

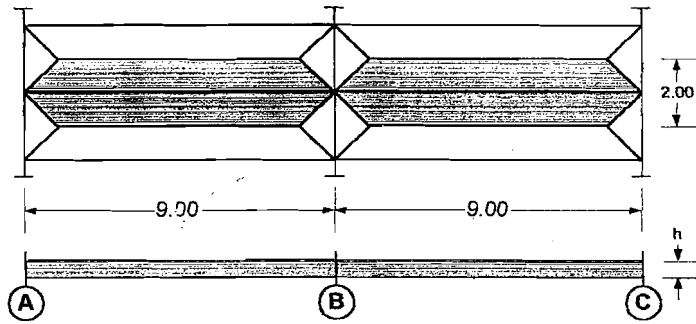
BAB V

ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR

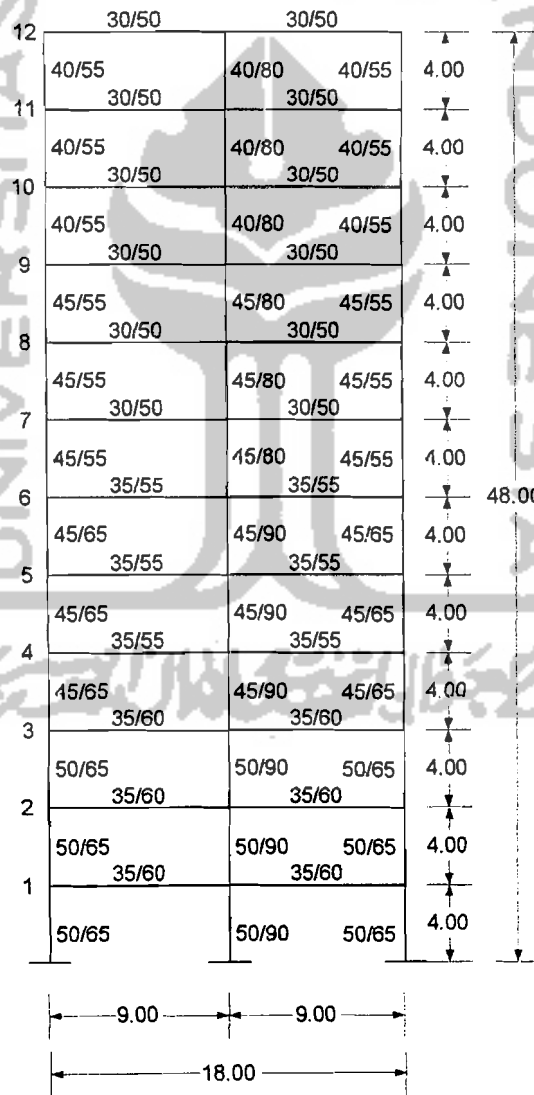
Pada bab ini akan dilakukan analisis struktur yang meliputi perhitungan beban-beban yang akan bekerja pada struktur utama (balok dan kolom), kemudian dilakukan analisis struktur dengan program bantu komputer. Dari *out put* program bantu akan diketahui gaya-gaya yang terjadi pada struktur demikian pula momen-momen yang bekerja pada struktur. Dengan gaya dan momen-momen yang bekerja pada struktur tersebut akan dilakukan desain struktur dengan metode desain kapasitas (daktilitas penuh), baik pada struktur yang menggunakan *base isolation* maupun struktur yang *non-base isolation*.

5.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan beban yang akan bekerja pada struktur mengacu pada peraturan yang berlaku. Pada penelitian numeris ini, struktur direncanakan akan digunakan sebagai gedung perkantoran dengan beban hidup yang bekerja 250 kg/m^2 . Pada pendistribusian beban digunakan *envelope method*, dengan metode tersebut beban yang akan di perhitungkan dan diekivalenkan menjadi beban terbagi rata, seperti pada gambar 5.1 dengan dimensi balok dan kolom seperti terlihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.1 Pembebanan metode amplop pada balok



Gambar 5.2 Dimensi komponen struktur

5.1.1 Perhitungan Beban Akibat Gaya Gravitasi

Perhitungan beban gravitasi yang akan bekerja pada struktur dilakukan pada tiap lantai sebagai berikut ini.

1. Lantai 1,2 dan 3.

a. Beban hidup

$$h = \left[t - \frac{4}{3} \cdot \frac{t^3}{Ln^2} \right] \cdot 2$$

$$h = \left[2 - \frac{4}{3} \cdot \frac{2^3}{9^2} \right] \cdot 2$$

$$h = 3.737 \text{ m}$$

$$W_L \text{ lantai} = 250 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPI 1987)}$$

$$W_{eq} = 250 \cdot 9,81 / 1000 \cdot 1,3,737 = 9,163 \text{ kN/m (berlaku untuk semua lantai kecuali atap).}$$

b. Beban mati

$$1) \text{ Plat} : 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 3,737 = 10,767 \text{ kN/m}$$

$$2) \text{ Plafon} : (1 \cdot 18 \cdot 9,81/1000) \cdot 3,737 = 0,660 \text{ kN/m}$$

$$3) \text{ Spesi} : 1 \cdot 0,01 \cdot 21 \cdot 3,737 = 0,785 \text{ kN/m}$$

$$4) \text{ Tegel} : 1 \cdot 0,01 \cdot 24 \cdot 3,737 = 0,897 \text{ kN/m}$$

$$5) \text{ Dinding} : 4 \cdot 250 \cdot 9,81 / 1000 = 9,810 \text{ kN/m}$$

$$6) \text{ Balok} : 1 \cdot 0,6 \cdot 0,35 \cdot 24 = 5,040 \text{ kN/m}$$

$$W_d \text{ total} = 27,959 \text{ kN/m}$$

2. Lantai 4, 5 dan 6.

a. Beban hidup

$$W_L \text{ lantai} = 250 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPI 1987)}$$

$$W_{eq} = 250 \cdot 9,81 / 1000 \cdot 1,3,737 = 9,163 \text{ kN/m (berlaku untuk semua lantai kecuali atap).}$$

b. Beban mati

1) Plat	: $1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 3,737$	= 10,767 kN/m
2) Plafon	: $(1 \cdot 18 \cdot 9,81/1000) \cdot 3,737$	= 0,660 kN/m
3) Spesi	: $1 \cdot 0,01 \cdot 21 \cdot 3,737$	= 0,785 kN/m
4) Tegel	: $1 \cdot 0,01 \cdot 24 \cdot 3,737$	= 0,897 kN/m
5) Dinding	: $4 \cdot 250 \cdot 9,81 / 1000$	= 9,810 kN/m
6) Balok	: $1 \cdot 0,55 \cdot 0,35 \cdot 24$	= 4,620 kN/m
	$W_d \text{ total}$	= 27,539 kN/m

3. Lantai 7, 8, 9, 10 dan 11.

a. Beban hidup

$$W_L \text{ lantai} = 250 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPI 1987)}$$

$$W_{eq} = 250 \cdot 9,81 / 1000 \cdot 1,3,737 = 9,163 \text{ kN/m (berlaku untuk semua lantai kecuali atap)}$$

b. Beban mati

1) Plat	: $1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 3,737$	= 10,767 kN/m
2) Plafon	: $(1 \cdot 18 \cdot 9,81/1000) \cdot 3,737$	= 0,660 kN/m
3) Spesi	: $1 \cdot 0,01 \cdot 21 \cdot 3,737$	= 0,785 kN/m
4) Tegel	: $1 \cdot 0,01 \cdot 24 \cdot 3,737$	= 0,897 kN/m
5) Dinding	: $4 \cdot 250 \cdot 9,81 / 1000$	= 9,810 kN/m
6) Balok	: $1 \cdot 0,30 \cdot 0,50 \cdot 24$	= 3,600 kN/m
	$W_d \text{ total}$	= 26,519 kN/m

4. Lantai 12 (atap)

a. Beban hidup

$$W_L \text{ lantai} = 100 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPI 1987)}$$

$$W_{eq} = 100 \cdot 9,81 / 1000 \cdot 1,3,737 = 3,666 \text{ kN/m}$$

b. Beban mati

$$1) \text{ Plat} : 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 3,737 = 10,767 \text{ kN/m}$$

$$2) \text{ Plafon} : (1 \cdot 18 \cdot 9,81/1000) \cdot 3,737 = 0,660 \text{ kN/m}$$

$$3) \text{ Balok} : 1 \cdot 0,30 \cdot 0,50 \cdot 24 = 3,600 \text{ kN/m}$$

$$W_a \text{ total} = 15,027 \text{ kN/m}$$

5.1.2 Perhitungan massa tingkat

Anggapan yang dipakai dalam analisa penentuan massa adalah *lumped mass*. Massa dihitung pada tiap lantai dan diletakkan pada pusat massa lantai. Adapun perhitungan massa tiap lantai seperti dijelaskan berikut ini.

1. Massa lantai 1 dan 2

- Plat	$= 0,12 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 2400$	$= 20736 \text{ kg}$
- Dinding	$= 4 \cdot 250 \cdot 30$	$= 30000 \text{ kg}$
- Plafon	$= 4 \cdot 18 \cdot 18$	$= 1296 \text{ kg}$
- Penutup lantai	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2400$	$= 1728 \text{ kg}$
- Spesi	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2100$	$= 1512 \text{ kg}$
- Balok	$= 30 \cdot 0,35 \cdot 0,48 \cdot 2400$	$= 12096 \text{ kg}$
- Kolom	$= 2400 \cdot 4 \cdot (0,5 \cdot (2 \cdot 0,65 + 0,9))$	$= 10560 \text{ kg}$
- Beban hidup	$= 250 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 0,3$	$= 5400 \text{ kg}$
		<hr/>
		$W = 83328 \text{ kg}$
		$= 817,447 \text{ kN}$

$$m_{1,2} = \frac{w}{g} = \frac{817,447}{9,81} = 83,328 \text{ kN.dt}^2/\text{m}$$

2. Massa lantai 3.

- Plat	$= 0,12 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 2400$	$= 20736 \text{ kg}$
- Dinding	$= 4 \cdot 250 \cdot 30$	$= 30000 \text{ kg}$
- Plafon	$= 4 \cdot 18 \cdot 18$	$= 1296 \text{ kg}$
- Penutup lantai	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2400$	$= 1728 \text{ kg}$
- Spesi	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2100$	$= 1512 \text{ kg}$
- Balok	$= 30 \cdot 0,35 \cdot 0,48 \cdot 2400$	$= 12096 \text{ kg}$
- Kolom	$= 2400 \cdot 2 [(0,5(2,0,65 + 0,9) + (0,45(2,0,65 + 0,9)))]$ $= 10032 \text{ kg}$	
- Beban hidup	$= 250 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 0,3$	$= 5400 \text{ kg}$
		$W = 82800 \text{ kg}$
		$= 812,268 \text{ kN}$

$$m_3 = \frac{w}{g} = \frac{812,268}{9,81} = 82,80 \text{ kN.dt}^2/\text{m}$$

3. Massa lantai 4 dan 5.

- Plat	$= 0,12 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 2400$	$= 20736 \text{ kg}$
- Dinding	$= 4 \cdot 250 \cdot 30$	$= 30000 \text{ kg}$
- Plafon	$= 4 \cdot 18 \cdot 18$	$= 1296 \text{ kg}$
- Penutup lantai	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2400$	$= 1728 \text{ kg}$
- Spesi	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2100$	$= 1512 \text{ kg}$
- Balok	$= 30 \cdot 0,35 \cdot 0,43 \cdot 2400$	$= 10836 \text{ kg}$
- Kolom	$= 2400 \cdot 4 \cdot (0,45 \cdot (2 \cdot 0,65 + 0,9))$	$= 9504 \text{ kg}$
- Beban hidup	$= 250 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 0,3$	$= 5400 \text{ kg}$

$$W = 81012 \text{ kg}$$

$$= 794,728 \text{ kN}$$

$$m_{4,5} = \frac{w}{g} = \frac{794,728}{9,81} = 81,012 \text{ kN} \cdot \text{dt}^2 / \text{m}$$

4. Massa lantai 6.

- Plat	$= 0,12 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 2400$	$= 20736 \text{ kg}$
- Dinding	$= 4 \cdot 250 \cdot 30$	$= 30000 \text{ kg}$
- Plafon	$= 4 \cdot 18 \cdot 18$	$= 1296 \text{ kg}$
- Penutup lantai	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2400$	$= 1728 \text{ kg}$
- Spesi	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2100$	$= 1512 \text{ kg}$
- Balok	$= 30 \cdot 0,35 \cdot 0,43 \cdot 2400$	$= 10836 \text{ kg}$
- Kolom	$= 2400 \cdot 2$	
	$[(0,45(2 \cdot 0,65 + 0,9)) + (0,45(2 \cdot 0,55 + 0,8))]$	
	$= 8856 \text{ kg}$	
- Beban hidup	$= 250 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 0,3$	$= 5400 \text{ kg}$
		$W = 80364 \text{ kg}$

$$= 788,371 \text{ kN}$$

$$m_6 = \frac{w}{g} = \frac{788,371}{9,81} = 80,364 \text{ kN} \cdot \text{dt}^2 / \text{m}$$

