

7. dan seluruh pihak yang ikut terlibat baik langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhirnya semoga Tugas Akhir ini tidak hanya menjadi arsip yang tertumpuk dan terlupakan, tetapi lebih dari itu dapat dimanfaatkan bagi pihak-pihak yang membutuhkannya.

Wassalamu 'alaikum Wr.Wb.



Yogyakarta, Desember 1997

penyusun

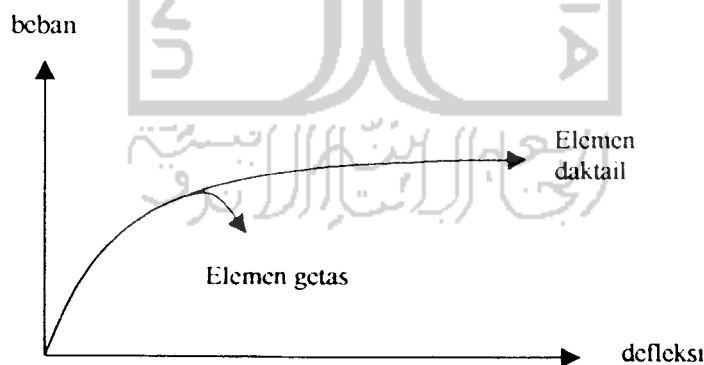
(GUSTI ANDRI WAHYUDI)

<u>GAMBAR</u>	<u>KETERANGAN</u>	<u>HAL.</u>
5.9	Gaya geser akibat gempa pada portal 5 lantai arah sumbu y.	135
5.10	Gaya geser akibat gempa pada portal 10 lantai arah sumbu x	135
5.11	Gaya geser akibat gempa pada portal 10 lantai arah sumbu y	136
5.12	Momen batas kolom.....	136
5.13	Tampang kolom.....	137
5.14	Tampang balok elemen satu portal IV.....	138
6.1	Diagram daktilitas balok portal C (5 lantai).....	259
6.2	Diagram daktilitas balok 10 m portal IV (5 lantai).....	259
6.3	Diagram daktilitas balok 3 m portal IV (5 lantai).....	259
6.4	Diagram daktilitas balok portal C (10 lantai).....	260
6.5	Diagram daktilitas balok 10 m portal IV (10 lantai).....	260
6.6	Diagram daktilitas balok 3 m portal IV (10 lantai).....	260
6.7	Diagram daktilitas kolom portal 5 lantai.....	261
6.8	Diagram daktilitas kolom portal 10 lantai.....	261



Mengingat Indonesia merupakan daerah jalur gempa dunia, maka bangunan-bangunan fisik di Indonesia menjadi sangat rentan terhadap bahaya gempa. Oleh karena itu bangunan-bangunan yang dinilai memiliki arti penting sudah sepantasnya direncanakan sedemikian rupa agar tahan gempa.

Beton sebagai salah satu bahan bangunan merupakan jenis material getas, sehingga penggunaannya dalam bidang konstruksi dikombinasikan dengan baja tulangan agar beton dapat berperilaku duktail. Pemilihan unsur struktur tahan gempa dapat didasarkan atas 2 aspek, yaitu aspek kekuatan dan daktilitas. Akan tetapi, karena daya serap energi merupakan tolak ukur yang lebih penting dibandingkan kekuatan saja, maka struktur tahan gempa menuntut daktilitas yang cukup (Binsar, 1987), sehingga dalam perencanaan struktur bangunan gedung di daerah rawan gempa, perlu diperhatikan bahwa segenap komponen struktur penahan gempa harus direncanakan dan dibuat detailnya sedemikian rupa, agar keseluruhannya mampu memberikan perilaku duktail sepenuhnya.



Gambar 1.1
Hubungan antara beban-defleksi balok lentur

Dari gambar 1.1 terlihat bahwa suatu elemen struktur duktail memiliki kemampuan berdeformasi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan elemen struktur getas. Ini berarti, saat suatu struktur mengalami beban gempa yang

merupakan pembebanan balok-balik, maka dengan elemen daktail tersebut, struktur akan mampu berdeformasi secara inelastis tanpa mengakibatkan penurunan kekuatan yang berarti, sehingga kegagalan elemen yang dapat mengakibatkan keruntuhan total bangunan (*Collapse*) dapat dihindari. Berdasarkan kenyataan bahwa secara ekonomis tidaklah lazim untuk merencanakan struktur bangunan gedung sedemikian kuat sehingga tahan terhadap gempa secara elastik. Sebab kejadian gempa dengan kekuatan besar adalah sangat jarang sekali.

Studi-studi kasus yang telah dipelajari selama ini menunjukkan bahwa sendi-sendi plastis cenderung akan terbentuk pada elemen-elemen struktur yang lemah pada saat struktur tersebut dilanda beban gempa besar, sehingga disarankan dalam perencanaan struktur berlantai banyak diarahkan ke konsep struktur *strong column weak beam*. Konsep *strong column weak beam* ini adalah merupakan suatu konsep yang digunakan untuk merencanakan struktur tahan gempa yang menitikberatkan pada sistem keruntuhan pada balok (*beam sway mechanism*). Dalam hal ini sifat elastis pada elemen kolom dipertahankan dan energi yang dihamburkan oleh beban gempa diserap oleh sendi-sendi plastis yang terbentuk pada ujung-ujung balok setiap lantai dan ujung bawah kolom dasar. Dalam merencanakan suatu struktur portal tahan gempa, konsep *strong column weak beam* ini sangat dianjurkan untuk digunakan, sebab konsep ini akan memberikan **keuntungan-keuntungan sebagai berikut, yaitu :**

1. pemancaran energi tersebar dalam banyak komponen,
2. bahaya ketidakstabilan struktur akibat efek $P-\Delta$ kecil,

3. sendi-sendi plastis dalam balok dapat berfungsi dengan baik, yang memungkinkan berlangsungnya rotasi-ratasi plastis besar, dan
4. daktilitas balok yang dituntut untuk mencapai tingkat daktilitas 4 pada umumnya dapat dipenuhi dengan detail penulangan yang ada (Istimawan, 1994).

Sekarang yang menjadi permasalahan adalah bagaimanakah caranya memaksakan agar sendi-sendi plastis terjadi di balok pada saat suatu struktur mengalami beban gempa.

1.2 Tujuan

Tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisa bagaimanakah sistem penulangan pada elemen struktur balok dan kolom suatu portal yang mengalami beban gempa besar, sehingga mengakibatkan terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujung balok dan ujung bawah kolom dasar (daerah tumpuan).

1.3 Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diambil dari penulisan ini adalah dapat mengetahui lebih dalam tentang perencanaan sistem penulangan tahan gempa yang baik pada suatu portal sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03, sehingga besar angka daktilitas yang dibutuhkan saat terjadi gempa besar dapat terpenuhi oleh detail pemasangan penulangan yang ada, dan bila terjadi gempa besar, keruntuhan total dapat dihindari untuk meminimalkan kerugian, baik harta benda maupun nyawa manusia.

