (kN)
 (6) $S = A_v . f_y . d / (V_{u,k}/6) b_w . d$ (kN)
 (7) $V_s = A_v . f_y . d / s$ (kN)

6.9. Pertemuan Balok dan Kolom

6.9.1. Pertemuan Balok Kolom Luar

6.9.1.1. Perhitungan gaya-gaya dalam (kolom P-5, lantai 1)



$$V_{KOL} = \frac{0,7(l_{ki} / l_{ki}' \cdot M_{kap,ki} + l_{ka} / l_{ka}' \cdot M_{kap,k})}{0,5(h_{ka} + h_{kb})}$$

Karena pertemuan dengan kolom luar maka $M_{kap,ka} = 0,0$

$M_{nak,b} = 236,72 \text{ kNm}$ (Tabel VI.5)

$M_{kap,b} = \phi \cdot M_{nak,b} = 1,25 \cdot 236,72 = 295,9 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} T &= 0,7 \cdot \frac{M_{kap}}{z_{ka}} \\ &= 0,7 \cdot \frac{295,9}{0,50} \\ &= 376,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{KOL} = \frac{0,7(6/5,5 \cdot 376,6)}{0,5(3,5 + 3,5)} = 76,68 \text{ kN}$$

$$V_{j,h} = T - V_{KOL} = 376,6 - 76,68 = 299,9 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{j,h} &= d/hc \cdot V_{j,h} \\ &= \frac{0,55}{0,55} 299,9 = 299,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.9.1.2. Kontrol tegangan geser horisontal minimum

$$V_{j,h} = \frac{V_{j,h}}{b_j \cdot bc} < 1,5 \sqrt{f_c'}$$

Dengan lebar efektif pertemuan (b_j) diambil sebagai berikut :

Bila $b_c > b_b$, maka diambil nilai terkecil antara $b_j = b_c$ atau

$$b_j = b_b + 0,5 hc$$

Bila $b_b > b_c$, maka diambil nilai terkecil antara $b_j = b_b$ atau

$b_j = b_c + 0,5 hc$ dengan $b_c = 60 \text{ cm}$ dan $b_b = 55 \text{ cm}$, berarti

$$b_c > b_b \text{ maka : } b_j = b_b = 60 \text{ cm}$$

$$b_j = 60 + (0,5 \times 55) = 87,5 \text{ cm} \text{ dipakai } b_j \text{ } 60 \text{ cm}$$

$$V_{j,h} = \frac{299,9}{0,6 \times 0,6} = 833,05 \text{ kN/m}^2 = 0,833 \text{ N/mm}^2 < 1,05 \sqrt{f_c'}$$

$$0,833 \text{ N/mm}^2 < 1,5 \sqrt{25} = 7,5 \text{ N/mm}^2$$

6.9.1.3. Penulangan geser horisontal

$$N_u = 2325,8 \text{ kN}$$

$$N_u / A_g = 2325,8 / 0,6^2 = 6460,55 \text{ kN/m}^2 = 6,460 \text{ N/mm}^2 > 0,1.$$

$f_c' = 2,5 \text{ Mpa}$, jadi jarak $V_{c,h}$ dihitung menurut SKSNI

3.14.6-1.4 :

$$V_{c,h} = 2/3 \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} - (0,1 \cdot f_c')\right)} 0,6^2 = 19,286 \text{ kN}$$

$$V_{s,h} + V_{c,h} = V_{j,h}$$

$$V_{s,h} = V_{j,h} - V_{c,h} = 299,9 - 19,286 = 180,614 \text{ kN}$$

$$A_{j,v} = V_{s,h}/f_y = 180,614 \cdot 10^3 / 240 = 752,56$$

Digunakan sengkang rangkap Φ 10 mm luas tersedia 314 mm²

$$\text{Jumlah lapis sengkang } \frac{752,56}{314} = 2,39 \approx 4 \text{ lapis}$$