5. Massa lantai 7 dan 8.

- Plat	$= 0,12 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 2400$	$= 20736 \text{ kg}$
- Dinding	$= 4 \cdot 250 \cdot 30$	$= 30000 \text{ kg}$
- Plafon	$= 4 \cdot 18 \cdot 18$	$= 1296 \text{ kg}$
- Penutup lantai	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2400$	$= 1728 \text{ kg}$
- Spesi	$= 4 \cdot 18 \cdot 0,01 \cdot 2100$	$= 1512 \text{ kg}$

- Balok	= 30 . 0,30 . 0,38 . 2400	= 8208 kg
- Kolom	= 2400 . 4 . (0,45 . (2 . 0,55 + 0,8))	= 8208 kg
- Beban hidup	= 250 . 18 . 4 . 0,3	<u>= 5400 kg</u>
		W = 77088 kg
		= 756,233 kN

$$m_{7,8} = \frac{w}{g} = \frac{756,233}{9,81} = 77,088 \text{ kN} \cdot \text{dt}^2 / \text{m}$$

6. Massa lantai 9.

- Plat	= 0,12 . 18 . 4 . 2400	= 20736 kg
- Dinding	= 4 . 250 . 30	= 30000 kg
- Plafon	= 4 . 18 . 18	= 1296 kg
- Penutup lantai	= 4 . 18 . 0,01 . 2400	= 1728 kg
- Spesi	= 4 . 18 . 0,01 . 2100	= 1512 kg
- Balok	= 30 . 0,30 . 0,38 . 2400	= 8208 kg
- Kolom	= 2400 . 2	
	[(0,45(2.0,55 + 0,8)) + (0,40(2.0,55 + 0,8))]	
	= 7752 kg	
- Beban hidup	= 250 . 18 . 4 . 0,3	<u>= 5400 kg</u>

$$W = 76632 \text{ kg}$$

$$= 751,760 \text{ kN}$$

$$m_9 = \frac{w}{g} = \frac{751,760}{9,81} = 76,632 \text{ kN} \cdot \text{dt}^2 / \text{m}$$

7. Massa lantai 10 dan 11.

- Plat	= 0,12 . 18 . 4 . 2400	= 20736 kg
- Dinding	= 4 . 250 . 30	= 30000 kg

- Plafon	= 4 . 18 . 18	= 1296 kg
- Penutup lantai	= 4 . 18 . 0,01 . 2400	= 1728 kg
- Spesi	= 4 . 18 . 0,01 . 2100	= 1512 kg
- Balok	= 30 . 0,30 . 0,38 . 2400	= 8208 kg
- Kolom	= 2400 . 4 . (0,40 . (2 . 0,55 + 0,8))	= 7296 kg
- Beban hidup	= 250 . 18 . 4 . 0,3	= 5400 kg

$$W = 76176 \text{ kg}$$

$$= 747,287 \text{ kN}$$

$$m_{10,11} = \frac{w}{g} = \frac{747,287}{9,81} = 76,176 \text{ kN.dt}^2/\text{m}$$

8. Massa lantai 12 (atap).

- Plat	= 0,12 . 18 . 4 . 2400	= 20736 kg
- Plafon	= 4 . 18 . 18	= 1296 kg
- Balok	= 30 . 0,30 . 0,38 . 2400	= 8208 kg
- Kolom	= 2400 . 4 . (0,40 . (2 . 0,55 + 0,8))	= 10560 kg
- Beban hidup	= 100 . 18 . 4 . 0,3	= 2160 kg

$$W = 36048 \text{ kg}$$

$$= 353,630 \text{ kN}$$

$$m_{12} = \frac{w}{g} = \frac{353,630}{9,81} = 36,048 \text{ kN.dt}^2/\text{m}$$

Untuk pembebanan akibat beban gravitasi dan perhitungan massa tingkat untuk struktur yang tidak menggunakan isolasi pada base-nya sama, pembebanannya sama dengan struktur yang menggunakan isolasi dasar karena dimensi dan kegunaan bangunan adalah sama.

5.2 Desain struktur beton bertulang

Desain struktur yang dilakukan pada penelitian numeris ini didasarkan pada hasil analisis struktur yang memberikan *out put* berupa momen-momen yang bekerja pada struktur, demikian pula dengan gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut. Desain struktur dilakukan pada kedua jenis struktur yang diteliti, yaitu struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) dan struktur yang dipakai sebagai pembanding yaitu struktur yang tidak menggunakan isolasi dasar pada *base*-nya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan isolasi dasar tersebut. Desain struktur dilakukan meliputi desain balok, kolom dan pertemuan balok dan kolom.

5.2.1 Desain Balok

Pada desain balok akan diuraikan perhitungan momen rencana balok, penulangan balok, momen nominal aktual dan desain sengkang balok.

5.2.1.1 Momen Balok

Momen balok adalah momen yang diperoleh dari hasil analisis struktur dengan program bantuau SAP 2000. Gaya-gaya yang didapat adalah gaya-gaya yang bekerja pada as kolom yang kemudian dikombinasikan sesuai dengan SKSNI-T15-1991-03 untuk mendapatkan momen rencana balok. Momen balok yang dirinjau hanya momen balok tepi kiri struktur karena struktur yang didesain adalah struktur dua bentang dengan panjang bentang dan dimensi balok yang sama.

5.2.1.2 Momen Rencana Balok

Momen rencana balok adalah momen yang didasarkan pada hasil analisis struktur yang terletak pada as kolom, muka kolom, dan muka kolom dengan redistribusi dengan kombinasi momen sesuai dengan SKSNI T15-1991-03,

sebagaimana yang terlihat pada Tabel 5.1.a, Tabel 5.1.b, Tabel 5.1.c dan Tabel 5.1.d yang didapat dari *out-put* SAP2000.

Tabel 5.1.a Kombinasi momen balok kiri di as kolom struktur dengan *Rubber*

Bearing

Balok Lantai	Letak	$1.2M_D + 1.6M_L$ (kNm)	$0.9^*(M_D \pm M_E)$ (kNm)		$1.05^*(M_D + M_L \pm M_E)$ (kNm)	
			E kiri	E kanan	E kiri	E kanan
1	Tump. Ki	-282.268	64.414	-358.740	41.267	-452.412
	Lap.	174.656	96.478	85.644	133.522	120.882
	Tump. Ka	-342.532	-379.336	22.156	-15.263	-483.671
2	Tump. Ki	-314.916	93.906	-422.280	71.757	-530.460
	Lap.	167.849	89.987	85.034	125.132	119.354
	Tump. Ka	-323.500	-431.711	94.377	-542.491	71.278
3	Tump. Ki	-312.076	109.230	-434.594	89.963	-544.498
	Lap.	169.857	89.496	87.629	124.798	122.620
	Tump. Ka	-322.323	-441.846	105.711	-554.166	84.650
4	Tump. Ki	-314.684	58.654	-385.377	30.287	-487.749
	Lap.	166.677	87.326	85.679	122.095	120.174
	Tump. Ka	-316.054	-387.657	59.668	-490.616	31.263
5	Tump. Ki	-319.392	46.926	-378.538	16.034	-480.340
	Lap.	166.358	86.977	85.699	121.649	120.158
	Tump. Ka	-311.985	-375.888	52.131	-476.394	22.962
6	Tump. Ki	-315.677	36.627	-364.289	4.445	-463.291
	Lap.	168.047	88.506	85.951	123.630	120.650
	Tump. Ka	-312.321	-365.085	40.940	-463.821	9.875
7	Tump. Ki	-305.077	-21.731	-291.588	-63.230	-378.064
	Lap.	162.910	84.365	82.774	118.698	116.841
	Tump. Ka	-308.864	-294.832	-21.792	-382.473	-63.925
8	Tump. Ki	-307.992	-39.340	-276.901	-84.156	-361.309
	Lap.	162.505	84.075	82.670	118.304	116.664
	Tump. Ka	-306.758	-277.430	-37.059	-361.901	-81.468
9	Tump. Ki	-307.033	-62.923	-252.416	-111.528	-332.603
	Lap.	163.003	84.218	83.022	118.536	117.141
	Tump. Ka	-306.721	-253.144	-61.259	-333.575	-109.709
10	Tump. Ki	-306.071	-90.609	-223.526	-143.766	-298.835
	Lap.	163.451	84.343	83.417	118.722	117.642
	Tump. Ka	-306.786	-224.668	-89.898	-300.336	-143.105
11	Tump. Ki	-306.970	-117.555	-198.562	-175.037	-269.545
	Lap.	163.349	83.912	83.482	118.275	117.774
	Tump. Ka	-306.092	-197.591	-115.725	-268.801	-173.290
12	Tump. Ki	-154.268	-62.938	-108.672	-89.123	-142.479
	Lap.	87.211	49.800	49.056	66.490	65.622
	Tump. Ka	-153.646	-111.618	-64.396	-144.516	-89.423

Tabel 5.1.b Kombinasi momen balok kiri di as kolom struktur *non-Rubber Bearing*

Balok Lantai	Letak	$1.2M_D+1.6M_L$ (kNm)	$0.9*(M_D\pm M_E)$ (kNm)		$1.05*(M_D+M_L\pm M_E)$ (kNm)	
			E kiri	E kanan	E kiri	E kanan
1	Tump. Ki	-298.7510	14.7340	-326.2479	-18.6711	-416.4833
	Lap.	170.4883	89.5574	88.2185	124.9472	123.3851
	Tump. Ka	-334.3850	-346.1719	-2.5123	-43.0655	-444.0017
2	Tump. Ki	-311.2651	63.2390	-387.8060	36.4170	-489.8021
	Lap.	168.7640	88.8987	87.0768	123.9724	121.8468
	Tump. Ka	-325.3194	-396.9604	57.7284	28.3037	-502.1666
3	Tump. Ki	-312.8843	80.8667	-407.0736	56.7756	-512.4881
	Lap.	169.6464	89.5985	87.3078	124.8920	122.2195
	Tump. Ka	-321.9354	-414.1261	78.3958	52.8289	-521.7799
4	Tump. Ki	-314.5237	44.1758	-370.7315	13.4156	-470.6429
	Lap.	166.7130	87.2375	85.8042	121.9969	120.3247
	Tump. Ka	-316.1433	-372.9271	44.8456	13.9598	-473.4417
5	Tump. Ki	-319.4073	41.0910	-372.7189	9.2252	-473.5530
	Lap.	166.3496	86.9562	85.7110	121.6239	120.1711
	Tump. Ka	-311.9865	-370.0258	46.2675	16.1206	-469.5549
6	Tump. Ki	-315.6520	40.2090	-367.8446	8.6268	-467.4357
	Lap.	168.0491	88.5768	85.8817	123.7136	120.5692
	Tump. Ka	-312.3429	-368.7943	44.6264	14.1732	-468.1509
7	Tump. Ki	-305.0671	-10.1148	-303.1944	-49.6771	-391.6033
	Lap.	162.9090	84.4257	82.7123	118.7683	116.7694
	Tump. Ka	-308.8747	-306.5706	-10.0649	-50.2449	-396.1683
8	Tump. Ki	-307.9813	-20.7195	-295.5096	-62.4302	-383.0188
	Lap.	162.5049	84.1876	82.5577	118.4345	116.5330
	Tump. Ka	-306.7687	-296.2753	-18.2254	-59.4967	-383.8883
9	Tump. Ki	-307.0227	-40.5696	-274.7576	-85.4480	-358.6674
	Lap.	163.0026	84.3576	82.8824	118.6990	116.9779
	Tump. Ka	-306.7318	-275.7760	-38.6375	-83.3191	-359.9807
10	Tump. Ki	-306.0607	-68.6711	-245.4529	-118.1701	-324.4156
	Lap.	163.4511	84.4988	83.2610	118.9039	117.4598
	Tump. Ka	-306.7967	-246.9172	-67.6598	-117.1612	-326.2948
11	Tump. Ki	-306.9592	-100.4087	-215.6980	-155.0307	-289.5348
	Lap.	163.3490	84.0011	83.3923	118.3792	117.6689
	Tump. Ka	-306.1024	-214.9170	-98.4102	-153.0914	-289.0159
12	Tump. Ki	-154.2585	-51.8956	-119.7052	-76.2389	-155.3501
	Lap.	87.2108	49.9804	48.8757	66.7000	65.4112
	Tump. Ka	-153.6564	-123.0217	-53.0027	-76.1323	-157.8211

Tabel 5.1.c Kombinasi momen balok kiri di muka kolom struktur dengan *Rubber**Bearing*