b. Lantai 4

1) Beban mati

$$\text{a) plat lantai} = 20 \times 23 \times 0,13 \times 2.400 = 143.520 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{b) balok atap} &= (20 \times 4 \times 0,3 \times 0,27 + \\ &12 \times 10 \times 0,4 \times 0,57 + \\ &6 \times 3 \times 0,3 \times 0,27) \times 2.400 = 84.715 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{c) dinding} = 130 \times 3,5 \times 250 = 113.750 \text{ kg}$$

$$\text{d) plafon} = 20 \times 23 \times (11 + 7) = 8.280 \text{ kg}$$

$$\text{e) spesi} = 20 \times 23 \times 42 = 19.320 \text{ kg}$$

$$\text{f) tegel} = 20 \times 23 \times 48 = \underline{22.080 \text{ kg}}$$

$$391.665 \text{ kg}$$

$$\text{g) kolom} = 24 \times 0,45 \times 0,45 \times 3,50 \times 2.400 = \underline{40.824 \text{ kg}}$$

$$W_m = 432.490 \text{ kg}$$

2) Beban hidup

$$q_h \text{ lantai} = 250 \text{ kg/cm}^2 \text{ (PPI-1983)}$$

koefisien reduksi = 0,3 (PPI-1983), sehingga :

$$W_h = 0,3 \times 20 \times 23 \times 250 = 34.500 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi berat total lantai 4} = W_m + W_h$$

$$= 432.490 + 34.500 = 466.990 \text{ kg}$$

c. Lantai 1 = 391.666 + berat kolom + beban hidup lantai

$$= 391.666 + (24 \times 0,45 \times 0,45 \times 4,25 \times 2.400) + 34.500$$

$$= 391.666 + 49.572 + 34.500$$

$$= \underline{475.738 \text{ kg}}$$

4. Distribusi gaya geser horisontal total akibat gempa

a. arah sumbu x

Kontrol H/A atau $H/B < 3$

Dari batasan masalah diketahui : $H = 19$ m, $A = 20$ m, $B = 23$ m, jadi

$$19/20 = 0.95 < 3$$

sehingga gaya geser horisontal total akibat gempa didistribusikan merata pada masing-masing lantai berdasarkan persamaan (5.4). Untuk mempermudah perhitungan, maka perhitungan disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 5.1
Distribusi gaya geser horisontal arah sumbu x pada portal 5 lantai

tingkat (i)	W_i (kg)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (kg-m)	$F_{i(total)}$ (kg)	untuk tiap portal	
					$1/4 F_{i,x}$ (ton)	$1/6 F_{i,y}$ (ton)
1	475.738	5,0	2.378.690	18.562	4,6410	3,0940
2	466.990	8,5	3.969.415	30.976	7,7440	5,1630
3	466.990	12,0	5.603.880	43.731	10,9330	7,2880
4	466.990	15,5	7.238.345	56.485	14,1210	9,4140
5	328.603	19,0	6.243.457	48.722	12,1800	8,1200
			$\Sigma w_i h_i = 25.433.787$			

5 Kontrol waktu getar dengan rumus Rayleigh

a). Arah sumbu X

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c}$$

$$= 4.700 \sqrt{30} = 25.742,96 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ Mpa} = 10,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 102 \text{ t/m}^2$$

b) arah sumbu y

$$K_1 = 4 \left(\frac{12EI}{H_1^3} \right) = 4 \left(\frac{12 \times 2.625.782 \times 0,0034}{5^3} \right) = 3.428 \text{ ton/m}$$

$$K_2 = 4 \left(\frac{12EI}{H_2^3} \right) = 4 \left(\frac{12 \times 2.625.782 \times 0,0034}{3,5^3} \right) = 9.995 \text{ ton/m}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 0,45 \times (0,45)^3 = 0,0034 \text{ m}^4$$

Tabel 5.4
Hitungan simpangan lateral arah sumbu y portal 5 lantai

Tingkat (i)	F _i (ton)	Gaya Geser (ton)	Kekakuan (t/m)	Storey Drift (m)	simpangan lateral d _i (m)
5	8,1200	8,1200	9.995	0,000812	0,017699
4	9,4140	17,5340	9.995	0,001254	0,016886
3	7,2880	24,8220	9.995	0,002483	0,015132
2	5,1630	29,9850	9.995	0,003000	0,012648
1	3,0900	33,0750	3.428	0,000648	0,009648

Tabel 5.5
Hitungan persamaan Rayleigh arah sumbu y portal 5 lantai

Tingkat (i)	W _i (ton)	Simpangan lateral d _i (m)	W _i x d _i ² (tm ²)	F _i (ton)	F _i x d _i (t-m)
5	54,7672	0,017699	0,0172	8,1200	0,1437
4	77,8317	0,016886	0,0222	9,4140	0,1590
3	77,8317	0,015132	0,0178	7,2880	0,1103
2	77,8317	0,012648	0,0125	5,1630	0,0653
1	79,2897	0,009648	0,0074	3,0900	0,0298
			ΣW _i d _i ² =0,0771		ΣF _i d _i =0,5081

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i d_i^2}{g \sum F_i d_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,0771}{9,81 \times 0,5081}}$$

$$= 0,781 \text{ dt} > 0,546 \text{ dt} \rightarrow \text{OK}$$

2) Beban merata plat per m' akibat beban hidup

a) Balok A-B atau C-D

$$q_h \text{ atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

koefisien reduksi = 0,6 (PPI-1983), sehingga diperoleh

$$q_{pl} = 0,6 \times 100 = 60 \text{ kg/m}^2$$

Beban merata ekivalen bentuk trapesium

$$q_{eq} = 2 \times \frac{1}{6} l_x \left[3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right] q_{pl}$$

$$q_{eq} = 2 \times \frac{1}{6} \times 4 \left[3 - \left(\frac{4}{10} \right)^2 \right] \times 60 = 227,2 \text{ kg/m}^2 \sim 228 \text{ kg/m}^2$$

b) Balok B-C

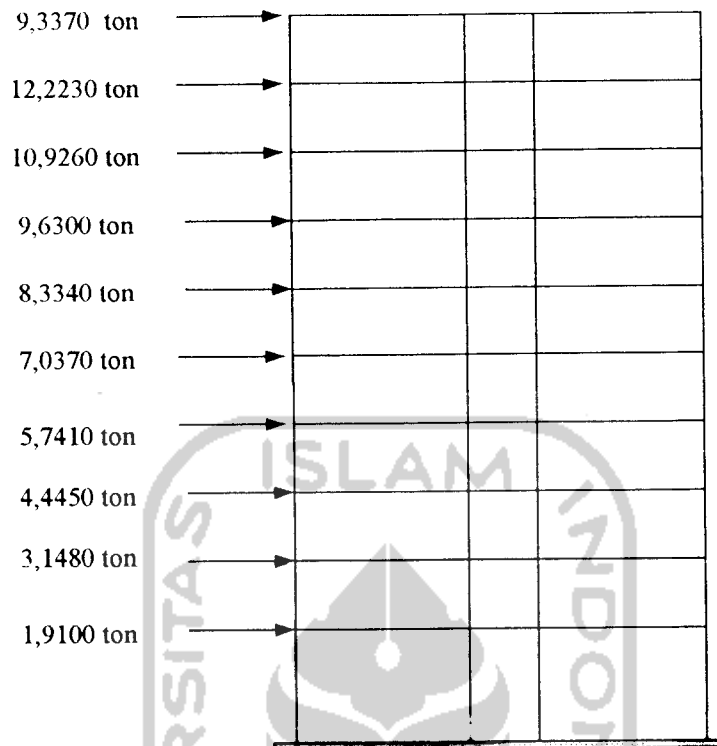
$$q_h \text{ atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

koefisien reduksi = 0,6 (PPI-1983), sehingga diperoleh

$$q_{pl} = 0,6 \times 100 = 60 \text{ kg/m}^2$$

beban merata ekivalen bentuk segitiga :