6.9.1.4. Penulangan geser vertikal

$$\begin{aligned} V_{c,v} &= A_s' \cdot V_{j,h} \cdot / A_s \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f_c'}\right) \\ &= 299,9 \cdot 10^3 \left(0,6 + \frac{2325,80 \times 1000}{600 \times 600 \times 25}\right) = 257,440 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{s,v} = V_{jv} - V_{c,v} = 299,9 - 257,440 = 42,46 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{j,v} &= \frac{V_{s,v}}{f_y} \\ &= \frac{42,46}{240} = 176,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan kolom terpasang 4D-19 = 1134,11 mm² > A_{j,v} = 176,9 mm²

6.9.1.5. Kontrol jarak tulangan vertikal

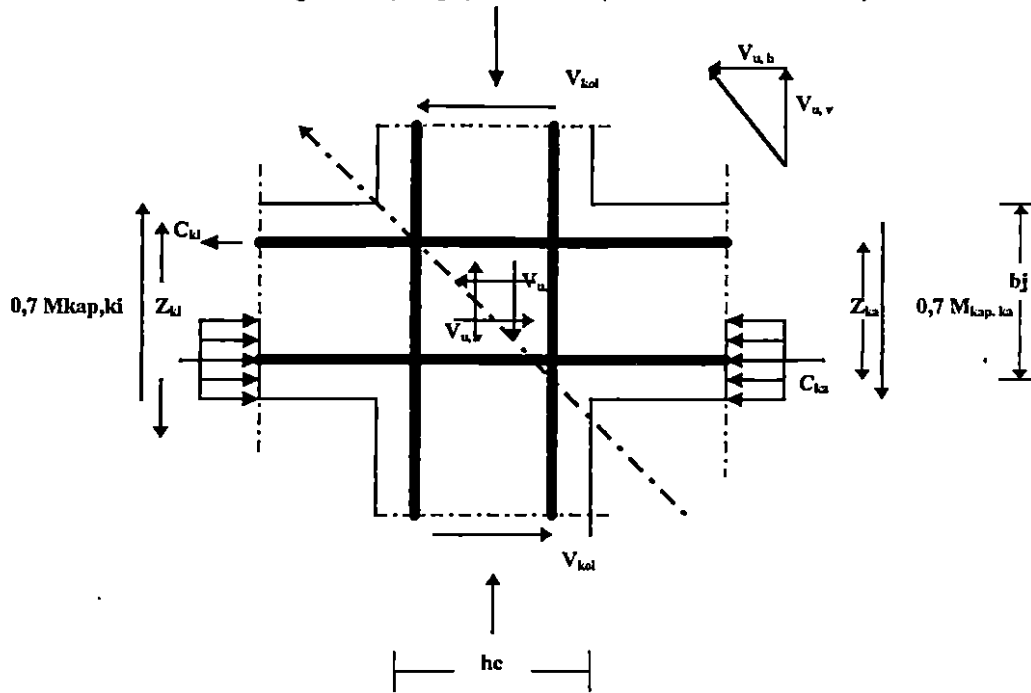
$$4 \cdot s = 600 - 2(50 + 10 + \frac{1}{2} 19) = 461 \text{ mm}$$

jadi jarak tulangan = 230,5 mm

terdapat satu tulangan kolom antara tiap sisi kolom

6.9.2. Pertemuan Balok Kolom Dalam

6.9.2.1 Perhitungan Gaya-gaya dalam (kolom P-5, lantai 1)



Gambar 6.5 Join balok kolom dalam

$$V_{KOL} = \frac{0,7(L_{ki} / l_{ki}' \cdot M_{kap,ki} + L_{ka} / L_{ka}' \cdot M_{kap,k})}{0,5(h_{ka} + h_{kb})}$$

$$M_{nak\ b\ kiri} = 236,72\text{ kNm}$$

$$M_{nak\ b\ kanan} = 266,26\text{ kNm}$$

$$M_{kap\ b\ kiri} = \phi \cdot M_{nak, b} = 1,25 \cdot 236,72 = 295,9\text{ kNm}$$