Balok Lantai	Letak	$1.2M_D+1.6M_L$ (kNm)	$0.9*(M_D\pm M_E)$ (kNm)		$1.05*(M_D+M_L\pm M_E)$ (kNm)	
			E kiri	E kanan	E kiri	E kanan
1	Tump. Ki	-261.8821	59.7618	-332.8308	38.2867	-419.7381
	Lap.	174.6562	96.4780	85.6441	133.5215	120.8819
	Tump. Ka	-308.2789	-341.4026	19.9407	-13.7369	-435.3041
2	Tump. Ki	-292.1716	87.1242	-391.7817	66.5749	-492.1486
	Lap.	167.8486	89.9865	85.0344	125.1317	119.3542
	Tump. Ka	-291.1498	-388.5402	84.9390	-488.2418	64.1506
3	Tump. Ki	-289.5370	101.3410	-403.2062	83.4656	-505.1728
	Lap.	169.8567	89.4963	87.6293	124.7980	122.6198
	Tump. Ka	-290.0910	-397.6611	95.1398	-498.7495	76.1849
4	Tump. Ki	-291.9570	54.4177	-357.5441	28.0999	-452.5222
	Lap.	166.6772	87.3257	85.6787	122.0954	120.1740
	Tump. Ka	-284.4490	-348.8910	53.7012	-441.5540	28.1369
5	Tump. Ki	-296.3250	43.5366	-351.1990	14.8761	-445.6487
	Lap.	166.3580	86.9768	85.6991	121.6490	120.1583
	Tump. Ka	-280.7863	-338.2988	46.9180	-428.7542	20.6656
6	Tump. Ki	-292.8782	33.9821	-337.9795	4.1244	-429.8309
	Lap.	168.0473	88.5056	85.9510	123.6303	120.6499
	Tump. Ka	-281.0892	-328.5768	36.8459	-417.4391	8.8874
7	Tump. Ki	-286.4330	-20.4028	-273.7690	-59.3661	-354.9602
	Lap.	162.9095	84.3650	82.7736	118.6975	116.8409
	Tump. Ka	-281.4096	-268.6251	-19.8550	-348.4749	-58.2432
8	Tump. Ki	-289.1705	-36.9359	-259.9788	-79.0127	-339.2293
	Lap.	162.5050	84.0754	82.6702	118.3036	116.6642
	Tump. Ka	-279.4902	-252.7695	-33.7650	-329.7317	-74.2265
9	Tump. Ki	-288.2701	-59.0773	-236.9901	-104.7121	-312.2771
	Lap.	163.0028	84.2181	83.0221	118.5363	117.1409
	Tump. Ka	-279.4568	-230.6419	-55.8133	-303.9238	-99.9572
10	Tump. Ki	-287.3668	-85.0718	-209.8659	-130.9864	-280.5730
	Lap.	163.4514	84.3432	83.4168	118.7224	117.6416
	Tump. Ka	-279.5160	-204.6972	-81.9071	-273.6392	-130.3841
11	Tump. Ki	-288.2105	-111.0245	-186.4279	-164.3398	-253.0723
	Lap.	163.3492	83.9116	83.4819	118.2748	117.7735
	Tump. Ka	-278.8834	-180.0274	-108.6527	-244.9076	-157.8868
12	Tump. Ki	-144.8402	321.6839	-102.0311	-83.6766	-133.7723
	Lap.	87.2113	49.8004	49.0562	66.4900	65.6219
	Tump. Ka	-144.2567	-101.6964	-60.4604	-131.6698	-81.4742

Tabel 5.1.d Kombinasi momen balok kiri di muka kolom struktur *non- Rubber**Bearing*

Balok Lantai	Letak	$1.2M_D+1.6M_L$ (kNm)	$0.9*(M_D\pm M_E)$ (kNm)		$1.05*(M_D+M_L\pm M_E)$ (kNm)	
			E kiri	E kanan	E kiri	E kanan
1	Tump. Ki	-277.1745	13.6699	-302.6856	-17.3227	-386.4040
	Lap.	170.4883	89.5574	88.2185	124.9472	123.3851
	Tump. Ka	-300.9465	-311.5547	-2.2611	-38.7590	-399.6015
2	Tump. Ki	-288.7848	58.6718	-359.7978	33.7869	-454.4275
	Lap.	168.7640	88.8987	87.0768	123.9724	121.8468
	Tump. Ka	-292.7875	-357.2644	51.9556	25.4733	-451.9499
3	Tump. Ki	-290.2871	75.0264	-377.6738	52.6752	-475.4751
	Lap.	169.6464	89.5985	87.3078	124.8920	122.2195
	Tump. Ka	-289.7419	-372.7135	70.5562	47.5460	-469.6019
4	Tump. Ki	-291.8081	40.9853	-343.9564	12.4467	-436.6520
	Lap.	166.7130	87.2375	85.8042	121.9969	120.3247
	Tump. Ka	-284.5290	-335.6344	40.3610	12.5638	-426.0975
5	Tump. Ki	-296.3390	38.1233	-345.8003	8.5589	-439.3520
	Lap.	166.3496	86.9562	85.7110	121.6239	120.1711
	Tump. Ka	-280.7879	-333.0232	41.6407	14.5085	-422.5994
6	Tump. Ki	-292.8549	37.3050	-341.2780	8.0038	-433.6765
	Lap.	168.0491	88.5768	85.8817	123.7136	120.5692
	Tump. Ka	-281.1086	-331.9149	40.1637	12.7558	-421.3358
7	Tump. Ki	-286.4241	-9.4966	-284.6659	-46.6412	-367.6720
	Lap.	162.9090	84.4257	82.7123	118.7683	116.7694
	Tump. Ka	-281.4192	-279.3199	-9.1702	-45.7787	-360.9533
8	Tump. Ki	-289.1602	-19.4533	-277.4507	-58.6150	-359.6121
	Lap.	162.5049	84.1876	82.5577	118.4345	116.5330
	Tump. Ka	-279.5004	-269.9397	-16.6054	-54.2081	-349.7649
9	Tump. Ki	-288.2602	-38.0903	-257.9669	-80.2262	-336.7488
	Lap.	163.0026	84.3576	82.8824	118.6990	116.9779
	Tump. Ka	-279.4668	-251.2626	-35.2030	-75.9130	-327.9824
10	Tump. Ki	-287.3570	-64.4745	-230.4530	-107.6661	-304.5902
	Lap.	163.4511	84.4988	83.2610	118.9039	117.4598
	Tump. Ka	-279.5259	-224.9690	-61.6456	-106.7469	-297.2908
11	Tump. Ki	-288.2006	-94.8304	-202.5165	-145.5566	-271.8410
	Lap.	163.3490	84.0011	83.3923	118.3792	117.6689
	Tump. Ka	-278.8933	-195.8133	-92.3963	-139.4833	-263.3256
12	Tump. Ki	-144.8316	265.2440	-112.3899	-71.5799	-145.8565
	Lap.	87.2108	49.9804	48.8757	66.7000	65.4112
	Tump. Ka	-144.2663	-112.0864	-49.7636	-69.3650	-143.7926

Keterangan:

1. M_D = momen akibat beban mati,
2. M_L = momen akibat beban hidup,
3. M_E = momen akibat beban gempa, dan
4. $M_{Lr} = 0,6 M_L$ = momen akibat beban hidup tereduksi.

Contoh hitungan momen rencana balok dengan menggunakan redistribusi momen dimuka kolom pada elemen 37 (balok kiri lantai 1 portal dengan rubber bearing), adalah sebagai berikut.

$$M^+ = 435,304 \text{ kNm}$$

$$M^- = 120,882 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{435,304 + 120,882}{2} = 278,093 \text{ kNm}$$

$$M^- - M = 435,304 - 278,098 = 157,211 \text{ kNm}$$

$$M^-_{red.mak} = 435,304 \cdot 25\% = 108,826 \text{ kNm} > M^- - M,$$

maka dipakai $M_{red} = 108,826 \text{ kNm}$

$$M^-_{red} = 435,304 - 108,826 = 326,478 \text{ kNm}$$

$$M^+_{red} = 120,882 + 108,826 = 229,708 \text{ kNm}$$

Dengan cara yang sama, momen rencana balok dengan redistribusi pada struktur dengan *base isolation* dan *non base isolation* didapat seperti yang tertera pada Tabel 5.1.e. dan Tabel 5.1.f.

Tabel 5.1.e Kombinasi momen balok kiri di muka kolom dengan redistribusi pada struktur dengan *Rubber Bearing*

Balok Lantai	Letak	$1.2M_D + 1.6M_L$ (kNm)	$0.9^*(M_D \pm M_E)$ (kNm)		$1.05^*(M_D + M_U \pm M_E)$ (kNm)	
			E kiri	E kanan	E kiri	E kanan
1	Tump. Ki	-261.8821	145.1125	-249.6231	41.7209	-310.9121
	Lap.	174.6562	181.8286	168.8518	136.9557	229.7079
	Tump. Ka	-308.2789	-256.0519	103.1484	-10.3027	-326.4781
2	Tump. Ki	-292.1716	184.2592	-293.8363	188.6354	-369.1115
	Lap.	167.8486	187.1216	182.9798	247.1922	242.3914
	Tump. Ka	-291.1498	-291.4051	182.8845	-366.1814	187.1878
3	Tump. Ki	-289.5370	200.7563	-302.4046	208.1529	-378.8796
	Lap.	169.8567	188.9116	188.4308	249.4854	248.9130
	Tump. Ka	-290.0910	-298.2458	195.9414	-374.0621	202.4781
4	Tump. Ki	-291.9570	141.6405	-268.1581	138.4884	-339.3917
	Lap.	166.6772	174.5484	175.0647	232.4839	233.3046
	Tump. Ka	-284.4490	-261.6683	143.0872	-331.1655	141.2675
5	Tump. Ki	-18.5203	128.1113	-263.3992	122.0646	-334.2365
	Lap.	166.3580	171.5516	173.4988	228.8375	231.5705
	Tump. Ka	-280.7863	-253.7241	134.7178	-321.5656	132.0777
6	Tump. Ki	-292.8782	116.1263	-253.4846	108.4841	-322.3732
	Lap.	168.0473	170.6498	170.4459	227.9901	228.1076
	Tump. Ka	-281.0892	-246.4326	121.3408	-313.0793	116.3452
7	Tump. Ki	-286.4330	46.7535	-205.3268	27.7526	-266.2201
	Lap.	162.9095	151.5212	151.2158	205.8162	205.5809
	Tump. Ka	-281.4096	-201.4688	48.5873	-261.3562	30.4969
8	Tump. Ki	-289.1705	26.2564	-194.9841	3.4202	-254.4220
	Lap.	162.5050	147.2677	147.6649	200.7365	201.4715
	Tump. Ka	-279.4902	-189.5771	31.2297	-247.2988	10.5809
9	Tump. Ki	-288.2701	-1.4168	-177.7426	-28.7312	-234.2078
	Lap.	163.0028	141.8786	142.2696	194.5172	195.2102
	Tump. Ka	-279.4568	-172.9814	3.4342	-227.9428	-21.8879
10	Tump. Ki	-287.3668	-33.8975	-157.3994	-62.5766	-210.4298
	Lap.	163.4514	135.5175	135.8833	187.1322	187.7849
	Tump. Ka	-279.5160	-153.5229	-29.4406	-205.2294	-60.2408
11	Tump. Ki	-288.2105	-66.0177	-139.8210	-103.1129	-189.8043
	Lap.	163.3492	128.9184	130.0889	179.5017	181.0416
	Tump. Ka	-278.8834	-135.0205	-62.0457	-183.6807	-94.6187
12	Tump. Ki	-144.8402	347.1080	-76.5233	-50.7592	-100.3292
	Lap.	87.2113	75.2245	74.5640	99.4075	99.0650
	Tump. Ka	-144.2567	-76.2723	-34.9527	-98.7523	-48.0311

Tabel 5.1.f Kombinasi momen balok kiri di muka kolom dengan redistribusi pada struktur yang *non-rubber bearing*