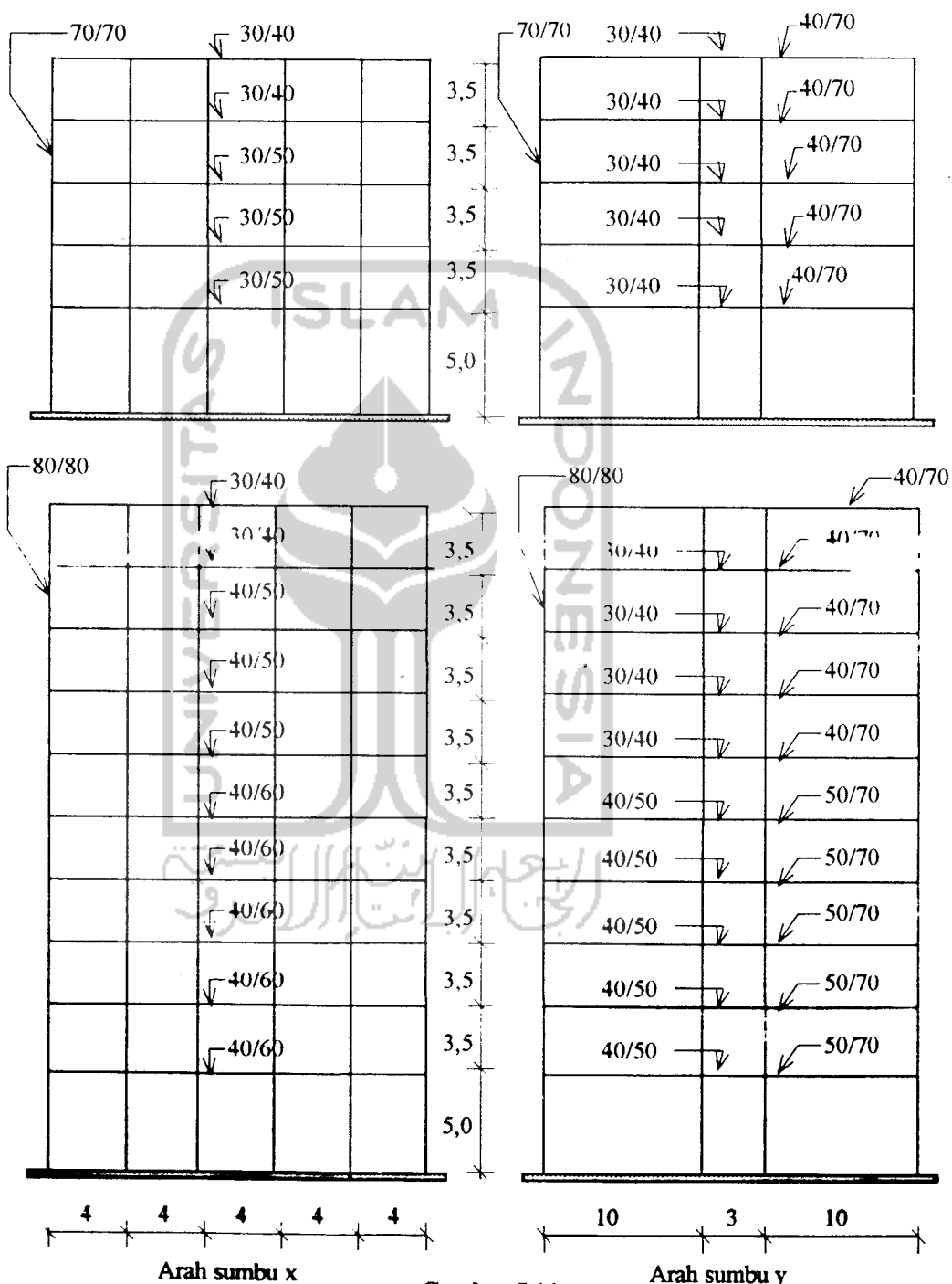
$$q_{eq} = 2 \times \frac{1}{3} q_{pl} l_x = 2 \times \frac{1}{3} \times 60 \times 3 = 120 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 5.13
Gaya geser akibat gempa pada portal 10 lantai arah sumbu y

Setelah pembebanan yang terdapat pada gambar 5.8 sampai 5.13 dihitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan tertentu dengan bantuan program komputer Microfeap P1, maka gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing elemen relatif sangat besar, sehingga dengan asumsi dimensi yang terdapat pada gambar 5.1 dan 5.2 diperkirakan elemen-elemen yang ada tidak cukup kuat untuk menahan gaya yang bekerja tersebut. Untuk itu, maka dimensi elemen portal diperbesar tanpa harus menghitung ulang besarnya beban yang bekerja setelah pembesaran dimensi batang, termasuk perhitungan analisis strukturnya. Sebab besarnya penambahan berat sendiri diperkirakan kurang dari 5% dari berat total bangunan sebelum perubahan dimensi. Sementara itu, dengan pembesaran

dimensi maka kekakuan elemen akan bertambah jauh lebih besar dibandingkan dengan kekakuan sebelum pembesaran. Besarnya perubahan dimensi portal dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5.14
Dimensi elemen portal yang direvisi

$$k = f_c' \omega (1 - 0,59\omega)$$

$$= 30 \times 0,1608 (1 - 0,59 \times 0,1608) = 4,3665$$

sehingga diperoleh :

$$M_n = b d^2 k = 300 \times 405^2 \times 4,3665 = 2,17 \times 10^8 \text{ N-mm}$$

$$= 216,99 \text{ kN-m}$$

c. Menentukan tulangan geser

Untuk struktur portal tahan gempa, gaya geser rencana dihitung berdasarkan persamaan (3.38), tetapi tidak perlu lebih besar dari gaya geser yang diberikan oleh persamaan (3.39). Untuk elemen 1 s/d 5, besarnya gaya geser rencana adalah sebagai berikut :

$$V_{u,b} = 0,70 \frac{M_{ksp} + M_{ksp'}}{l_n} + 1,05 V_g$$

dengan :

$$M_{ksp} = \phi M_{sak}$$

dan ditetapkan nilai $\phi = 1,4$ untuk $f_y \geq 400 \text{ MPa}$, sehingga :

$$M_{ksp} = 1,4 \times 292,7465 = 409,8451 \text{ kN-m}$$

$$M_{ksp'} = 1,4 \times 216,99 = 303,7910 \text{ kN-m}$$

$V_g = 62,14 \text{ kN}$ (diperoleh dari hasil analisa struktur), sehingga :

$$V_{u,b} = 0,70 \times \frac{409,8451 + 303,7910}{3,55} + 1,05 \times 62,14 = 205,9640 \text{ kN}$$

$$1,05 V_g - 0,7 \frac{M_{ksp} + M_{ksp'}}{l_n} = 65,247 - 140,7170 = -75,47 \text{ kN}$$

bila digunakan tulangan ϕ_{10} , maka :

$$s = \frac{157 \times 400 \times 405}{99,6831 \times 10^3} = 256,4086 > \frac{d}{2} = 202 \text{ mm}$$

Dipasang ϕ_{10-200}

5.4.2 Portal 10 Lantai

Dengan menggunakan cara yang sama seperti pada balok portal 5 lantai, maka diperoleh tulangan lentur dan geser untuk balok lantai satu portal 10 lantai sebagai berikut :

1. tulangan lentur
 - a. tulangan tumpuan atas : $6D_{25}$
 - b. tulangan tumpuan bawah : $5D_{25}$
2. tulangan geser
 - a. di dalam daerah sendi plastis : D_{10-70}
 - b. di luar daerah sendi plastis : D_{10-200}

Karena perhitungan balok untuk lantai-lantai berikutnya merupakan tipikal dengan balok lantai 1, maka yang disajikan hanya merupakan hasil akhirnya saja yang berupa tabel, yaitu :

Tabel 5.12
Tulangan lentur dan geser balok portal C (Portal 10 lantai)