$$M_{kap\ b\ kanan} = \phi \cdot M_{nak, b} = 1,25 \cdot 266,26 = 332,825\text{ kNm}$$

$$C_{ki} = \frac{0,7 M_{kap,b}}{Z_{ki}}$$

$$= \frac{0,7 \cdot 295,9}{0,35} = 376,6\text{ kN}$$

$$T_{ka} = 0,7 \cdot (M_{kap,ka} / Z_{ka})$$

$$= 0,7 \cdot (332,825/0,35)$$

$$= 423,595 \text{ kN}$$

$$V_{\text{KOL}} = \frac{0,7 \left(\frac{6}{5,5} \cdot 295,9 + \frac{6}{5,5} \cdot 332,823 \right)}{0,5(5,5 + 5,5)} = 87,293 \text{ kN}$$

$$V_{j,h} = C_{ki} + T - V_{\text{KOL}}$$

$$= 376,6 + 423,595 - 87,293 = 712,902 \text{ kN}$$

$$V_{j,v} = d/hc \cdot V_{j,h}$$

$$= \frac{0,55}{0,55} \times 712,902 = 712,902 \text{ kN}$$

6.9.2.2. Kontrol tegangan geser horisontal minimum

$$V_{j,h} = \frac{V_{j,h}}{b_j \cdot bc} < 1,5 \sqrt{f_c'}$$

$$V_{j,h} = \frac{712,902}{0,6 \times 0,6} = 1980,3 \text{ kN/m}^2 = 1,98 \text{ N/mm}^2 < 1,5 \sqrt{f_c'}$$

$$1,98 \text{ N/mm}^2 < 1,5 \sqrt{25} = 7,5 \text{ N/mm}^2$$

6.9.2.3. Penulangan geser horisontal

$$N_u = 1795,80 \text{ kN (Tabel VI.14)}$$

$$N_u / A_g = 1795,80 / 0,6^2$$

$$= 4988,3 \text{ kN/m}^2 = 4,988 \text{ N/mm}^2 > 0,1 \cdot f_c' = 2,5 \text{ Mpa}$$

jadi jarak $V_{c,h}$ dihitung menurut SksNI 3.14.6-1.4 :

$$V_{c,vh} = 2/3 \sqrt{\left(\frac{N_{u,k}}{A_g} \right) - (0,1 \cdot f_c')} \times 0,6^2$$

$$= 847509,3 \text{ N} = 847,509 \text{ kN}$$

$$V_{s,h} + V_{c,h} = V_{j,h}$$

$$V_{s,h} = V_{j,h} - V_{c,h} = 1980 - 847,5 = 1132,5 \text{ kN}$$

$$A_{j,v} = \frac{V_{s,h}}{f_y} = \frac{1132,5 \cdot 10^3}{240} = 4718,75 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang rangkap Φ 10 mm

luas yang tersedia 314 mm^2

$$\text{Jumlah lapis sengkang} = \frac{4718,75}{314} = 15,03 \approx 15 \text{ lapis}$$

6.9.2.4. Penulangan geser vertikal

$$V_{c,v} = A_s' \cdot V_{j,h} \cdot \left\{ 0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f_c'} \right\}$$

$$= 1510,425 \cdot 10^3 \left(0,6 + \frac{1795,80 \cdot 10^3}{600 \cdot 600 \cdot 25} \right)$$

$$= 1207635 \text{ N} = 1207,635 \text{ kN}$$

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v}$$

$$= 1510,425 - 1207,635 = 302,782 \text{ kN}$$

$$A_{j,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y} = \frac{302,782 \cdot 1000}{240} = 1261,59 \text{ mm}^2$$

Tulangan kolom terpasang 5D-19 = $1417,6 \text{ mm}^2 > A_{j,v} = 1261,59 \text{ mm}^2$