Balok Lantai	Letak	$1.2M_D+1.6M_L$ (kNm)	$0.9*(M_D\pm M_E)$ (kNm)		$1.05*(M_D+M_L\pm M_E)$ (kNm)	
			E kiri	E kanan	E kiri	E kanan
1	Tump. Ki	-277.1745	91.5586	-227.0142	-7.6329	-286.5036
	Lap.	170.4883	167.4461	163.8899	134.6369	223.2855
	Tump. Ka	-300.9465	-233.6660	73.4103	-29.0692	-299.7011
2	Tump. Ki	-288.7848	147.9878	-269.8483	27.4186	-340.8206
	Lap.	168.7640	178.2148	177.0262	117.6041	235.4537
	Tump. Ka	-292.7875	-267.9483	141.9050	19.1050	-338.3431
3	Tump. Ki	-290.2871	168.2047	-283.2554	40.7887	-356.6063
	Lap.	169.6464	182.7769	181.7263	113.0055	241.0883
	Tump. Ka	-289.7419	-279.5351	164.9746	35.6595	-350.7331
4	Tump. Ki	-291.8081	124.8939	-257.9873	9.3350	-327.4890
	Lap.	166.7130	171.1461	171.7933	118.8852	229.4877
	Tump. Ka	-284.5290	-251.7258	126.3502	9.4522	-316.9345
5	Tump. Ki	-296.3390	121.3791	-259.3502	6.4192	-329.5140
	Lap.	166.3496	170.2120	172.1610	119.4842	230.0091
	Tump. Ka	-280.7879	-249.7674	128.0908	12.3688	-312.7614
6	Tump. Ki	-292.8549	120.2837	-255.9585	6.0028	-325.2573
	Lap.	168.0491	171.5555	171.2012	121.7127	228.9883
	Tump. Ka	-281.1086	-248.9362	125.4832	10.7549	-312.9167
7	Tump. Ki	-286.4241	60.3333	-213.4994	-34.9809	-275.7540
	Lap.	162.9090	154.2556	153.8788	130.4286	208.6874
	Tump. Ka	-281.4192	-209.4899	61.9963	-34.1184	-269.0353
8	Tump. Ki	-289.1602	48.0317	-208.0880	-43.9613	-269.7091
	Lap.	162.5049	151.6726	151.9204	133.0883	206.4360
	Tump. Ka	-279.5004	-202.4548	52.7573	-39.5544	-259.8619
9	Tump. Ki	-288.2602	24.7253	-193.4751	-60.1696	-252.5616
	Lap.	163.0026	147.1733	147.3741	138.7555	201.1651
	Tump. Ka	-279.4668	-188.4469	29.2887	-55.8565	-243.7952
10	Tump. Ki	-287.3570	-8.2323	-172.8398	-80.7496	-228.4427
	Lap.	163.4511	140.7410	140.8743	145.8204	193.6074
	Tump. Ka	-279.5259	-168.7268	-4.0324	-79.8303	-221.1433
11	Tump. Ki	-288.2006	-45.8771	-151.8873	-109.1675	-203.8808
	Lap.	163.3490	132.9544	134.0214	154.7684	185.6292
	Tump. Ka	-278.8933	-146.8600	-41.7672	-103.0941	-195.3653
12	Tump. Ki	-144.8316	293.2656	-84.2924	-53.6849	-109.3924
	Lap.	87.2108	78.0020	76.9732	84.5949	101.8753
	Tump. Ka	-144.2663	-84.0648	-21.6662	-51.4700	-107.3284

5.2.1.3 Penulangan Balok

Desain penulangan balok menggunakan momen terbesar dari kombinasi momen balok dengan redistribusi pada balok yang ditinjau. Pada contoh perhitungan berikut ini diambil pada desain balok lantai 1 struktur dengan isolasi dasar (rubber bearing), demikian pula untuk perhitungan bagian-bagian struktur lainnya.

Diketahui : $b = 350 \text{ mm}$ $f_c' = 30 \text{ MPa}$
 $h = 600 \text{ mm}$ $f_y = 400 \text{ Mpa}$
 $d = 500 \text{ mm}$
 $\beta = 0,85$
 $M_u = 310,912 \text{ kNm}$

Penyelesaian :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0325$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,024374$$

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

$$\rho_{diambil} = 0,01$$

$$A_{s,1} = \rho \cdot b \cdot d = 0,01 \cdot 350 \cdot 500 = 1750 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s,1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1750 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 350} = 78,43137 \text{ mm}$$

$$M_{n,1} = A_{s,1} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1750 \cdot 400 \cdot \left(500 - \frac{78,43137}{2} \right) = 322,549 \text{ kNm}$$

$$M_{n,2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n,1} = \frac{310,912}{0,8} - 322,549 = 66,091 \text{ kNm}$$

$$f_s' = 600 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d} \right) \right] = 600 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 70}{0,01 \cdot 400 \cdot 500} \right) \right] = 144,825 < 400$$

$$A_s' = \frac{M_{n,2}}{(d - d') \cdot f_s'} = \frac{66,091 \cdot 10^6}{(500 - 70) \cdot 144,825} = 1061,281 \text{ mm}^2$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{1061,281}{350 \cdot 500} = 0,00606$$

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{0,00606}{0,01} = 0,60645 > 0,5, \text{ dipakai } \rho' = 0,006064 \cdot 0,01 = 0,006064467$$

$$A_s' \text{ terpakai} = \rho' \cdot b \cdot d = 0,006064467 \cdot 350 \cdot 500 = 1061,2817 \text{ mm}^2$$

Tulangan tarik :

$$A_s = A_{s,1} + A_s' = 1750 + 1061,2817 = 2811 \text{ mm}^2$$

$$D = 28 \text{ mm}; A = 615,44 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan total} = \frac{2811}{615,44} = 4,568 \approx 6$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tulangan} &= \frac{b - 2 \cdot p_b - 2 \cdot D_{\text{sengkang}} - n \cdot D_{\text{tulangan}}}{(n - 1)} \\ &= \frac{350 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 4 \cdot 28}{(4 - 1)} = 46 > 25 \end{aligned}$$

Tulangan tekan :

$$A_s' = 1061,281 \text{ mm}^2$$

$$D = 28 \text{ mm}; A = 615,44 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan total} = \frac{1061,281}{615,44} = 1,72 \approx 2$$

Jadi digunakan tulangan atas 6D28 dan tulangan bawah 2D28.

$$A_s \text{ terpakai} = 6 \cdot 615,44 = 3692,44 \text{ mm}^2$$

$$A_s' \text{ terpakai} = 2.615,44 = 1230,88 \text{ mm}^2$$

5.2.1.4 Momen Nominal Aktual

Momen nominal aktual adalah momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan sebenarnya pada penampang balok yang ditinjau. Sebagai contoh hitungan yang diuraikan berikut ini, yang merupakan hitungan momen nominal aktual positif dan momen nominal aktual negatif pada balok lantai 1 struktur dengan *rubber bearing*.

a. Momen nominal aktual negatif

Tulangan tarik

$$A_s \text{ dipakai} = 6.615,44 = 3692,44 \text{ mm}^2$$

$$A_s' \text{ dipakai} = 2.615,44 = 1230,88 \text{ mm}^2$$

$$d'' = \frac{4(40 + 10 + \frac{28}{2}) + 2(40 + 10 + 28 + 28 + \frac{28}{2})}{6} = 82,667 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{28}{2} = 64 \text{ mm}$$

$$d = h - d'' = 600 - 82,667 = 517,333 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{baru}} = \frac{A_s - A_s'}{b \cdot d} = \frac{3692,44 - 1230,88}{350 \cdot 517,333} = 0,0136$$

$$f_s' = 600 \left[1 - \left(\frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{0,0136 \cdot 400} \cdot \frac{64}{517,333} \right) \right] = 304,3126 \text{ MPa}$$

Dianggap tulangan tarik telah luluh.

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(3692,44 - 1230,88) \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 350} = 110,387 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{110,387}{0,85} = 129,867 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot (0,003) = \frac{517,333 - 129,867}{129,867} (0,003) = 0,00895 > \epsilon_y = 0,002$$

Tulangan tarik telah leleh.

$$\begin{aligned} M_{n,1} &= (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = (3692,44 - 1230,88) \cdot 400 \cdot \left(517,333 - \frac{110,387}{2} \right) \\ &= 455,302 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tulangan tekan

$$A_s' \text{ dipakai} = 2.615,44 = 1230,88 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan belum luluh.

$$\begin{aligned} M_{n,2} &= A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') = 1230,88 \cdot 304,3126 \cdot (517,333 - 64) \\ &= 169,8921 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{nak} = M_{n,1} + M_{n,2} = 455,302 + 169,8921 = 625,193 > \frac{M_u}{\phi} = 388,64 \text{ kNm}$$

b. Momen nominal aktual positif

Pada perhitungan momen ninal aktual positif, digunakan asumsi balok T.

$$A_s \text{ dipakai} = 6.615,44 = 3692,44 \text{ mm}^2 \text{ dan } A_s' \text{ dipakai} = 2.615,44 = 1230,88 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{3692,44}{1230,88} = 2,99 > 1, \text{ diambil } \frac{\rho'}{\rho} = 1$$

lebar efektif balok ditentukan dengan nilai terkecil dari :

- $\frac{1}{4}$ panjang bentang balok = $\frac{1}{4} \cdot 9000 = 2250 \text{ mm}$,
- $b_w + 16 h_f = 350 + 16 \cdot 120 = 2270 \text{ mm}$, dan
- jarak antar balok = 4000 mm.

Digunakan lebar efektif balok = 2250 mm.

$$d = h - 62,5 = 600 - 62,5 = 537,5 \text{ mm}; h_f = 120 \text{ mm}.$$

$$M_u^+ = 41,7209 \text{ kNm}$$

$$M_R = 0,8 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot h_f \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot h_f\right)$$

$$= 0,8 \cdot 0,85 \cdot 30 \cdot 2250 \cdot 120 \cdot \left(537,5 - \frac{1}{2} \cdot 120\right) = 2630,070 \text{ kNm} > 41,7209 \text{ kNm}$$

dengan demikian balok T diperhitungkan sebagai balok T persegi dengan lebar

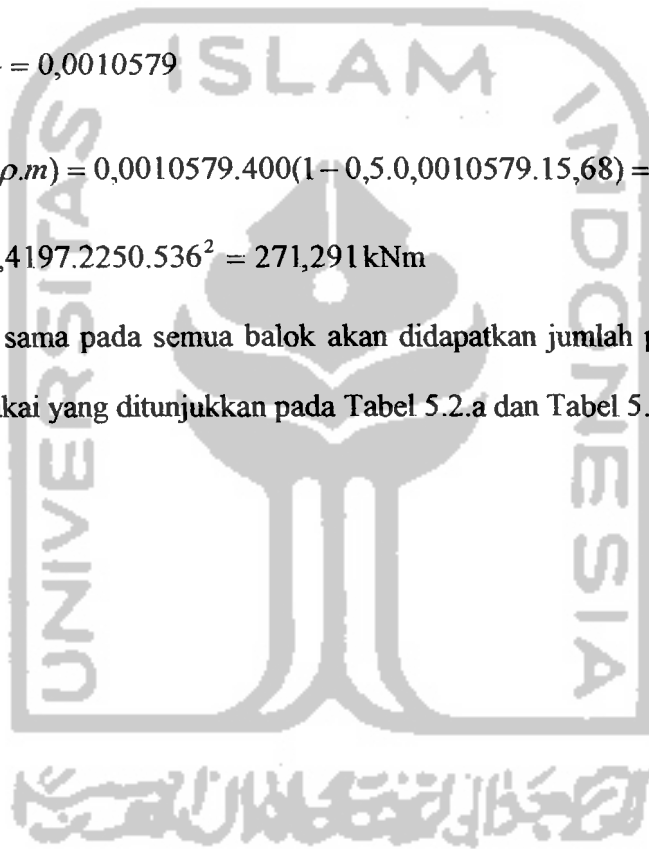
$$b = 2250 \text{ mm.}$$

$$\rho = \frac{1230,88}{517,333 \cdot 2250} = 0,0010579$$

$$R_n = \rho \cdot f_y (1 - 0,5 \cdot \rho \cdot m) = 0,0010579 \cdot 400 (1 - 0,5 \cdot 0,0010579 \cdot 15,68) = 0,4197 \text{ MPa}$$

$$M_n = R_n \cdot b \cdot d^2 = 0,4197 \cdot 2250 \cdot 536^2 = 271,291 \text{ kNm}$$

Dengan cara yang sama pada semua balok akan didapatkan jumlah penulangan dan diameter baja terpakai yang ditunjukkan pada Tabel 5.2.a dan Tabel 5.2.b.