LANTAI	UKURAN BALOK	TULANGAN ATAS (mm ²)		TULANGAN BAWAH (mm ²)		M _{max,b} (kN-m)		TULANGAN GESER	
		PERLU	TERPASANG	PERLU	TERPASANG	NEGATIF	POSITIF	DALAM DAERAH SENDI PLASTIS	DILUAR DAERAH SENDI PLASTIS
1	40/60	2.759,16	6D ₂₅ = 2.945,20	2.262,51	5D ₂₅ = 2.454,80	565,03	480,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
2	40/60	2.759,16	6D ₂₅ = 2.945,20	2.262,51	5D ₂₅ = 2.454,80	565,03	480,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
3	40/60	2.759,16	6D ₂₅ = 2.945,20	2.262,51	5D ₂₅ = 2.454,80	565,03	480,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
4	40/60	2.759,16	6D ₂₅ = 2.945,20	2.262,51	5D ₂₅ = 2.454,80	565,03	480,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
5	40/60	2.759,16	6D ₂₅ = 2.945,20	2.262,51	5D ₂₅ = 2.454,80	565,03	480,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
6	40/50	2.402,74	5D ₂₅ = 2.454,80	1.850,11	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₅	D ₁₀₋₂₀₀
7	40/50	2.402,74	5D ₂₅ = 2.454,80	1.850,11	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₅	D ₁₀₋₂₀₀
8	40/50	2.402,74	5D ₂₅ = 2.454,80	1.850,11	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₅	D ₁₀₋₂₀₀
9	30/40	1.552,80	3D ₂₅ + 1D ₁₆ = 1.673,70	807,45	2D ₂₅ = 981,80	196,57	122,43	D ₁₀₋₈₀	D ₁₀₋₁₆₀
10	30/40	1.552,80	3D ₂₅ + 1D ₁₆ = 1.673,70	807,45	2D ₂₅ = 981,80	196,57	122,43	D ₁₀₋₈₀	D ₁₀₋₁₆₀

Tabel 5.13
Tulangan lentur dan geser balok 10 m portal IV (Portal 10 lantai)

LANTAI	UKURAN BALOK	TULANGAN ATAS (mm ²)		TULANGAN BAWAH (mm ²)		M _{mak,b} (kN-m)	POSITIF	NEGATIF	TULANGAN GESER	
		PERLU	TERPASANG	PERLU	TERPASANG				DALAM DAERAH SENDI PLASTIS	DILUAR DAERAH SENDI PLASTIS
1	50/70	4.798,59	10D ₂₅ = 4.909,00	2.399,29	5D ₂₅ = 2.454,80	1.051,05	563,50	1.051,05	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
2	50/70	4.798,59	10D ₂₅ = 4.909,00	2.399,29	5D ₂₅ = 2.454,80	1.051,05	563,50	1.051,05	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
3	50/70	4.798,59	10D ₂₅ = 4.909,00	2.399,29	5D ₂₅ = 2.454,80	1.051,05	563,50	1.051,05	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
4	50/70	4.798,59	10D ₂₅ = 4.909,00	2.399,29	5D ₂₅ = 2.454,80	1.051,05	563,50	1.051,05	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
5	50/70	4.798,59	10D ₂₅ = 4.909,00	2.399,29	5D ₂₅ = 2.454,80	1.051,05	563,50	1.051,05	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
6	40/70	3.814,20	8D ₂₅ = 3.927,00	1.907,10	4D ₂₅ = 1.963,50	840,80	450,73	840,80	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
7	40/70	3.814,20	8D ₂₅ = 3.927,00	1.907,10	4D ₂₅ = 1.963,50	840,80	450,73	840,80	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
8	40/70	3.814,20	8D ₂₅ = 3.927,00	1.907,10	4D ₂₅ = 1.963,50	840,80	450,73	840,80	D ₁₀₋₆₀	D ₁₀₋₁₂₀
9	40/70	2.217,60	5D ₂₅ = 2.454,80	1.108,80	3D ₂₅ = 1.472,60	578,57	358,45	578,57	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₁₅₀
10	40/70	2.217,60	5D ₂₅ = 2.454,80	1.108,80	3D ₂₅ = 1.472,60	578,57	358,45	578,57	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₁₅₀

Tabel 5.14
Tulangan lentur dan geser balok 1 on portal IV (Portal 10 lantai)

LANTAI	UKURAN BALOK	TULANGAN ATAS (mm ²)		TULANGAN BAWAH (mm ²)		M _{mak,b} (kN-m)		TULANGAN GESER	
		PERLU	TERPASANG	PERLU	TERPASANG	NEGATIF	POSITIF	DALAM DAERAH SENDI PLASTIS	DI LUAR DAERAH SENDI PLASTIS
1	40/50	2.020,66	5D ₂₅ = 2.454,80	1.616,53	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
2	40/50	2.020,66	5D ₂₅ = 2.454,80	1.616,53	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
3	40/50	2.020,66	5D ₂₅ = 2.454,80	1.616,53	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
4	40/50	2.020,66	5D ₂₅ = 2.454,80	1.616,53	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
5	40/50	2.020,66	5D ₂₅ = 2.454,80	1.616,53	4D ₂₅ = 1.963,50	382,19	313,28	D ₁₀₋₇₀	D ₁₀₋₂₀₀
6	30/50	1.818,47	4D ₂₅ = 1.963,50	1.288,28	3D ₂₅ = 1.472,60	303,17	234,96	D ₁₀₋₅₀	D ₁₀₋₂₀₀
7	30/50	1.818,47	4D ₂₅ = 1.963,50	1.288,28	3D ₂₅ = 1.472,60	303,17	234,96	D ₁₀₋₅₀	D ₁₀₋₂₀₀
8	30/50	1.818,47	4D ₂₅ = 1.963,50	1.288,28	3D ₂₅ = 1.472,60	303,17	234,96	D ₁₀₋₅₀	D ₁₀₋₂₀₀
9	30/40	666,36	2D ₂₅ = 981,80	333,18	2D ₂₅ = 981,80	122,43	122,43	D ₁₀₋₈₀	D ₁₀₋₂₀₀
10	30/40	666,36	2D ₂₅ = 981,80	333,18	2D ₂₅ = 981,80	122,43	122,43	D ₁₀₋₈₀	D ₁₀₋₂₀₀

5.5 Penulangan Kolom Berdasarkan Gaya Rencana

5.5.1 Portal 5 Lantai

1. Kolom lantai satu (kolom IV-C)

Kolom-kolom portal harus direncanakan berdasarkan pada momen-momen lentur dalam atau momen nominal aktual dari balok-balok yang berhubungan langsung dengan kolom tersebut, seperti yang terlihat pada persamaan (3.54). Namun besarnya momen rencana tersebut, tidak perlu lebih besar dari nilai yang diberikan persamaan (3.55).

Untuk kolom IV-C pada lantai satu, besarnya momen rencanakan akan dipengaruhi oleh besarnya momen nominal aktual dari balok-balok elemen 3 dan 4 portal C dan elemen 1 dan 2 portal IV. Dari keduanya dipilih yang terbesar, yaitu :

a. portal C

$$1) M_{k_{ap,b-ki}} = 1,4 \times 217,99 = 303,7860 \text{ kN-m}$$

$$2) M_{k_{ap,b-ka}} = 1,4 \times 292,75 = 409,8500 \text{ kN-m}$$

b. portal IV

$$1) M_{k_{ap,b-ki}} = 1,4 \times 122,43 = 171,4020 \text{ kN-m}$$

$$2) M_{k_{ap,b-ka}} = 1,4 \times 682,80 = 955,92 \text{ kN-m}$$

berdasarkan persamaan (3.57) diperoleh :

$$M_{u,k-C} = 0,7 \times 1,3 \times [(303,786 + 409,85) + 0,3 \times (171,40 + 955,92)] = 957,17 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,k-IV} = 0,7 \times 1,3 \times [0,3 \times (303,786 + 409,85) + (171,40 + 955,92)] = 1220,68 \text{ kN-m}$$

Besarnya momen yang diperoleh di atas tidak perlu lebih besar dari momen yang dihasilkan oleh persamaan (3.55), yaitu :