6.9.2.5. kontrol jarak tulangan vertikal

$$2.s = 600 - 2(50 + 10 + \frac{1}{2} 19) = 461 \text{ mm}$$

jadi jarak tulangan = $230,5 \text{ mm}$

terdapat satu tulangan kolom antara tiap sisi kolom

5.10. Pendetailan

Sebagai contoh diambil balok lantai Dasar

6.10.1. Tulangan lapangan balok dasar

$$M_u = 3,52 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b_w \cdot d \cdot d} = \frac{3,52}{0,80 \cdot 25 \cdot 0,35^2} = 143,67$$

$$\text{diambil } \rho/\rho' = 1$$

Tabel tulangan lentur (lampiran) didapat $\rho' = \rho_{\min} = 1,4/f_y$

$$= 1,4/240 = 0,58 \%$$

$$A_s = 0,58 \% \cdot 250 \cdot 350 = 507,5 \text{ mm}^2 = 5,07 \text{ cm}^2$$

dipakai 3D-16 ($A_s = 6,032 \text{ cm}^2$)

6.10.2. Bidang momen dan gaya geser terfaktor pada balok lantai 1

Dari hasil analisis struktur untuk ketiga type pembebanan, didapat momen nominal aktual balok dan geser akibat beban grafitasi.

Pada struktur yang direncanakan dengan daktilitas tingkat tiga (daktilitas penuh). Pemutusan teoritis didasarkan pada diagram momen terfaktor yang telah dikalikan dengan *faktor overstrength*.

Pemutusan tulangan aktual didapat dengan memberikan pengalihan horisontal sebesar d ataupun $12 \cdot D_n$ dari bidang $\phi_u M_u$

6.10.3. Penentuan arak antar tulangan

Jarak antar tulangan sejajar yang diletakan

$$\text{selapis } \geq d_b = 25 \text{ mm}$$

diambil jarak bersih antar tulangan = 25 mm SKSNI 3.16.6-1

tulangan atas terpakai = 4D-16 dan 2D-10 (lihat Tabel VI.6) diletakan dalam dua lapis tulangan dengan jarak antar lapis = 25 mm

SKSNI 3.16.6-2

Tulangan bawah terpakai = 4D-16 dan 2D-10, diletakan dalam dua lapis tulangan.

6.10.4. Panjang penanaman kait sengkang tertutup untuk sengkang ϕ 10

mm diambil sebesar $6.d_b = 6.10 = 60$ mm SKSNI-3.16.6-2

6.10.5. Pendetailan tulangan momen positif (tulangan bawah)

Tulangan 4D-16 diteruskan sepanjang bentang

6.10.5.1. Tinjau pembatasan diameter pada titik balik

$$I_d \leq M_n / V_u + I_a \qquad \text{SKSNI 3.5.11-3}$$

$$\phi M_n 4D-16 = 0,8 \cdot 55,95 = 44,76 \text{ kNm}$$

6.10.5.2. Titik balik pada kondisi pembebanan $0,9 M_D + M_E$

$X_1 = 4,603$ dari muka tumpuan pada jarak ini tulangan

momen positif = 3D-16

$$M_n = 44,76 \text{ kNm}$$

$$V_u = 0,882 + \frac{5,5 - 4,603}{5,5} \times (50,95 + 0,882) = 9,335 \text{ kNm}$$

$$I_a = 12.d_b \geq d$$

$$I_a = 12 \cdot 25 = 300 \text{ mm} \leq d = 350 \text{ mm}$$

diambil $d = 350$ mm

$$l_d \leq 44,76/50,95 + 350 = 350,87 \text{ mm}$$

dipakai $l_d = 300 \text{ mm} < 350,87 \text{ mm}$

6.10.5.3. Titik balik pada kondisi $1,2 M_D + 1,6 M_L$

$X_1 = 1,772$ dari muka tumpuan pada jarak ini tulangan

momen positif = 3D-19

$M_n = 44,76 \text{ kNm}$

$$V_u = 0,882 + \frac{5,5 - 1,772}{5,5} \times (50,95 + 0,882) = 36,01 \text{ kNm}$$