Tabel 5.2.a Tulangan balok terpakai dan momem nominal aktual dengan kombinasi momen pada struktur dengan *rubber bearing*

Lantai	Letak	As Perlu		Tuj. Pakai		As aktual		M _{nak}	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	M _{nak} ⁻	M _{nak} ⁺
1	Tump. Ki	2811	1061	6D28	2D28	3694.510	1231.503	625.194	271.291
	Lap.	875	2625	5D28	2D28	1231.503	3078.758		
	Tump. Ka	2888	963	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
2	Tump. Ki	3979	2229	7D28	4D28	4310.261	2463.007	574.761	543.552
	Lap.	787.5	2362.5	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	3921	2171	7D28	2D28	4310.261	1231.503		
3	Tump. Ki	3446	1521	6D28	2D28	3694.510	1231.503	625.194	271.291
	Lap.	787.5	2362.5	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	4079	2329	7D28	2D28	4310.261	1231.503		
4	Tump. Ki	3601	1111	6D28	3U28	3694.510	1847.255	468.023	368.304
	Lap.	787.5	2362.5	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	4154	2421	7D28	2D28	4310.261	1231.503		
5	Tump. Ki	3506	1616	6D28	3D28	3694.510	1847.255	468.023	368.304
	Lap.	787.5	2362.5	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	3928	2196	7D28	2D28	4310.261	1231.503		
6	Tump. Ki	3287	1397	8D28	3D28	4926.013	1847.255	743.591	375.703
	Lap.	787.5	2362.5	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	4282	2628	7D28	2D28	4310.261	1231.503		
7	Tump. Ki	2880	1080	5D28	2D28	3078.758	1231.503	394.646	218.209
	Lap.	720	2160	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	4281	2841	7D28	4D28	4310.261	2463.007		
8	Tump. Ki	2700	900	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	720	2160	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	3858	2418	7D28	4D28	4310.261	2463.007		
9	Tump. Ki	3464	2024	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	720	2160	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	3275	1835	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
10	Tump. Ki	2700	900	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	540	1620	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	2591	1151	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
11	Tump. Ki	2700	900	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	540	1620	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	2160	720	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
12	Tump. Ki	6861	5421	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	600	1800	5D28	2D28	2463.007	1847.255		
	Tump. Ka	2160	720	4D28	2D28	2463.007	1231.503		

Tabel 5.2.b Tulangan balok terpakai dan momem nominal aktual dengan kombinasi
momen pada struktur dengan *rubber bearing*

Lantai	Letak	As Perlu		Tul. Pakai		As aktual		M_{nak}	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	M_{nak}^-	M_{nak}^+
1	Tump. Ki	2625	875	6D28	2D28	3694.510	1231.503	625.194	271.291
	Lap.	875	2625	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	2888	963	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
2	Tump. Ki	3412	1662	6D28	3D28	3694.510	1847.255	523.971	405.234
	Lap.	788	2363	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	3362	1612	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
3	Tump. Ki	3099	1174	6D28	2D28	3694.510	1231.503	625.194	271.291
	Lap.	788	2363	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	3611	1861	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
4	Tump. Ki	3381	1491	6D28	3D28	3694.510	1847.255	468.023	368.304
	Lap.	788	2363	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	3820	2087	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
5	Tump. Ki	3419	1529	6D28	3D28	3694.510	1847.255	468.023	368.304
	Lap.	788	2363	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	3722	1989	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
6	Tump. Ki	3340	1450	6D28	3D28	3694.510	1847.255	468.023	368.304
	Lap.	788	2363	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	4278	2624	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
7	Tump. Ki	3227	1427	7D28	4D28	4310.261	2463.007	493.371	445.098
	Lap.	1255	2695	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	4884	3444	7D28	4D28	4310.261	2463.007		
8	Tump. Ki	3274	1474	7D28	4D28	4310.261	2463.007	493.371	445.098
	Lap.	1188	2628	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	4827	3387	7D28	4D28	4310.261	2463.007		
9	Tump. Ki	5090	3650	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	1029	2469	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	4826	3386	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
10	Tump. Ki	3243	1443	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	540	1620	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	4827	3387	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
11	Tump. Ki	3257	1457	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	540	1620	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	4808	3368	6D28	2D28	3694.510	1231.503		
12	Tump. Ki	2160	720	6D28	2D28	3694.510	1231.503	498.515	222.073
	Lap.	600	1800	5D28	2D28	3078.758	1231.503		
	Tump. Ka	2160	720	6D28	2D28	3694.510	1231.503		

5.2.1.5 Desain Senggang Balok

Dalam merencanakan senggang balok yang akan menahan gaya geser yang akan terjadi pada balok, didasarkan pada momen kapasitas balok, gaya geser rencana balok.

1. Momen kapasitas balok.

Momen kapasitas balok adalah momen nominal aktual pada ujung komponen yang dihitung terhadap luas tulangan yang sebenarnya yang dikalikan dengan suatu nilai tertentu. Nilai momen kapasitas didapat dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$M_{kap} = \phi \cdot M_{nak} \quad (5.1)$$

dimana $\phi = 1,25$ untuk $f_y \leq 400$ Mpa

Sebagai contoh hitungan ditinjau pada elemen balok lantai 1 struktur tanpa *rubber bearing* pada *basenya*, yaitu:

$$M_{nak}^- = 625,1935 \text{ kNm}$$

$$M_{nak}^+ = 271,291 \text{ kNm}$$

$$M_{kap}^- = 1,25 \cdot 625,1935 = 781,492 \text{ kNm}$$

$$M_{kap}^+ = 1,25 \cdot 271,291 = 339,114 \text{ kNm}$$

2. Gaya geser rencana balok

Gaya geser rencana balok didapatkan dari nilai terkecil dari persamaan berikut ini.

$$V_{u,b} = 0,70 \cdot \frac{M_{kap} + M_{kap}^-}{Ln} + 1,05 \cdot V_g \quad (5.2)$$

$$V_{u,b} = 1,05 \cdot (V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4}{K} \cdot V_{E,b}) \quad (5.3)$$

Sebagai contoh hitungan ditinjau pada elemen balok lantai 1 pada struktur dengan *rubber bearing*, seperti berikut.

$$M_{kap}^- = 781,492 \text{ kNm}; M_{kap}^+ = 339,114 \text{ kNm}$$

$$V_D = 129,281 \text{ kN}; V_L = 42,518 \text{ kN}; V_E = 50,904 \text{ kN}$$

$$L_n = 8,23 \text{ m}$$

$$V_{u,b,1} = 0,70 \cdot \frac{781,492 + 339,114}{8,23} + 1,05 \cdot (129,281 + 42,518) = 275,701 \text{ kN}$$

$$V_{u,b,2} = 1,05 \cdot \left(129,281 + 42,518 + \frac{4}{1} \cdot 50,90 \right) = 394,186 \text{ kN}$$

Dipakai $V_{u,b} = 275,701 \text{ kN}$

Dengan cara yang sama didapat gaya geser terpakai dari semua balok yang ditunjukkan dalam Tabel 5.3.a dan Tabel 5.3.b.

Tabel 5.3.a Gaya geser balok dengan kombinasi momen pada struktur *Rubber bearing*

Lantai	M _{kap}		L _n	V _D	V _L	1,05V _g	V _E	V _{u,b,1}	V _{u,b,2}	V _{u,b}
	M _{kap} ⁻	M _{kap} ⁺								
1	781.492	339.114	8.230	129.281	42.518	180.389	50.904	275.701	394.186	275.701
2	718.451	679.440	8.230	125.954	41.424	175.747	64.338	294.644	445.966	294.644
3	781.492	339.114	8.230	126.066	41.455	175.898	67.369	271.210	458.848	271.210
4	585.028	460.381	8.230	123.624	41.279	173.148	55.022	262.065	404.240	262.065
5	585.028	460.381	8.230	124.031	41.393	173.695	52.684	262.612	394.968	262.612
6	929.488	469.629	8.230	123.763	41.313	173.329	49.811	292.331	382.536	292.331
7	493.308	272.761	8.330	119.244	41.353	168.626	33.512	233.001	309.377	233.001
8	623.143	277.591	8.330	119.148	41.247	168.415	29.502	244.107	292.323	244.107
9	623.143	277.591	8.330	119.097	41.264	168.380	23.542	244.072	267.255	244.072
10	623.143	277.591	8.330	119.066	41.272	168.355	16.524	244.047	237.755	237.755
11	623.143	277.591	8.330	119.213	41.311	168.550	10.054	244.242	210.776	210.776
12	623.143	277.591	8.330	67.597	16.744	88.558	5.738	164.250	112.658	112.658

Tabel 5.3.b Gaya geser balok dengan kombinasi momen pada struktur *non-Rubber bearing*

Lantai	M_{kap}		L_n	V_D	V_L	$1,05V_g$	V_E	$V_{u,b,1}$	$V_{u,b,2}$	$V_{u,b}$
	M_{kap}^-	M_{kap}^+								
1	781.492	339.114	8.23	127.696	41.996	178.177	42.262	273.489	355.676	273.489
2	654.964	506.543	8.23	126.307	41.540	176.238	55.909	275.030	411.058	275.030
3	781.492	339.114	8.23	125.989	41.430	175.790	60.522	271.103	429.984	271.103
4	585.028	460.381	8.23	123.640	41.284	173.170	51.400	262.087	389.050	262.087
5	585.028	460.381	8.23	124.032	41.394	173.696	51.241	262.613	388.908	262.613
6	585.028	460.381	8.23	123.760	41.312	173.325	50.708	262.242	386.300	262.242
7	616.714	556.372	8.33	119.245	41.353	168.628	36.394	267.206	321.483	267.206
8	616.714	556.372	8.33	119.146	41.247	168.413	34.126	266.991	311.742	266.991
9	623.143	277.591	8.33	119.096	41.265	168.379	29.094	244.071	290.574	244.071
10	623.143	277.591	8.33	119.068	41.273	168.357	21.978	244.049	260.664	244.049
11	623.143	277.591	8.33	119.211	41.312	168.549	14.308	244.241	228.644	228.644
12	623.143	277.591	6.33	67.599	16.744	88.559	8.508	164.251	124.293	124.293

3. Penulangan Geser Balok

Penulangan geser balok di desain pada dua tempat, yaitu sepanjang daerah rawan terjadinya sendi plastis dan diluar daerah sendi plastis. Contoh hitungan ditinjau pada balok lantai satu struktur dengan isolasi pada *basenya*.

a. Sepanjang daerah sendi plastis.

$$V_{u,bterpakai} = 275,701 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_{u,b}}{0,6} = \frac{275,701}{0,6} = 459,502 \text{ kN}$$

$$V_{s,maks} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{30} \cdot 350 \cdot 500 = 639,010 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 400 \cdot 500}{459,502} = 136.670 \text{ mm}$$

syarat:

$$S \leq \frac{1}{4} \cdot d = \frac{1}{4} \cdot 500 = 125 \text{ mm}$$

Dipakai : Ø 10-120

b. Diluar daerah sendi plastis.

$$V_{u, \text{terpakai}} = 245,484 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30} \cdot 350 \cdot 500 = 159,752 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_{u, \text{b}}}{0,6} - V_c = \frac{245,484}{0,6} - 159,752 = 249,347 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 400 \cdot 500}{249,347} = 125.972 \text{ mm}$$

syarat :

$$S \leq \frac{1}{2} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot 500 = 250 \text{ mm}$$

Dipakai Ø10-120

Dengan cara yang sama didapat dimensi dan spasi tulangan geser terpakai dari semua balok yang ditunjukkan dalam Tabel 5.4.a dan Tabel 5.4.b.

Tabel 5.4.a Tulangan geser balok pada kombinasi momem balok pada struktur dengan *Rubber Bearing*

Lantai	Sepanjang daerah sendi plastis				Di luardaerah sendi plastis				
	V_{ub}	V_s	S	Terpakai	V_{ub}	V_c	V_s	S	Terpakai
1	275.701	459.502	125.000	P 10-120	245.484	159.752	249.387	125.972	P 10-120
2	294.644	491.074	125.000	P 10-120	257.744	159.752	269.822	116.432	P 10-110
3	271.210	452.017	125.000	P 10-120	240.993	159.752	241.902	129.870	P 10-120
4	262.065	436.775	112.500	P 10-110	236.634	143.777	250.612	112.821	P 10-110
5	262.612	437.687	112.500	P 10-110	237.180	143.777	251.524	112.412	P 10-110
6	292.331	487.218	112.500	P 10-110	257.878	143.777	286.020	98.854	P 10-90
7	233.001	388.336	100.000	P 10-100	216.301	109.545	250.957	100.147	P 10-100
8	244.107	406.844	100.000	P 10-100	224.362	109.545	264.392	95.059	P 10-90
9	244.072	406.786	100.000	P 10-100	224.327	109.545	264.333	95.080	P 10-90
10	237.755	396.259	100.000	P 10-100	218.786	109.545	255.065	98.534	P 10-95
11	210.776	351.294	100.000	P 10-100	195.049	109.545	215.537	116.605	P 10-110
12	112.658	187.764	100.000	P 10-100	99.107	109.545	55.634	200.000	P 10-200

Tabel 5.4.b Tulangan geser balok pada kombinasi momen balok pada struktur *non-rubber bearing*

Lantai	Sepanjang daerah sendi plastis				Di luar daerah sendi plastis				
	V_{ub}	V_s	S	Terpakai	V_{ub}	V_c	V_s	S	Terpakai
1	273.489	455.816	125.000	P 10-120	243.272	159.752	245.700	125.000	P 10-120
2	275.030	456.383	125.000	P 10-120	244.190	159.752	247.231	125.000	P 10-120
3	271.103	451.838	125.000	P 10-120	240.865	159.752	241.723	125.000	P 10-120
4	262.087	436.812	112.500	P 10-110	236.656	143.777	250.649	112.500	P 10-110
5	262.613	437.689	112.500	P 10-110	237.182	143.777	251.526	112.411	P 10-110
6	262.242	437.070	112.500	P 10-110	236.811	143.777	250.907	112.500	P 10-110
7	267.206	445.344	100.000	P 10-100	241.983	109.545	293.760	85.555	P 10-80
8	266.991	444.986	100.000	P 10-100	241.768	109.545	293.402	85.660	P 10-80
9	244.071	406.784	100.000	P 10-100	224.326	109.545	264.332	95.080	P 10-80
10	244.049	406.748	100.000	P 10-100	224.304	109.545	264.296	95.093	P 10-90
11	228.644	381.074	100.000	P 10-100	210.772	109.545	241.742	100.000	P 10-100
12	124.293	207.155	100.000	P 10-100	109.345	109.545	72.697	100.000	P 10-100

5.2.2 Desain Kolom

Desain penulangan kolom meliputi perhitungan momen rencana kolom, gaya aksial rencana kolom, penulangan kolom (tulangan longitudinal), desain sengkang kolom dan penulangan geser kolom.