Hasil analisis struktur diperoleh :

$$N_{g-c} = -754,53 \text{ kN}$$

$$N_{g-IV} = -1376,89 \text{ kN}$$

Maka dengan menggunakan persamaan (3.54) diperoleh :

$$N_{u,k-c} = \frac{0,7R_v \sum M_{kap,b}}{I_b} + 1,05N_g = 0,7 \times 1 \times 17,513 + 1,05 \times (-754,53) = -780,00 \text{ kN}$$

$$N_{u,k-IV} = \frac{0,7R_v \sum M_{kap,b}}{I_b} + 1,05N_g = 0,7 \times 1 \times 58,37 + 1,05 \times (-1376,89) = -1404,88 \text{ kN}$$

2. Ujung bawah

Karena ujung bawah kolom lantai 1 berhubungan langsung dengan lantai dasar, maka tidak ada kapasitas balok yang akan mempengaruhi besarnya gaya aksial yang bekerja pada ujung bawah kolom tersebut, sehingga besarnya gaya aksial yang bekerja pada ujung bawah kolom itu hanya akan dipengaruhi oleh gaya aksial hasil analisis struktur, yaitu :

$$1. N_{u,k-c} = 1,05 \times (-754,53) = -792,26 \text{ kN}$$

$$2. N_{u,k-IV} = 1,05 \times (-1376,89) = -1445,74 \text{ kN}$$

Besarnya gaya aksial yang diperoleh diatas tidak perlu lebih besar gaya aksial yang dihasilkan oleh persamaan (3.58), yaitu :

$$1. N_{u,k-c(max)} = -837,60 \text{ kN}$$

$$2. N_{u,k-IV(max)} = -1648,34 \text{ kN}$$

Jadi gaya aksial rencana = 1445,74 kN

Dari perhitungan di atas diperoleh :

$$M_{(rencana)} = 1116,87 \text{ kN-m}$$

$$N_{(rencana)} = -1445,74 \text{ kN}$$

Tabel 5.15
Diagram interaksi kolom 70/70 dengan rasio tulangan 1%

c (1)	ϵ'_s (2)	f'_s (3)	ϵ_s (4)	f_s (5)	a (6)	M_n (7)	P_n (8)
29,07	-	-	0,06203	400,00000	24,70588	272,38235	0,00000
100,00	0,00090	180	0,01590	400,00000	85,00000	645,60038	1.274,70000
200,00	0,00195	390	0,00645	400,00000	170,00000	1.048,01550	3.023,47500
300,00	0,00230	400	0,00330	400,00000	255,00000	1.259,72438	4.551,75000
320,00	0,00234	400	0,00291	400,00000	272,00000	1.285,97280	4.855,20000
340,00	0,00238	400	0,00256	400,00000	289,00000	1.307,06258	5.158,65000
360,00	0,00242	400	0,00225	400,00000	306,00000	1.322,99370	5.462,10000
378,00	0,00244	400	0,00200	400,00000	321,30000	1.332,92107	5.735,20500
380,00	0,00245	400	0,00197	394,73684	323,00000	1.332,14144	5.771,35263
400,00	0,00248	400	0,00173	345,00000	340,00000	1.322,40150	6.129,63750
420,00	0,00250	400	0,00150	300,00000	357,00000	1.308,96518	6.482,70000
440,00	0,00252	400	0,00130	259,09091	374,00000	1.291,63306	6.831,25227
460,00	0,00254	400	0,00111	221,73913	391,00000	1.270,24044	7.175,88261
480,00	0,00256	400	0,00094	187,50000	408,00000	1.244,65005	7.517,08125
500,00	0,00258	400	0,00078	156,00000	425,00000	1.214,74658	7.855,26000
520,00	0,00260	400	0,00063	126,92308	442,00000	1.180,43245	8.190,76731
540,00	0,00261	400	0,00050	100,00000	459,00000	1.141,62458	8.523,90000
560,00	0,00263	400	0,00038	75,00000	476,00000	1.098,25170	8.854,91250
580,00	0,00264	400	0,00026	51,72414	493,00000	1.050,25242	9.184,02414
600,00	0,00265	400	0,00015	30,00000	510,00000	997,57350	9.511,42500
620,00	0,00266	400	0,00005	9,67742	527,00000	940,16859	9.837,28065
-	-	-	-	-	-	0,00000	14.259,00000
-	-	-	-	-	-	0,00000	11.407,20000

(1) ditentukan sendiri

$$(2) \epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$(3) f'_s = 200000 \times \epsilon'_s \leq f_y$$

$$(4) \epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$(5) f_s = 200000 \times \epsilon_s \leq f_y$$

$$(6) a = \beta_1 c$$

$$(7) M_n = 0,85 f'_c ab \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$(8) P_n = 0,85 f'_c ab + A'_s f'_s - A_s f_s$$

Tabel 5.26
Diagram interaksi kolom 80/80 dengan rasio tulangan 6%

c	ϵ'_s	f'_s	ϵ_s	f_s	a	M_n	P_n
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
33,68	-	-	0,06203	400,00000	28,62745	2.507,76471	0,00000
100,00	0,00090	180	0,01890	400,00000	85,00000	2.296,56900	-193,20000
200,00	0,00195	390	0,00795	400,00000	170,00000	3.376,15200	3.380,40000
300,00	0,00230	400	0,00430	400,00000	255,00000	3.730,18500	5.202,00000
320,00	0,00234	400	0,00384	400,00000	272,00000	3.777,52320	5.548,80000
340,00	0,00238	400	0,00344	400,00000	289,00000	3.818,96580	5.895,60000
360,00	0,00242	400	0,00308	400,00000	306,00000	3.854,51280	6.242,40000
380,00	0,00245	400	0,00276	400,00000	323,00000	3.884,16420	6.589,20000
400,00	0,00248	400	0,00248	400,00000	340,00000	3.907,92000	6.936,00000
420,00	0,00250	400	0,00221	400,00000	357,00000	3.925,78020	7.282,80000
438,00	0,00252	400	0,00200	400,00000	372,30000	3.936,81364	7.594,92000
440,00	0,00252	400	0,00198	395,45455	374,00000	3.924,60480	7.669,41818
460,00	0,00254	400	0,00176	352,17391	391,00000	3.805,55815	8.395,35652
480,00	0,00256	400	0,00156	312,50000	408,00000	3.691,04220	9.089,70000
500,00	0,00258	400	0,00138	276,00000	425,00000	3.579,80580	9.756,24000
520,00	0,00260	400	0,00121	242,30769	442,00000	3.470,79028	10.398,18462
540,00	0,00261	400	0,00106	211,11111	459,00000	3.363,09380	11.018,26667
560,00	0,00263	400	0,00091	182,14286	476,00000	3.255,94337	11.618,82857
580,00	0,00264	400	0,00078	155,17241	493,00000	3.148,67261	12.201,88966
600,00	0,00265	400	0,00065	130,00000	510,00000	3.040,70400	12.769,20000
620,00	0,00266	400	0,00053	106,45161	527,00000	2.931,53452	13.322,28387
-	-	-	-	-	-	0,00000	30.336,00000
-	-	-	-	-	-	0,00000	24.268,80000