$$l_a = 12 \cdot d_b \geq d$$

$$l_a = 12 \cdot 25 = 300 \text{ mm} \leq d = 350 \text{ mm}$$

diambil $d = 350 \text{ mm}$

$$l_d \leq 44,76/36,01 + 350 = 351,24 \text{ mm}$$

dipakai $l_d = 300 \text{ mm} < 351,24 \text{ mm}$

6.10.6. Pendetailan tulangan momen negatif (tulangan atas)

6.10.6.1. Panjang penyaluran tulangan tarik (l_{db})

$$l_{db} = \frac{0,02 \cdot A_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c'}} \geq 0,06 \cdot d_b \cdot f_y$$

$$A_b = 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$l_{db} = \frac{0,02 \cdot 201,06 \cdot 240}{\sqrt{25}} = 193,02 \text{ mm}$$

$$l_{db} = 193,02 \text{ mm} \geq 0,06 \cdot d_b \cdot f_y = 0,06 \cdot 16 \cdot 240 = 230,4 \text{ mm}$$

dipakai $l_{db} = 193,02 \text{ mm}$

faktor modifikasi yang dipakai

a) Faktor tulangan atas SKSNI 3.5.2-4.2

tinggi beton dibawah tulangan atas :

$$= 400 - 40 - 10 - 16 - 16 - 16 = 302 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

b) Faktor tulangan terpakai lebih dibandingkan dengan hasil

analisis

$$\frac{As_{perlu}}{As_{ada}} = \frac{5,07}{6,03} = 0,84$$

$$l_d = 1,4 \cdot 0,84 \cdot 193,02 = 327,90 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

6.10.6.2. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik l_{dh}

$$\text{Panjang penyaluran dasar } l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \cdot 16}{\sqrt{25}} = 320 \text{ mm}$$

Faktor modifikasi yang dapat digunakan adalah faktor pelindung beton, untuk kait 90° dengan pelindung beton pada perpanjangan yang tidak kurang dari 50 mm

$$l_{dh} = 0,7 \cdot l_{hb} = 0,7 \cdot 230 = 224 \text{ mm}$$

Tempat yang tersedia untuk penyaluran kait standar jika akan digunakan kait standar 90° yang dilingkup oleh sengkang $\Phi 10$ mm dan pelindung beton 40 mm adalah = $400 - 40 - 10 = 350 \text{ mm} > 224 \text{ mm}$, dipakai $l_{dh} = 350 \text{ mm}$

6.10.6.3. Pembengkokan kait standar 90° harus ditambah bagian yang lurus sepanjang $12 \cdot d_b$ pada ujung batang bebas.

$$12 \cdot d_b = 12 \cdot 16 = 192 \text{ mm}$$

dipakai perpanjangan kait = 200 mm

6.10.6.4. Menentukan lokasi pemutusan tulangan momen negatif

Tulangan atas akan diputus dari 4D-16 menjadi 3D-16

$$\text{Kapasitas momen } \phi \cdot M_n \text{ 4D-16} = 0,8 \cdot 64,76 = 51,808 \text{ kN}$$

$$\text{Kapasitas momen } \phi \cdot M_n \text{ 3D-16} = 0,8 \cdot 3,52 = 2,816 \text{ kN}$$

Kapasitas momen $\phi \cdot M_n$ 4D-16 = 51,808 kN pada bidang

ϕ_o . M_n terletak pada jarak 5,59 m dari as kolom. Dengan

memberikan pengalihan horisontal sebesar 410 mm di

dapat titik dimana tulangan 3D-16 yang putus mulai

mengembangkan kekuatan lelehnya. Jadi jarak pemutusan

$$\text{tulangan D-16} = 2,83 - 0,41 = 2,42 \text{ m atau } 4 - 2,42 = 1,58 \text{ m}$$

lebih besar dari panjang penyaluran $l_d = 410 \text{ mm}$. Sehingga

tulangan 3D-16 dapat mengembangkan kuat lelehnya.