5.2.2.1 Momen Rencana Kolom

Dalam menentukan momen rencana kolom ditentukan dari momen kapasitas balok sebagai momen kolom pada pusat joint dan kombinasi dari momen akibat beban-beban yang bekerja pada struktur. Untuk menentukan momen rencana kolom tersebut diambil nilai terkecil dari persamaan berikut.

$$\sum M_{u,k} = 0,7 \omega_d \alpha_k \sum M_{kap,b} \dots\dots\dots 5.4$$

$$\sum M_{u,k} = 1,05 \cdot \sum \left(M_{d,k} + M_{l,k} + \frac{4}{K} M_{e,k} \right) \dots\dots\dots 5.5$$

Dengan:

$$\alpha_{k-bawah} = \frac{M_{E-atask-bawah}}{M_{E-atask-bawah} + M_{E-bawatk-atas}}, \alpha_{k-atas} = \frac{M_{E-bawatk-atas}}{M_{E-bawatk-atas} + M_{E-atask-bawah}} \quad (5.6)$$

Sebagai contoh hitungan ditinjau pada kolom tepi lantai 1 struktur dengan *rubber bearing*.

$$\sum M_{u,k} = 0,7.1.(781,4919 + 0) = 547,0444 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{u,k} = 1,05. \left(29,914 + 9,837 + \frac{4}{1}.420,749 \right) = 1808,886 \text{ kNm}$$

Dipakai $M_{u,k} = 547,0444 \text{ kNm}$

Momen rencana kolom lainnya ditunjukkan dalam Tabel 5.5.a dan Tabel 5.5.b.

Tabel 5.5.a Momen rencana kolom tepi dan tengah pada kombinasi momen balok pada struktur dengan *rubber bearing*

Lantai	Letak Kolom	M _D	M _L	M _{E,kolom} (kNm)		α		M _{kap,b} (kNm)	M _{uk terpakai} (kNm)
				atas	bawah	atas	bawah		
1	Tepi	29.913	9.837	76.658	420.750	0.326	1.000	781.492	547.044
	Tengah	0.000	0.000	141.297	641.985	0.194	1.000	1120.606	784.424
2	Tepi	133.601	43.945	107.906	158.632	0.376	0.674	718.451	339.065
	Tengah	0.000	0.000	262.630	587.309	0.449	0.806	1397.891	788.761
3	Tepi	90.631	29.737	150.563	179.015	0.498	0.624	781.492	341.311
	Tengah	0.000	0.000	284.141	322.551	0.467	0.551	1120.606	432.373
4	Tepi	91.100	30.293	128.306	151.798	0.520	0.502	585.028	212.770
	Tengah	0.000	0.000	259.708	324.943	0.522	0.533	1045.409	390.404
5	Tepi	90.413	30.250	132.855	118.645	0.561	0.480	585.028	229.885
	Tengah	0.000	0.000	281.075	238.214	0.590	0.478	1045.409	431.655
6	Tepi	105.006	34.794	126.625	103.815	0.568	0.439	929.488	369.503
	Tengah	0.000	0.000	238.029	195.433	0.527	0.410	1399.117	515.741
7	Tepi	84.494	29.025	86.164	96.344	0.574	0.432	493.308	198.200
	Tengah	0.000	0.000	183.502	213.983	0.603	0.473	766.069	323.435
8	Tepi	89.572	31.098	90.225	63.956	0.683	0.426	623.143	297.810
	Tengah	0.000	0.000	204.303	120.740	0.763	0.397	900.734	480.772
9	Tepi	90.548	31.374	81.532	41.927	0.773	0.317	623.143	337.383
	Tengah	0.000	0.000	188.451	63.632	0.880	0.237	900.734	554.824
10	Tepi	86.946	29.640	65.426	23.880	0.885	0.227	623.143	385.877
	Tengah	0.000	0.000	156.733	25.709	0.952	0.120	900.734	600.198
11	Tepi	87.573	31.474	46.346	8.532	0.970	0.115	623.143	319.652
	Tengah	0.000	0.000	116.520	7.917	0.820	0.048	900.734	489.382
12	Tepi	95.339	28.666	25.408	1.430	1.000	0.030	623.143	236.918
	Tengah	0.000	0.000	52.469	25.588	1.000	0.180	900.734	220.371

Tabel 5.5.b Momen rencana kolom tepi dan tengah pada kombinasi momen balok pada struktur *non-rubber bearing*

Lantai	Letak Kolom	M _D	M _L	M _{E,kolom} (kNm)		α		M _{kap,b} (kNm)	M _{uk terpakai} (kNm)
				atas	bawah	atas	bawah		
1	Tepi	72.966	23.995	11.746	268.207	0.060	1.000	781.492	547.044
	Tengah	0.000	0.000	45.116	676.774	0.097	1.000	1120.606	784.424
2	Tepi	91.922	30.251	99.017	184.231	0.390	0.940	654.964	430.995
	Tengah	0.000	0.000	188.712	419.374	0.366	0.903	1161.507	734.083
3	Tepi	92.619	30.391	125.726	154.654	0.456	0.610	781.492	333.513
	Tengah	0.000	0.000	245.393	326.524	0.436	0.634	1120.606	497.118
4	Tepi	90.674	30.153	114.470	150.189	0.482	0.544	585.028	222.914
	Tengah	0.000	0.000	228.599	317.291	0.470	0.564	1045.409	412.646
5	Tepi	88.759	29.681	122.415	122.887	0.513	0.518	585.028	212.021
	Tengah	0.000	0.000	258.818	257.693	0.530	0.530	1045.409	387.784
6	Tepi	104.983	34.786	121.606	115.994	0.519	0.487	585.028	212.640
	Tengah	0.000	0.000	226.928	229.630	0.466	0.470	1045.409	344.028
7	Tepi	84.494	29.025	86.634	112.593	0.511	0.481	616.714	220.521
	Tengah	0.000	0.000	182.774	260.131	0.511	0.534	1173.086	438.570
8	Tepi	-89.566	-31.096	96.749	82.963	0.608	0.489	616.714	262.576
	Tengah	0.000	0.000	216.504	174.817	0.644	0.489	1173.086	528.869
9	Tepi	90.545	31.373	93.826	62.316	0.690	0.392	623.143	301.024
	Tengah	0.000	0.000	214.205	119.656	0.737	0.356	900.734	464.702
10	Tepi	86.943	29.639	81.701	42.133	0.788	0.310	623.143	343.891
	Tengah	0.000	0.000	193.779	76.431	0.832	0.263	900.734	524.635
11	Tepi	-87.571	31.473	63.219	21.931	0.895	0.212	623.143	206.619
	Tengah	0.000	0.000	158.240	39.107	0.821	0.168	900.734	517.908
12	Tepi	95.334	-28.665	37.672	7.441	1.000	0.105	623.143	228.225
	Tengah	0.000	0.000	77.799	34.405	1.000	0.179	900.734	326.755

5.2.2.2 Gaya Aksial Rencana Kolom

Gaya aksial rencana yang bekerja pada kolom ditentukan dengan mengambil nilai terkecil dari persamaan berikut ini.

$$N_{u,k} = \frac{0,7.R_v \cdot \sum M_{kap,b}}{L_b} + 1,05.N_{g,k} \quad (5.7)$$

$$N_{u,k} = 1,05.(N_{g,k} + \frac{4}{K}.N_{E,k}) \quad (5.8)$$

$$e = \frac{M_{n,k}}{N_{n,k}} = \frac{683,8054}{2948,671} = 0.232$$

Direncanakan ukuran kolom 500/650, dengan rasio penulangan 1%.

$$A_s = A_s' = \frac{\% \text{tul}}{200} \cdot b \cdot h = \frac{1}{200} \cdot 500 \cdot 650 = 1625 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 25$

$$\text{Jumlah tulangan perlu} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2} = \frac{1625}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2} = 3.310 \approx 4$$

Dicoba tulangan 4 \emptyset 25 pada masing-masing sisi ($A_s = A_s' = 1963,494 \text{ mm}^2$)

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 650 - 62,5 = 587,5 \text{ mm}$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 587,5 = 352,5$$

$$f_s' = \frac{X_b - d'}{X_b} \cdot 600 = \frac{352,5 - 62,5}{352,5} \cdot 600 = 493,617 > 400, \text{ dipakai } f_s' = 400 \text{ MPa}$$

$$C_{c,b} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot (0,85 \cdot X_b) = 0,85 \cdot 30 \cdot 500 \cdot (0,85 \cdot 352,5) = 3820219$$

$$C_{s,b} = A_s \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 1963,494 \cdot (400 - 0,85 \cdot 30) = 735328,4$$

$$T_{s,b} = A_s \cdot f_y = 1963,494 \cdot 400 = 785397,5$$

$$P_{u,b} = C_{c,b} + C_{s,b} - T_{s,b} = 3820219 + 735328,4 - 785397,5 = 3770150$$

$$e' = e + d - \frac{h}{2} = 0.232 + 587,5 - \frac{650}{2} = 494,403$$

$$P_{n,b} = P_{u,b} \cdot 0,8 = 3770150 \cdot 0,8 = 3016120$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_{total}} = \frac{1472,7}{500 \cdot 580} = 0,0051$$

$$\rho' = \frac{A_s}{b.d} = \frac{1963,494}{500.587,5} = 0,006684$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'} = \frac{400}{0,85.30} = 15,68627$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 0,85.f_c'.b.d. \left[(\rho'-1) + \left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2\rho. \left[(m-1) \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \right]} + \frac{e'}{d} \right] \\
 &= 0,85.30.500.587,5. \left[(0,006684 - 1) + \left(1 - \frac{494,403}{587,5}\right) + \right. \\
 &\quad \left. \sqrt{\left(1 - \frac{494,403}{587,5}\right)^2 + 2.0,0051. \left[(15,68627 - 1) \left(1 - \frac{62,5}{587,5}\right) \right]} + \frac{494,403}{587,5} \right] \\
 &= 4584,292 \text{ kN} > \frac{P_u}{\phi}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama pada semua kolom didapatkan dimensi dan jumlah tulangan kolom terpakai yang ditunjukkan pada Tabel 5.7.a dan Tabel 5.7.b.