(1) ditentukan sendiri

$$(2) \epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0.003$$

$$(3) f'_s = 200000 \times \epsilon'_s \leq f_y$$

$$(4) \epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

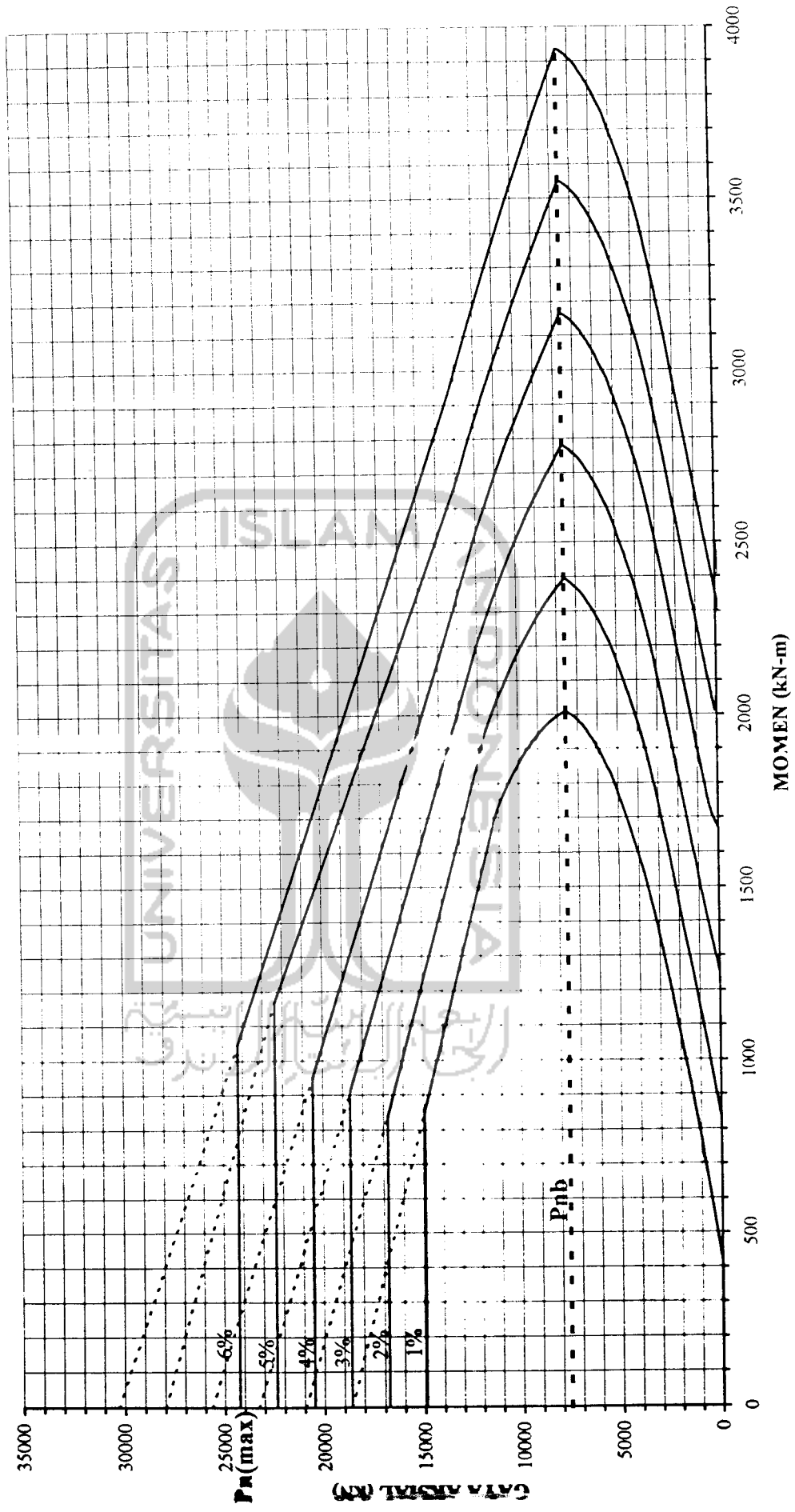
$$(5) f_s = 200000 \times \epsilon_s \leq f_y$$

$$(6) a = \beta_1 c$$

$$(7) M_n = 0.85 f'_c a b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s f_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$(8) P_n = 0.85 f'_c a b + A_s f'_s - A_s f_s$$

DIAGRAM INTERAKSI P-M KOLOM 80/80



Tabel 5.29
Jumlah momen kapasitas balok

Lantai	Kolom	M _{kap,b-C(3)} (kN-m)		M _{kap,b-IV(6)} (kN-m)		M _{kap,b-C(9)} (kN-m)		M _{kap,b-IV(12)} (kN-m)		M _{kap,b-C(13)} (kN-m)		M _{kap,b-IV(15)} (kN-m)		M _{kap,b-IV(18)} (kN-m)	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Negatif	Positif
5	Eksterior	97,02	97,02	97,02	97,02	0,00	0,00	385,45	242,78	135,83	135,83	0,00	0,00	539,63	339,89
	Interior	97,02	97,02	122,43	122,43	122,43	122,43	385,45	242,78	135,83	135,83	171,40	171,40	539,63	339,89
4	Eksterior	202,40	122,43	202,40	122,43	0,00	0,00	385,45	242,78	283,36	171,40	0,00	0,00	539,63	339,89
	Interior	202,40	122,43	202,40	122,43	122,43	122,43	385,45	242,78	283,36	171,40	283,36	171,40	539,63	339,89
3	Eksterior	202,40	122,43	202,40	122,43	0,00	0,00	682,80	365,84	283,36	171,40	0,00	0,00	955,92	512,18
	Interior	202,40	122,43	202,40	122,43	196,26	122,43	682,80	365,84	283,36	171,40	283,36	171,40	955,92	512,18
2	Eksterior	292,75	216,99	292,75	216,99	0,00	0,00	682,80	365,84	409,85	303,79	0,00	0,00	955,92	512,18
	Interior	292,75	216,99	292,75	216,99	196,26	122,43	682,80	365,84	409,85	303,79	409,85	303,79	955,92	512,18
1	Eksterior	292,75	216,99	292,75	216,99	0,00	0,00	682,80	365,84	409,85	303,79	0,00	0,00	955,92	512,18
	Interior	292,75	216,99	292,75	216,99	196,26	122,43	682,80	365,84	409,85	303,79	409,85	303,79	955,92	512,18

(3) s/d (6) lihat tabel 5.11

(7), (8) lihat tabel 5.9

(9), (10) lihat tabel 5.10

(11) s/d (14) $M_{kap,b-C} = 1,4M_{nak,b-C}$

(15) s/d (18) $M_{kap,b-IV} = 1,4M_{nak,b-IV}$

Tabel 5.33
Penulangan lentur kolom

Lantai	Kolom	M _{u,k(rencana)} (kN-m)	N _{u,k(rencana)} (kN)	e (mm)	M _{u,k/φ} (6)	N _{u,k/φ} (7)	ρ	A _{s(perlu)} (mm ²) (9)	A _{s(terpasang)} (D) (10)	A _{s(terpasang)} (mm ²) (11)	P _n (kN) (12)	φP _n (kN) (13)
1	Eksterior	1.005,91	-1.677,38	599,70	1.547,56	-2.580,58	4,0%	4.410,00	8D ₂₈	4.926,00	3.240,84	2.106,55
	Interior	1.116,87	-1.445,74	772,53	1.718,27	-2.224,21	4,3%	4.740,75	8D ₂₈	4.926,00	2.269,90	1.475,44
2	Eksterior	628,37	-1.264,70	496,85	966,72	-1.945,69	2,3%	2.535,75	6D ₂₅	2.945,20	2.894,45	1.881,39
	Interior	785,73	-1.130,28	695,17	1.208,82	-1.738,89	2,5%	2.756,25	7D ₂₅	3.436,10	1.928,19	1.253,32
3	Eksterior	546,77	-872,18	626,90	841,19	-1.341,82	2,0%	2.205,00	5D ₂₅	2.454,80	1.695,12	1.254,39
	Interior	651,84	-795,30	819,62	1.002,84	-1.223,54	2,5%	2.756,25	6D ₂₅	2.945,20	1.303,47	847,25
4	Eksterior	441,44	-488,29	904,04	679,13	-751,22	2,0%	2.205,00	5D ₂₅	2.454,80	947,13	615,63
	Interior	506,70	-471,36	1.074,98	779,55	-725,17	2,5%	2.756,25	6D ₂₅	2.945,20	880,06	572,04
5	Eksterior	287,83	-162,34	1.772,99	442,82	-249,76	1,5%	1.653,75	4D ₂₅	1.963,50	307,23	199,70
	Interior	312,11	-156,51	1.994,15	480,17	-240,79	1,5%	1.653,75	4D ₂₅	1.963,50	266,30	173,10