Dipakai jarak pemutusan 0,8 m dari muka tumpuan.

6.10.6.5. Tulangan lentur diatas dihentikan pada daerah tarik karena itu harus memenuhi salah satu dari 3 ketentuan

SKSNI 3.5.10-5

$$V_c = 72,917 \text{ kN (Tabel VI.10)}$$

$$V_s = 11,997 \text{ kN (Tabel VI.10)}$$

$$V_u = 0,882 + \frac{5,5 - 0,9}{5,5} \times (50,95 + 0,882) = 42,757 \text{ kN}$$

$$V_n = 2/3 (V_c + V_s) = 2/3 (72,917 + 11,997) = 56,609 \text{ kN}$$

$$56,609 \text{ kN} \approx \frac{V_u}{\phi} = \frac{42,757}{0,6} = 71,262 \text{ kN}$$

6.10.6.6. Kapasitas momen $\phi \cdot M_n$ 3D-16 = $0,8 \cdot 3,52 = 2,816$ kN

pada bidang ϕ_o M_n terletak pada jarak 3,686 m dari panjang bersih kolom. Untuk bisa mengembangkan kuat lelehnya pemutusan digeser sejarak panjang penyaluran dari pemutusan sebelumnya ($0,82 + 0,41 = 1,23$ m dari permukaan tumpuan)

Tulangan lentur tersebut di atas dihentikan pada daerah tarik karena itu harus memenuhi salah satu dari tiga ketentuan. SKSNI 3.5.10-5

$$V_u = 0,882 + \frac{5,5 - 1,23}{5,5} \times (50,95 + 0,882) = 39,757 \text{ kN}$$

$$V_c = 72,917 \text{ kN (Tabel VI.11)}$$

$$V_s = 11,997 \text{ kN (Tabel VI.11)}$$

$$V_n = 2/3 (V_c + V_s) = 2/3 (72,917 + 11,997) = 56,609 \text{ kN}$$

$$281,189 \text{ kN} \approx \frac{V_u}{\phi} = \frac{79,757}{0,6} = 66,25 \text{ kN}$$

6.10.6.7. Tulangan yang menerus sepanjang bentang 3D-16 = 6,033

$$\text{cm}^2 > 1/3 \text{ luas tulangan total} = 1/3 \cdot 8,10 = 2,70 \text{ cm}^2$$

SKSNI 3.5.12-3

BAB VII

PEMBAHASAN

Dari hasil input dan output program SAP-90 dan SAPCON, dapat dilihat hasil analisis struktur dan desain penulangan kolom dan balok. Dengan luas tulangan yang ada pada output SAPCON, dapat diperbandingkan dengan yang ada dilapangan.

Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan struktur bangunan di dalam menahan beban yang bekerja baik beban mati, beban hidup maupun beban gempa.

7.1. Perbandingan Tulangan Balok

7.1.1. Perbandingan Tulangan Balok Portal N

Tabel VII.1. Perbandingan Tulangan Tumpuan Balok Portal N

Balok Lantai	Dimensi Balok (cm)	Tulangan		Tulangan		Nilai Banding %	Nilai Banding
		Terpasang Hasil Analisis (cm ²)		Terpasang pada Gambar (cm ²)			
Dasar	40x25	Atas	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	Atas	4D16 = 8,04 -	100	sama
		Bawah	4D16 = 8,04 2D10 = 1,57	Bawah	4D16 = 8,04 -	100	sama
1	60x40	Atas	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	Atas	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	120 100	lebih besar sama
		Bawah	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	Bawah	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	100 100	sama sama
2	60x30	Atas	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	Atas	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	125 100	lebih besar sama
		Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	100 100	sama sama
3	60x30	Atas	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	Atas	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	150 100	lebih besar sama
		Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	100 100	sama sama
4	60x30	Atas	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	Atas	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	150 100	sama sama
		Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	100 100	sama sama
Atap	60x30	Atas	6D16 = 12,06 4D10 = 3,14	Atas	5D16 = 10,05 4D10 = 3,14	120 100	sama sama
		Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	Bawah	4D16 = 8,04 4D10 = 3,14	100 100	sama sama