Tabel 5.7.a Tulangan kolom pada kombinasi momen balok struktur dengan *rubber bearing*

Lantai	Letak	Dimensi	N_{nk}	M_{nk}	As	Tulangan
1	Tepi	500x650	2948.671	683.805	1963.494	4D25
	Tengah	500x900	5519.410	980.530	2454.367	5D25
2	Tepi	500x650	2721.479	423.831	1963.494	4D25
	Tengah	500x900	5012.774	985.951	2454.367	5D25
3	Tepi	500x650	2444.004	426.638	1963.494	4D25
	Tengah	500x900	4517.742	540.466	2454.367	5D25
4	Tepi	450x650	2182.561	265.962	1472.620	3D25
	Tengah	450x900	4022.334	488.006	2454.367	5D25
5	Tepi	450x650	1932.786	287.356	1472.620	3D25
	Tengah	450x900	3539.365	539.569	2454.367	5D25
6	Tepi	450x650	1713.836	461.878	1472.620	3D25
	Tengah	450x900	3058.368	644.676	2454.367	5D25
7	Tepi	450x550	1405.924	247.750	1472.620	3D25
	Tengah	450x800	2576.454	404.294	1963.494	4D25
8	Tepi	450x550	1179.978	372.262	1472.620	3D25
	Tengah	450x800	2110.358	600.966	1963.494	4D25
9	Tepi	450x550	941.033	421.729	1963.494	4D25
	Tengah	450x800	1645.382	693.530	1963.494	4D25
10	Tepi	400x550	700.0003	482.34612	1963.4938	4D25
	Tengah	400x800	1180.2052	750.24742	1963.4938	4D25
11	Tepi	400x550	457.87736	399.56558	1963.4938	4D25
	Tengah	400x800	719.73335	611.7279	1963.4938	4D25
12	Tepi	400x550	167.34464	296.14788	1963.4938	4D25
	Tengah	400x800	259.68289	275.4632	1963.4938	4D25

Tabel 5.7.b Tulangan kolom pada kombinasi momen balok struktur *non-rubber bearing*

Lantai	Letak	Dimensi	N_{nk}	M_{nk}	As	Tulangan Terpakai
1	Tepi	500x650	2950.910	683.805	1900.662	5D22
	Tengah	500x900	5514.933	980.530	2280.794	6D22
2	Tepi	500x650	2701.993	573.094	1900.662	5D22
	Tengah	500x900	5013.826	1016.319	2280.794	6D22
3	Tepi	500x650	2444.093	683.805	1900.662	5D22
	Tengah	500x900	4517.568	980.530	2280.794	6D22
4	Tepi	450x650	2182.515	511.900	1520.530	4D22
	Tengah	450x900	4022.428	914.733	2280.794	6D22
5	Tepi	450x650	1932.769	511.900	1520.530	4D22
	Tengah	450x900	3539.402	914.733	2280.794	6D22
6	Tepi	450x650	1682.007	511.900	1520.530	4D22
	Tengah	450x900	3058.407	914.733	2280.794	6D22
7	Tepi	450x550	1443.502	539.625	1520.530	4D22
	Tengah	450x800	2576.485	1026.451	1900.662	5D22
8	Tepi	450x550	1205.782	349.564	1520.530	4D22
	Tengah	450x800	2110.384	1026.451	1900.662	5D22
9	Tepi	450x550	941.024	545.250	2280.794	6D22
	Tengah	450x800	1645.404	788.142	1900.662	5D22
10	Tepi	400x550	699.99333	545.25045	2280.7943	6D22
	Tengah	400x800	1180.2222	788.1424	1900.662	5D22
11	Tepi	400x550	462.48573	258.27437	1140.3972	3D22
	Tengah	400x800	719.74555	788.1424	2280.7943	6D22
12	Tepi	400x550	182.01681	285.28072	1520.5296	4D22
	Tengah	400x800	259.68868	408.44407	1900.662	5D22

5.2.2.4 Desain Sengkang Kolom

Pada desain sengkang kolom akan dihitung gaya geser rencana kolom dan penulangan geser kolom.

a. Gaya Geser rencana Kolom

Gaya geser rencana kolom didapat dari momen-momen rencana komponen pada ujung atas dan bawah pada bidang muka balok dan gaya-gaya geser beban-beban terfaktor, dalam hal ini beban mati, hidup dan beban gempa. Gaya geser rencana kolom diambil dari nilai terkecil dari kedua persamaan berikut ini.

$$V_{u,k} = \frac{(M_{u,katas} + M_{u,kbawah})}{L_n}$$

(5.9)

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

(5.10)

Sebagai contoh hitungan ditinjau pada kolom tepi lantai 1 struktur dengan *rubber bearing*, yaitu:

$$M_{u,k atas} = 178,228 \text{ kNm}$$

$$M_{u,k-bawah} = 547,044 \text{ kNm (momen kapasitas kolom)}$$

$$V_D = 0,3917 \text{ kN}; V_L = 0,1288 \text{ kN}; V_E = 124,333 \text{ kN}$$

$$V_{u,k} = \frac{(178,228 + 547,044)}{3,4} = 213,315 \text{ kN}$$

$$V_{u,k} = 1,05(0,3917 + 0,1288 + \frac{4}{1} \cdot 124,333) = 522,7439 \text{ kN}$$

$$\text{Dipakai } V_{u,k} = 213,315 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama didapat gaya geser kolom terpakai lainnya yang ditunjukkan pada Tabel 5.8.a dan Tabel 5.8.b.

Tabel 5.8.a Gaya geser kolom pada kombinasi momen balok struktur dengan
rubber bearing

Lantai	Letak	M u k atas	M u k bawah	H n klm	Vd	Vl	Ve	Vu pakai
1	Tepi	178.228	547.044	3.40	0.3917	0.129	124.333	213.315
	Tengah	152.122	784.424	3.40	0	0.000	125.223	275.455
2	Tepi	189.138	339.065	3.40	58.739	19.324	66.611	155.354
	Tengah	439.163	788.761	3.40	0	0.000	212.435	361.154
3	Tepi	272.405	341.311	3.40	42.926	14.096	82.373	180.505
	Tengah	365.938	432.373	3.40	0	0.000	151.570	234.797
4	Tepi	212.770	205.596	3.45	45.307	15.009	69.993	121.265
	Tengah	381.687	390.404	3.45	0	0.000	146.048	223.795
5	Tepi	229.885	196.750	3.45	44.771	14.976	62.836	123.662
	Tengah	431.655	350.100	3.45	0	0.000	129.686	226.596
6	Tepi	369.503	285.403	3.45	50.141	16.648	57.571	189.828
	Tengah	515.741	401.679	3.45	0	0.000	108.202	265.919
7	Tepi	198.200	149.209	3.50	40.381	13.751	45.600	99.260
	Tengah	323.435	253.861	3.50	0	0.000	99.253	164.942
8	Tepi	297.810	185.836	3.50	44.296	15.349	38.522	138.184
	Tengah	480.772	250.223	3.50	0	0.000	81.140	208.856
9	Tepi	337.383	138.391	3.50	44.657	15.451	30.843	135.935
	Tengah	554.824	149.741	3.50	0	0.000	62.878	201.304
10	Tepi	385.877	98.817	3.50	42.896	14.693	22.308	138.484
	Tengah	600.198	75.690	3.50	0	0.000	45.426	190.791
11	Tepi	319.652	50.323	3.50	43.38	15.560	13.700	105.707
	Tengah	489.382	30.316	3.50	0	0.000	27.416	115.147
12	Tepi	236.918	13.057	3.50	46.253	13.395	6.020	71.421
	Tengah	220.371	113.530	3.50	0	0.000	6.746	28.333

Tabel 5.8.b Gaya geser kolom pada kombinasi momen balok struktur *non-rubber bearing*

Lantai	Letak	M u k atas	M u k bawah	H n klm	Vd	VI	Ve	Vu pakai
1	Tepi	32.789	547.044	3.40	26.852	8.830	68.566	170.539
	Tengah	76.191	784.424	3.40	0	0.000	160.405	253.122
2	Tepi	178.960	430.995	3.40	48.005	15.795	70.543	179.398
	Tengah	297.793	734.083	3.40	0	0.000	150.976	303.493
3	Tepi	249.271	333.513	3.40	45.253	14.861	69.617	171.407
	Tengah	342.096	497.118	3.40	0	0.000	141.186	246.828
4	Tepi	197.499	222.914	3.45	44.82	14.849	65.418	121.859
	Tengah	344.003	412.646	3.45	0	0.000	133.722	219.318
5	Tepi	210.275	212.021	3.45	44.876	15.010	60.314	122.405
	Tengah	387.758	387.784	3.45	0	0.000	125.704	224.795
6	Tepi	212.640	199.245	3.45	50.115	16.639	58.307	119.387
	Tengah	340.950	344.028	3.45	0	0.000	109.528	198.544
7	Tepi	220.521	207.543	3.50	40.383	13.752	48.964	122.304
	Tengah	419.716	438.570	3.50	0	0.000	106.927	245.224
8	Tepi	262.576	211.178	3.50	44.293	15.348	44.180	135.358
	Tengah	528.869	401.445	3.50	0	0.000	94.224	265.804
9	Tepi	301.024	170.887	3.50	44.655	15.451	38.282	134.832
	Tengah	464.702	224.431	3.50	0	0.000	79.503	196.895
10	Tepi	343.891	135.176	3.50	42.895	14.692	30.269	136.876
	Tengah	524.635	165.812	3.50	0	0.000	63.405	197.271
11	Tepi	206.610	92.310	3.50	43.379	15.559	20.546	85.408
	Tengah	517.908	105.879	3.50	0	0.000	43.108	178.225
12	Tepi	228.225	45.937	3.50	46.251	13.394	10.049	78.332
	Tengah	326.755	112.606	3.50	0	0.000	14.276	59.959

b. Penulangan Geser Kolom

Pada penulangan geser kolom dilakukan pada dua tempat yaitu, pada daerah sepanjang l_o (daerah terjadinya sendi plastis) dan pediluar daerah l_o .

1. Penulangan geser sepanjang l_o

Daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis adalah sepanjang l_o dari muka kolom yang ditinjau, dimana l_o tidak boleh kurang dari:

$$l_o \geq h = 650 \text{ mm, bila } N_{u,k} < 0,3 \cdot A_g \cdot f_c'$$

$$l_o \geq 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 650 = 975 \text{ mm, bila } N_{u,k} > 0,3 \cdot A_g \cdot f_c'$$

$$l_o \geq \frac{1}{6} \cdot H_k = \frac{1}{6} \cdot 4000 = 666,666 \text{ mm}$$

Sebagai contoh perhitungan ditinjau penulangan geser kolom tepi lantai 1 struktur dengan *rubber bearing*.

$$N_{u,k} = 2358,937 \text{ kN} < 0,3 \cdot 500 \cdot 650 \cdot 30 = 2925$$

$$V_c = 0$$

$$V_{u,k} = 213,315 \text{ kN}$$

$$V_{s,k} = \frac{V_{u,k}}{0,6} = \frac{213,315}{0,6} = 355,525$$

dipakai $l_o = 666,666 \text{ mm}$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s,k}} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 400 \cdot 587,5}{355,525} = 103,828$$

dipakai $\emptyset 10 - 100$

2. Penulangan geser daerah diluar l_o .

$$V_c = \left[1 + \frac{N_{u,k}}{14 \cdot A_g} \right] \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \left[1 + \frac{2358,937}{14 \cdot 500 \cdot 650} \right] \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30} \cdot 500 \cdot 587,5$$

$$= 268,295 \text{ kN}$$

$$V_{s,k} = \frac{V_{u,k}}{0,6} - V_c = \frac{213,315}{0,6} - 268,295 = 87,231 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s,k}} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 400 \cdot 587,5}{87,231} = 423,1724$$

dipakai $\emptyset 10 - 200$

Dengan cara sama didapat dimensi dan jarak sengkang geser kolom lainnya yang ditunjukkan dalam Tabel 5.9.a dan Tabel 5.9.b.

Tabel 5.9.a Tulangan geser kolom pada kombinasi momen balok struktur dengan
rubber bearing

Kolom Lantai	Letak	V _{uk}	V _c	Sepanjang daerah l _o			Diluar daerah l _o		
				V _{sk}	S	Tul Pakai	V _{sk}	S	Tul Pakai
1	Tepi	213.315	268.295	355.526	103.828	P 10 – 100	87.231	423.172	P 10 - 200
	Tengah	275.455	382.533	459.091	114.621	P 10 – 100	76.559	687.339	P 10 - 200
2	Tepi	155.354	268.284	258.923	142.566	P 10 – 140	-9.361	-3943.245	P 10 - 200
	Tengah	361.154	382.508	601.924	87.422	P 10 – 85	219.416	239.826	P 10 - 200
3	Tepi	180.505	268.271	300.841	122.702	P 10 – 120	32.570	1133.359	P 10 - 200
	Tengah	234.797	382.484	391.329	134.469	P 10 – 120	8.845	5949.420	P 10 - 200
4	Tepi	121.265	241.443	202.109	182.542	P 10 – 180	-39.334	-938.466	P 10 - 200
	Tengah	223.795	344.233	372.991	141.080	P 10 – 120	28.757	1829.845	P 10 - 200
5	Tepi	123.662	241.431	206.104	179.102	P 10 – 150	-35.328	-1044.895	P 10 - 200
	Tengah	226.596	344.210	377.659	139.336	P 10 – 120	33.449	1573.182	P 10 - 200
6	Tepi	189.828	241.421	316.380	116.675	P 10 – 110	74.959	492.455	P 10 - 200
	Tengah	265.919	344.187	443.198	118.732	P 10 – 110	99.011	531.470	P 10 - 200
7	Tepi	99.260	200.326	165.433	185.154	P 10 – 180	-34.893	-877.833	P 10 - 200
	Tengah	164.942	303.083	274.903	168.563	P 10 – 150	-28.180	-1644.368	P 10 - 200
8	Tepi	138.184	200.316	230.307	132.998	P 10 – 130	29.992	1021.301	P 10 - 200
	Tengah	208.856	303.001	340.093	103.121	P 10 – 130	45.000	1020.999	P 10 - 200
9	Tepi	135.935	200.305	226.559	135.199	P 10 – 130	26.254	1166.686	P 10 - 200
	Tengah	201.304	303.038	335.507	138.115	P 10 – 130	32.469	1427.147	P 10 - 200
10	Tepi	138.484	178.042	230.807	132.711	P 10 – 130	52.765	580.512	P 10 - 200
	Tengah	190.791	269.354	317.985	145.725	P 10 – 140	48.631	952.856	P 10 - 200
11	Tepi	105.707	178.031	176.179	173.860	P 10 – 170	-1.852	-16539.262	P 10 - 200
	Tengah	115.147	269.332	191.912	241.457	P 10 – 200	-77.420	-598.535	P 10 - 200
12	Tepi	71.421	178.018	119.036	257.322	P 10 – 200	-58.982	-519.320	P 10 - 200
	Tengah	28.333	269.309	47.221	981.304	P 10 – 200	-222.088	-208.649	P 10 - 200