(3) lihat tabel 5.29 (4) lihat tabel 5.30 (5) $e = \frac{M_{u,k(rencana)}}{N_{u,k(rencana)}}$ (6) $\frac{M_{u,k(rencana)}}{N_{u,k(rencana)}} \cdot \phi$ (7) $N_{u,k(rencana)} \cdot \phi$

(8) ρ ditetapkan berdasarkan pada diagram interaksi P-M (9) $A_s(perlu) = \rho b_w d$

(10) disesuaikan dengan kebutuhan

(11) $A_{s(terpasang)} = n \frac{1}{4} \pi d^2$

(12) $P_n = 0,85f_c' b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85f_c' b}} \right]$

Tabel S.34
Penulangan geser kolom

Tingkat	Kolom	M _{u,k} (kN-m)	M _{u,s} (kN-m)	N _{u,k(reencana)} (kN)	h _s (m)	V _{u,k} (kN)	V _s (kN)		s (mm)		S _(terpasang) (mm)	
							Ujung (9)	Tengah (10)	Ujung (11)	Tengah (12)	Ujung (13)	Tengah (14)
1	Eksterior	1.005,91	1.005,91	-1.677,38	4,30	467,87	1.002,02	779,78	101,47	-178,02	100	100
	Interior	1.116,87	1.116,87	-1.445,74	4,30	519,48	974,84	865,79	91,39	-362,83	90	100
2	Eksterior	628,37	628,37	-1.264,70	2,80	448,83	953,59	748,05	105,78	-192,49	100	100
	Interior	785,73	785,73	-1.130,28	2,80	561,24	937,81	935,39	84,59	-16.360,64	80	100
3	Eksterior	546,77	546,77	-872,18	2,80	390,55	907,52	650,92	121,56	-154,19	100	100
	Interior	651,84	651,84	-795,30	2,80	465,60	898,50	776,00	101,97	-322,99	100	100
4	Eksterior	441,44	441,44	-488,29	2,80	315,31	862,46	525,52	150,57	-117,42	100	100
	Interior	506,70	506,70	-471,36	2,80	361,93	860,48	603,22	131,18	-153,79	100	100
5	Eksterior	287,83	287,83	-162,34	2,80	205,60	824,21	342,66	230,92	-82,16	100	100
	Interior	312,11	312,11	-156,51	2,80	222,93	823,52	371,56	212,96	-87,54	100	100

$$(3), (4) \text{ lihat tabel 5.29} \quad (8) V_s = 2 \left(1 + \frac{N_{u,k(reencana)}}{14A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b_w d$$

$$(5) \text{ lihat tabel 5.30} \quad (9) V_s = \frac{V_{u,k}}{\phi} \quad (10) V_s = \frac{V_{u,k} - V_c}{\phi}$$

$$(6) \text{ lihat gambar portal rencana} \quad (11), (12) s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$(7) V_{u,k} = \frac{M_{u,k(s)} + M_{u,k(t)}}{h_n}$$

Tabel 5.35
Penulangan lentur dan geser terpasang

Lantai	Kolom	A _{s(tarik)}	A _{s(ties)}	Tulangan Geser		Tulangan ikat
				Ujung	Tengah	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Eksterior	8D ₂₈	28D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	8D ₂₈	28D ₂₅	2D ₁₀₋₅₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
2	Eksterior	5D ₂₅	16D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	8D ₂₅	28D ₂₅	2D ₁₀₋₈₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
3	Eksterior	5D ₂₅	16D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	6D ₂₅	20D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
4	Eksterior	5D ₂₅	16D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	6D ₂₅	20D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
5	Eksterior	4D ₂₅	12D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	4D ₂₅	12D ₂₅	2D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀

Tabel 5.40
Gaya aksial rencana kolom

Lantai (1)	Kolom (2)	ΣM _{kap,b-c} /I _b (kN)		ΣM _{kap,b-IV} /I _b (kN)		N _{g,c} (kN)		N _{g,IV} (kN)		N _{u,c} (kN)		N _{u,IV} (kN)	
		Atas (3)	Bawah (4)	Atas (5)	Bawah (6)	Atas (7)	Bawah (8)	Atas (9)	Bawah (10)	Atas (11)	Bawah (12)	Atas (13)	Bawah (14)
1	Eksterior	-580,50	0,00	-1.934,99	0,00	-2.294,71	-2.294,71	-3.710,63	-3.710,63	-2.765,00	-2.409,44	-5.081,35	-3.896,16
	Interior	170,11	0,00	567,02	0,00	-2.775,38	-2.775,38	-4.066,69	-4.066,69	-2.809,96	-2.914,15	-3.922,72	-4.270,02
2	Eksterior	-512,69	-580,50	-1.708,96	-1.934,99	-1.906,06	-1.906,06	-3.168,59	-3.168,59	-2.315,39	-1.635,65	-4.373,76	-2.107,98
	Interior	140,55	170,11	-468,51	567,02	-2.327,06	-2.327,06	-3.484,29	-3.484,29	-2.357,33	-2.550,58	-3.371,54	-4.015,73
3	Eksterior	-444,88	-512,69	-1.482,92	-1.708,96	-1.552,16	-1.552,16	-2.662,30	-2.662,30	-1.902,26	-1.297,81	-3.703,71	-1.688,87
	Interior	111,00	140,55	369,99	468,51	-1.915,57	-1.915,57	-2.938,74	-2.938,74	-1.943,36	-2.102,35	-2.859,05	-3.389,03
4	Eksterior	-377,06	-444,88	-1.256,88	-1.482,92	-1.233,61	-1.233,61	-2.430,12	-2.430,12	-1.567,99	-1.691,69	-2.385,35	-2.797,67
	Interior	81,44	111,00	271,47	369,99	-1.540,83	-1.540,83	-2.191,68	-2.191,68	-1.526,24	-999,45	-3.071,10	-1.315,12
5	Eksterior	-309,25	-377,06	-1.030,85	-1.256,88	-950,53	-950,53	-1.757,26	-1.757,26	-1.187,47	-740,71	-2.476,52	-987,31
	Interior	51,89	81,44	172,96	271,47	-1.226,54	-1.226,54	-1.957,90	-1.957,90	-1.256,08	-1.343,45	-1.949,85	-2.241,07
6	Eksterior	-241,44	-309,25	-804,81	-1.030,85	-666,77	-666,77	-1.358,80	-1.358,80	-847,99	-483,63	-1.919,69	-705,15
	Interior	22,33	51,89	74,44	172,96	-894,12	-894,12	-1.522,20	-1.522,20	-925,14	-975,14	-1.552,71	-1.719,38
7	Eksterior	-187,20	-241,44	-623,99	-804,81	-455,00	-455,00	-996,45	-996,45	-592,41	-308,74	-1.428,47	-482,91
	Interior	1,24	22,33	4,13	74,44	-651,40	-651,40	-1.123,06	-1.123,06	-683,21	-699,61	-1.176,68	-1.231,32
8	Eksterior	-132,95	-187,20	-443,18	-623,99	-279,05	-279,05	-670,27	-670,27	-374,44	-161,96	-975,23	-266,99
	Interior	-19,85	1,24	-66,18	4,13	-418,42	-418,42	-760,27	-760,27	-451,50	-440,20	-838,82	-801,18
9	Eksterior	-78,71	-132,95	-262,37	-443,18	-139,03	-139,03	-380,22	-380,22	-194,19	-52,91	-559,93	-89,00
	Interior	-40,95	-19,85	-136,50	-66,18	-221,80	-221,80	-433,98	-433,98	-257,97	-218,99	-539,28	-409,35
10	Eksterior	-39,35	-78,71	-131,18	-262,37	-36,22	-36,22	-126,68	-126,68	-62,14	17,06	-213,36	50,64
	Interior	-20,47	-40,95	-68,25	-136,50	-61,42	-61,42	-143,71	-143,71	-77,03	-35,83	-192,70	-55,35