Tabel VII.2. Perbandingan Tulangan Lapangan Balok Portal N

Balok Lantai	Dimensi Balok (cm)	Tulangan		Tulangan		Nilai Banding %	Nilai Banding
		Terpasang Hasil Analisis (cm ²)		Terpasang pada Gambar (cm ²)			
Dasar	40/25	Atas	3D16 = 6.03	Atas	4D16 = 8.04	100	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
1	60/40	Atas	3D16 = 6.03	Atas	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
2	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
3	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
4	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
Atap	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Atas	4D16 = 8.04	75	lebih kecil

7.1.2. Perbandingan Tulangan Balok Portal 5

Tabel VII.3. Perbandingan Tulangan Balok Portal 5

Balok Lantai	Dimensi Balok (cm)	Tulangan		Tulangan		Nilai Banding %	Nilai Banding
		Terpasang Hasil Analisis (cm ²)		Terpasang pada Gambar (cm ²)			
Dasar	40/25	Atas	4D16 = 8.04 2D10 = 1.60	Atas	4D16 = 8.04	100	sama
		Bawah	4D16 = 8.04 2D10 = 1.57	Bawah	4D16 = 8.04	100	sama
1	60/40	Atas	15D16 = 30.15 2D10 = 1.60	Atas	14D16 = 28.15 2D10 = 1.60	107	lebih besar
		Bawah	6D16 = 12.4 4D10 = 3.14	Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	119	sama
2	60/30	Atas	14D16 = 28.15 2D10 = 1.60	Atas	16D16 = 32.17 2D10 = 1.60	87.5	lebih kecil
		Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	100	sama
3	60/30	Atas	14D16 = 28.15 2D10 = 1.60	Atas	16D16 = 32.17 2D10 = 1.60	87.5	lebih kecil
		Bawah	6D16 = 12.4 2D10 = 1.60	Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	119	lebih besar
4	60/30	Atas	14D16 = 28.15 2D10 = 1.60	Atas	16D16 = 32.17 2D10 = 1.60	87.5	lebih kecil
		Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	100	sama
Atap	60/30	Atas	6D16 = 12.06 2D10 = 1.60	Atas	8D16 = 16.02 2D10 = 1.60	75.3	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.02 2D10 = 1.607	Bawah	5D16 = 10.4 2D10 = 1.60	57.9	lebih kecil

Tabel VII.4. Perbandingan Tulangan Lapangan Balok Portal 5

Balok Lantai	Dimensi Balok (cm)	Tulangan		Tulangan		Nilai Banding %	Nilai Banding
		Terpasang Hasil Analisis (cm ²)		Terpasang pada Gambar (cm ²)			
Dasar	40/25	Atas	3D16 = 5.03	Atas	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	4D16 = 8.04	75	lebih kecil
1	60/40	Atas	3D16 = 6.03	Atas	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	9D16 = 18.09	33.3	lebih kecil
2	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	9D16 = 18.09	33.3	lebih kecil
3	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	9D16 = 18.09	33.3	lebih kecil
4	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	9D16 = 18.09	33.3	lebih kecil
Atap	60/30	Atas	3D16 = 6.03	Atas	5D16 = 10.05	60	lebih kecil
		Bawah	3D16 = 6.03	Bawah	6D16 = 12.06	33.3	lebih kecil