Tabel 5.9.b Tulangan geser kolom pada kombinasi momen balok struktur *non-rubber bearing*

Kolom lantai	Letak	V _{uk}	V _c	Sepanjang daerah l _o			Diluar daerah l _o		
				V _{sk}	S	Tul Pakai	V _{sk}	S	Tul Pakai
1	Tepi	170.539	268.295	284.232	129.872	P 10 - 120	15.937	2316.240	P 10 - 200
	Tengah	253.122	382.532	421.870	124.734	P 10 - 120	39.338	1337.683	P 10 - 200
2	Tepi	179.398	268.283	298.997	123.458	P 10 - 120	30.714	1201.848	P 10 - 200
	Tengah	303.493	382.508	505.821	104.032	P 10 - 100	123.313	426.731	P 10 - 200
3	Tepi	171.407	268.271	285.679	129.214	P 10 - 120	17.407	2120.570	P 10 - 200
	Tengah	246.828	382.484	411.380	127.915	P 10 - 120	28.896	1821.098	P 10 - 200
4	Tepi	121.859	241.443	203.098	181.753	P 10 - 150	-38.345	-962.672	P 10 - 200
	Tengah	219.318	344.233	365.531	143.960	P 10 - 120	21.297	2470.825	P 10 - 200
5	Tepi	122.405	241.431	204.008	180.943	P 10 - 150	-37.424	-986.370	P 10 - 200
	Tengah	224.795	344.210	374.658	140.452	P 10 - 120	30.448	1728.254	P 10 - 200
6	Tepi	119.387	241.420	198.978	185.516	P 10 - 150	-42.441	-869.760	P 10 - 200
	Tengah	198.544	344.187	330.907	159.022	P 10 - 150	-13.279	-3962.622	P 10 - 200
7	Tepi	122.304	200.328	203.840	150.267	P 10 - 150	3.512	8720.523	P 10 - 200
	Tengah	245.224	303.083	408.707	113.378	P 10 - 110	105.625	438.709	P 10 - 200
8	Tepi	135.358	200.317	225.597	135.775	P 10 - 120	25.281	1211.621	P 10 - 200
	Tengah	265.804	303.061	443.006	104.600	P 10 - 100	139.946	331.117	P 10 - 200
9	Tepi	134.832	200.305	224.720	136.305	P 10 - 120	24.415	1254.580	P 10 - 200
	Tengah	196.895	303.038	328.159	141.207	P 10 - 120	25.121	1844.641	P 10 - 200
10	Tepi	136.876	178.042	228.127	134.269	P 10 - 120	50.085	611.572	P 10 - 200
	Tengah	197.271	269.354	328.784	140.939	P 10 - 120	59.431	779.706	P 10 - 200
11	Tepi	85.408	178.031	142.347	215.182	P 10 - 200	-35.684	-858.383	P 10 - 200
	Tengah	178.225	269.332	297.041	156.000	P 10 - 150	27.710	1672.290	P 10 - 200
12	Tepi	78.332	178.018	130.553	234.621	P 10 - 200	-47.465	-645.325	P 10 - 200
	Tengah	59.959	269.309	99.932	463.698	P 10 - 200	-169.377	-273.582	P 10 - 200

5.2.3 Pertemuan Balok Kolom

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, titik pertemuan joint rangka (pertemuan balok kolom) harus dianalisis dengan memperhitungkan seluruh pengaruh gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada titik pertemuan balok kolom (joint) tersebut, yaitu dengan memperhitungkan kebutuhan penulangan geser arah horisontal dan vertikal. Berikut ini adalah hitungan pertemuan balok-kolom lantai 1 joint tepi pada struktur dengan rubber bearing.

1. Penulangan Geser Horizontal

$$M_{kap} = 781,492 \text{ kNm}; M_{kap}' = 0$$

$$V_k = 0,7 \left[\frac{\frac{L_{ki}}{L_{ki}} \cdot M_{kap} + \frac{L_{ka}}{L_{ka}} \cdot M_{kap}'}{\frac{1}{2} \cdot (h_{k,b} + k_{k,a})} \right] = 0,7 \cdot \left[\frac{\frac{9}{8,23} \cdot 781,492 + 0}{\frac{1}{2} \cdot (4 + 4)} \right] = 149,557 \text{ kN}$$

$$z \text{ diasumsikan} = 0,45 \text{ mm}$$

$$T = 0,7 \cdot \frac{M_{kap}}{z} = 0,7 \cdot \frac{781,492}{0,45} = 1215,654 \text{ kN}$$

$$V_{j,h} = T - V_k = 1215,654 - 149,557 = 1066,098 \text{ kN}$$

Kontrol tegangan geser horizontal:

$$v_{j,h} = \frac{V_{j,h}}{b_j \cdot h_c} = \frac{1066,098}{0,5 \cdot 0,65} = 3,2803 \text{ MPa} < 1,5 \cdot \sqrt{f_c'} = 8,22 \text{ MPa}$$

Penulangan geser horizontal:

$$N_u = 2948,671 \text{ kN}; \frac{N_u}{A_g} = \frac{2948,671}{500 \cdot 650} = 9,073 \text{ MPa}$$

$$V_{c,h} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{N_u}{A_g} \right) - 0,1 \cdot f_c' \right]} \cdot b_j \cdot h_c = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{[9,073 - 0,1 \cdot 30]} \cdot 500 \cdot 650$$

$$= 533,9343 \text{ kN/mm}$$

$$V_{s,h} = V_{j,h} - V_{c,h} = 1066,098 - 533,9394 = 532,163 \text{ kN/mm}$$

$$A_{s,h} = \frac{V_{s,h}}{f_y} = \frac{532,163 \cdot 1000}{400} = 1330,408 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang rangkap Ø10 ($A_s = 314,159 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah lapis perlu} = \frac{A_{s,h}}{A_s} = \frac{1330,408}{314,159} = 4,234 \approx 5$$

Dipakai 5 lapis sengkang rangkap Ø10

2. Penulangan Geser Vertikal.

$$A_s = 3694,510 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 1231,503 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,v} = \frac{A_s \cdot V_{j,h}}{A_s} \cdot \left(0,6 + \frac{N_u}{A_g \cdot f_c'}\right) = \frac{3694,510 \cdot 1066,098}{1231,503} \cdot \left(0,6 + \frac{2948,671}{0,5 \cdot 0,65 \cdot 30}\right)$$

$$= 969,1717 \text{ kNm}$$

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v} = 1066,098 - 969,1717 = 96,926 \text{ kN}$$

$$A_{j,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y} = \frac{96,926}{400} = 242,315 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan kolom terpasang} = A_s = 1963,4954 > A_{j,v}$$

Dengan cara yang sama didapat penulangan geser pertemuan balok kolom lainnya yang ditunjukkan dalam Tabel 5.10.a dan Tabel 5.10.b .

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Tabel 5.10.a Tulangan geser joint balok kolom pada kombinasi momen balok struktur dengan *rubber bearing*

Lantai	Letak	M kap joint (kNm)		Z	Vk	Nu	Tul. Geser Hor.		Tul. Geser Vert.	
		M kap	M kap'				A sh perlu	Pakai	Asv Perlu	Pakai
1	Tepi	781.492	0	0.45	149.55647	2948.671	1330.4084	5	0.000	0
	Tengah	781.492	781.492	0.45	149.55647	5519.410	382.31566	2	0.000	0
2	Tepi	718.451	0	0.45	137.49223	2721.479	1194.5873	4	0.000	0
	Tengah	718.451	718.451	0.45	137.49223	5012.774	310.51188	1	0.000	0
3	Tepi	781.492	0	0.45	149.55647	2444.004	1513.6434	5	0.000	0
	Tengah	781.492	781.492	0.45	149.55647	4517.742	675.35024	3	0.000	0
4	Tepi	585.028	0	0.4	111.95865	2182.561	1249.8636	4	0.000	0
	Tengah	585.028	585.028	0.4	111.95865	4022.334	502.45588	2	0.000	0
5	Tepi	585.028	0	0.4	119.25283	1932.786	1502.1504	5	0.000	0
	Tengah	929.488	929.488	0.4	177.87897	3539.365	2004.745	7	0.000	0
6	Tepi	585.028	0	0.4	111.95865	1713.836	1455.2709	5	0.000	0
	Tengah	929.488	929.488	0.4	119.25283	3058.368	988.05448	4	0.000	0
7	Tepi	493.308	0	0.35	93.272461	1405.924	1558.0025	5	0.000	0
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.82123	2576.454	1597.8673	6	0.000	0
8	Tepi	493.308	0	0.35	93.272461	1179.978	1664.936	6	0.000	0
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.82123	2110.358	1806.0983	6	0.000	0
9	Tepi	623.143	0	0.35	117.82123	941.033	2451.7161	8	0.000	0
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.82123	1645.382	2069.2447	7	0.000	0
10	Tepi	623.143	0	0.35	117.82123	700.000	2664.816	9	0.000	0
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.82123	1180.205	2378.741	8	0.000	0
11	Tepi	623.143	0	0.35	117.82123	457.877	2821.1638	9	42.469	1
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.82123	719.733	2821.1638	9	51.947	1
12	Tepi	623.143	0	0.35	235.64245	167.345	2526.6107	9	58.621	1
	Tengah	623.143	623.143	0.35	235.64245	259.683	2526.6107	9	67.743	1

Tabel 5.10.b Tulangan geser joint balok kolom pada kombinasi momen balok struktur non-rubber bearing

Lantai	Letak	M kap Joint (kNm)		Z	V _k	N _u	Tul. Geser Horis.		Tul. Geser Vert.	
		M _{kap}	M _{kap'}				A sh perlu	Pakai	Asv Perlu	Pakai
1	Tepi	781.492	0	0.45	149.556	2360.728	1546.7609	5	0.000	0
	Tengah	781.492	781.492	0.45	149.556	4411.946	708.86153	3	0.000	0
2	Tepi	718.451	0	0.45	125.343	2161.595	1198.7241	4	0.000	0
	Tengah	718.451	718.451	0.45	125.343	4011.061	409.90533	2	0.000	0
3	Tepi	781.492	0	0.45	149.556	1955.274	1724.5158	6	0.000	0
	Tengah	781.492	781.492	0.45	149.556	3614.054	982.96364	4	0.000	0
4	Tepi	585.028	0	0.4	111.959	1746.012	1439.5634	5	0.000	0
	Tengah	585.028	585.028	0.4	111.959	3217.943	778.49944	3	0.000	0
5	Tepi	585.028	0	0.4	111.959	1546.215	1542.4928	5	0.000	0
	Tengah	929.488	929.488	0.4	111.959	2831.522	931.05254	3	0.000	0
6	Tepi	585.028	0	0.4	111.959	1345.606	1662.8887	6	9.153	1
	Tengah	929.488	929.488	0.4	111.959	2446.725	1102.4488	4	0.000	0
7	Tepi	493.308	0	0.35	116.606	1154.802	2259.6493	8	81.387	1
	Tengah	623.143	623.143	0.35	116.606	2061.188	1801.5073	6	0.000	0
8	Tepi	493.308	0	0.35	116.606	964.626	2401.2733	8	101.410	1
	Tengah	623.143	623.143	0.35	116.606	1688.307	2012.1161	7	19.943	1
9	Tepi	623.143	0	0.35	117.821	752.819	2736.9353	9	0.000	0
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.821	1316.323	2335.0329	8	0.000	0
10	Tepi	623.143	0	0.35	117.821	559.995	2821.1638	9	0.000	0
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.821	944.178	2821.1638	9	13.284	1
11	Tepi	623.143	0	0.35	117.821	369.989	2821.1638	9	192.198	2
	Tengah	623.143	623.143	0.35	117.821	575.796	2821.1638	9	4.426	1
12	Tepi	623.143	0	0.35	235.642	145.613	2526.6107	9	133.488	1
	Tengah	623.143	623.143	0.35	235.642	207.751	2526.6107	9	73.179	1