7.1.3. Perbandingan Tulangan Geser Balok Portal N.

Tabel VII.5. Perbandingan Tulangan Geser Balok Portal N

Lantai		Terpasang Hasil Analisis	Terpasang Pada Gambar	Nilai Banding (%)	Nilai Banding
Dasar	Dsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 15 mm	100	sama
	Lsp	φ 10 - 10 mm	φ 10- 15 mm	150	
1	Dsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 15 mm	100	sama
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	
2	Dsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 10 mm	66,7	lebih kecil
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 15 mm	75	
3	Dsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 10 mm	66,7	sama
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 15 mm	75	
4	Dsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 10 mm	66,7	lebih kecil
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 15 mm	75	
Atap	Dsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	sama
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	

*Dsp = Dalam sendi plastis

Lsp = Luar sendi plastis

7.1.4. Perbandingan Tulangan Geser Balok Portal 5

Tabel VII.6 Perbandingan Tulangan Geser Balok Portal 5

Lantai		Terpasang Hasil Analisis	Terpasang Pada Gambar	Nilai Banding (%)	Nilai Banding
Dasar	Dsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 15 mm	100	sama
	Lsp	φ 10 - 15 mm	φ 10- 15 mm	100	
1	Dsp	φ 10 - 05 mm	φ 10- 07 mm	140	lebih besar
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	
2	Dsp	φ 10 - 05 mm	φ 10- 07 mm	140	lebih besar
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	
3	Dsp	φ 10 - 05 mm	φ 10- 07 mm	140	lebih besar
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	
4	Dsp	φ 10 - 05 mm	φ 10- 07 mm	140	lebih besar
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	
Atap	Dsp	φ 10 - 05 mm	φ 10- 07 mm	140	lebih besar
	Lsp	φ 10 - 20 mm	φ 10- 20 mm	100	

*Dsp = Dalam sendi plastis

Lsp = Luar sendi plastis

7.2. Perbandingan Tulangan Kolom

7.2.1. Perbandingan Tulangan Kolom P-5 dan Kolom N-5 Akibat $M_{uk,x}$ dan $N_{u,kx}$

Tabel VII.7. Perbandingan Tulangan Kolom P-5 dan Kolom N-5 Akibat $M_{uk,x}$ dan $N_{u,kx}$

Lantai	As	Terpasang Hasil Analisis (cm ²)	Terpasang Pada Gambar (cm ²)	Nilai Banding (%)	Nilai Banding
Dasar	N	20D-19 = 56,71	20D-19 = 56,71	100	sama
	P	10D-19 = 28,35	20D-19 = 56,71	49,9	lebih kecil
1	N	20D-19 = 56,71	20D-19 = 56,71	100	sama
	P	14D-19 = 39,69	20D-19 = 56,71	69,9	lebih kecil
2	N	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
	P	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
3	N	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
	P	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
4	N	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
	P	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
Atap	N	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar
	P	9D-19 = 25,51	8D-19 = 22,68	112	lebih besar

7.2.2. Perbandingan Tulangan Kolom P-5 dan Kolom N-5 Akibat $M_{uk,y}$ dan $N_{u,ky}$

Tabel VII.8. Perbandingan Tulangan Kolom P-5 dan Kolom P-5 Akibat $M_{uk,y}$ dan $N_{u,ky}$

Lantai	As	Terpasang Hasil Analisis (cm ²)	Terpasang Pada Gambar (cm ²)	Nilai Banding (%)	Nilai Banding
Dasar	3	20D-19 = 56,71	20D-19 = 56,71	100	sama
	5	14D-19 = 39,69	20D-19 = 56,71	49,9	lebih kecil
1	3	25D-19 = 70,88	20D-19 = 56,71	100	sama
	5	14D-19 = 39,69	20D-19 = 56,71	49,9	lebih kecil
2	3	16D-19 = 45,36	8D-19 = 22,68	200	lebih besar
	5	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar
3	3	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar
	5	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar
4	3	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar
	5	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar
Atap	3	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar
	5	14D-19 = 39,69	8D-19 = 22,68	175	lebih besar