(3) s/d (6) lihat tabel 5.39
(7) s/d (10) hasil analisa struktur dengan menggunakan program komputer Microfeap P1

$$(11) N_{u,k,c} = 1,05N_{g,k} + \frac{0,7R_v \Sigma M_{kap,b,c}}{I_b} + \frac{0,7R_v \Sigma M_{kap,b-IV}}{I_b}$$

$$(12) N_{u,k,IV} = 1,05N_{g,k} + \frac{0,7R_v \Sigma M_{kap,b,c}}{I_b} - \frac{0,7R_v \Sigma M_{kap,b-IV}}{I_b}$$

Tabel 5.43
Penulangan geser kolom

Lantai (1)	Kolom (2)	M _{u,k} (kN-m) (3)	M _{u,s} (kN-m) (4)	N _{u,k(rencana)} (kN) (5)	h _n (m) (6)	V _{u,k} (kN) (7)	V _c (kN) (8)	V _s (kN)		s (mm)		s _(rencana) (mm)	
								Ujung (9)	Tengah (10)	Ujung (2D ₁₃) (11)	Tengah (D ₁₃) (12)	Ujung (13)	Tengah (14)
1	Eksterior	1.773,17	1.773,17	-5.081,35	4,30	824,73	1.670,91	1.374,55	-296,36	97,33	-450,66	90,00	100,00
	Interior	2.137,67	2.137,67	-4.270,02	4,30	994,27	1.574,36	1.657,11	82,75	80,73	1.614,04	80,00	100,00
2	Eksterior	1.229,48	1.229,48	-4.373,76	2,80	878,20	1.186,71	1.463,67	-123,04	91,41	-1.085,49	90,00	100,00
	Interior	1.729,78	1.729,78	-4.015,73	2,80	1.235,55	1.544,10	2.059,26	515,15	64,97	259,26	65,00	100,00
3	Eksterior	1.224,64	1.224,64	-3.703,71	2,80	874,74	1.506,97	1.457,90	-49,07	91,77	-2.721,81	90,00	100,00
	Interior	1.611,30	1.611,30	-3.389,03	2,80	1.150,93	1.469,53	1.918,21	448,68	69,75	297,67	70,00	100,00
4	Eksterior	1.180,61	1.180,61	-3.071,10	2,80	843,29	1.431,69	1.405,49	-26,20	95,19	-5.097,02	90,00	100,00
	Interior	1.539,86	1.539,86	-2.797,67	2,80	1.099,90	1.399,15	1.833,17	434,02	72,98	307,73	70,00	100,00
5	Eksterior	1.114,94	1.114,94	-2.410,07	2,80	796,38	1.360,94	1.327,30	-33,63	100,80	-3.971,05	100,00	100,00
	Interior	1.448,06	1.448,06	-2.241,07	2,80	1.034,33	1.312,92	1.723,89	390,97	77,61	341,61	70,00	100,00
6	Eksterior	1.028,20	1.028,20	-1.919,69	2,80	734,43	1.294,67	1.224,05	-70,63	109,30	-1.891,07	100,00	100,00
	Interior	1.340,17	1.340,17	-1.719,38	2,80	957,26	1.208,84	1.595,44	324,60	83,86	411,46	80,00	100,00
7	Eksterior	920,62	920,62	-1.428,47	2,80	657,59	1.162,22	1.095,98	-140,24	122,07	-952,34	100,00	100,00
	Interior	1.196,45	1.196,45	-1.231,32	2,80	854,61	1.276,29	1.424,34	211,58	93,93	631,24	90,00	100,00
8	Eksterior	790,69	790,69	-975,23	2,80	564,78	1.022,29	941,30	-240,99	142,13	-554,22	100,00	100,00
	Interior	1.015,53	1.015,53	-838,82	2,80	725,18	1.060,05	1.208,96	42,91	110,66	3.112,83	100,00	100,00
9	Eksterior	629,93	629,93	-553,44	2,80	449,95	1.209,16	749,91	-382,18	178,40	-349,47	100,00	100,00
	Interior	773,77	773,77	-455,23	2,80	552,70	1.120,41	921,16	-199,25	145,24	-670,33	100,00	100,00
10	Eksterior	421,45	421,45	-184,95	2,80	301,04	1.088,24	501,73	-586,51	266,65	-227,72	100,00	100,00
	Interior	513,12	513,12	-163,45	2,80	366,52	1.085,68	610,86	-474,82	219,01	-281,28	100,00	100,00

(3), (4) lihat tabel 5.37

$$(7) V_{u,k} = \frac{M_{u,k(a)} + M_{u,k(b)}}{h_n}$$

$$(8) V_c = 2 \left(1 + \frac{N_{u,k(rencana)}}{14A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d$$

(5) lihat tabel 5.41

$$(9) V_s = \frac{V_{u,k}}{\phi}$$

$$(10) V_s = \frac{V_{u,k} - V_c}{\phi}$$

(6) lihat gambar portal rencana

$$(11), (12) s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

Tabel 5.44
Penulangan lentur dan geser terpasang

Lantai (1)	Kolom (2)	A_s (tarik) (3)	A_s (total) (4)	Tulangan Geser		Tulangan Ikat (7)
				Ujung (5)	Tengah (6)	
1	Eksterior	10D ₂₅	36D ₂₅	2D ₁₃₋₉₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	10D ₂₉	36D ₂₉	2D ₁₃₋₈₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
2	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₉₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	10D ₂₅	36D ₂₅	2D ₁₃₋₆₅	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
3	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₉₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	10D ₂₅	36D ₂₅	2D ₁₃₋₇₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
4	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₉₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	10D ₂₅	36D ₂₅	2D ₁₃₋₇₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
5	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₉₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	10D ₂₅	36D ₂₅	2D ₁₃₋₇₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
6	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	10D ₂₅	36D ₂₅	2D ₁₃₋₈₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
7	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	9D ₂₅	32D ₂₅	2D ₁₃₋₉₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
8	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	9D ₂₅	32D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
9	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
10	Eksterior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀
	Interior	7D ₂₅	24D ₂₅	2D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₃₋₁₀₀	D ₁₀₋₁₀₀

Tabel 5.64
Tulangan geser vertikal joint yang terpasang pada portal 10 lantai

Lantai	Joint	Tulangan geser joint portal C (3)	Tulangan geser joint portal IV (4)	Tulangan geser joint terpasang (5)
1	Eksterior	1D ₂₅ = 490,9	1D ₂₅ = 490,9	1D ₂₅ = 490,9
	Interior	1D ₂₉ = 660,5	1D ₂₉ = 660,5	1D ₂₉ = 660,5
2	Eksterior	1D ₂₅ = 490,9	1D ₂₅ = 490,9	1D ₂₅ = 490,9
	Interior	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
3	Eksterior	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
	Interior	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
4	Eksterior	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
	Interior	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
5	Eksterior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
	Interior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 981,8	3D ₂₅ = 1.472,6
6	Eksterior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
	Interior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 981,8	3D ₂₅ = 1.472,6
7	Eksterior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
	Interior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
8	Eksterior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
	Interior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
9	Eksterior	3D ₂₅ = 1.472,6	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
	Interior	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6	3D ₂₅ = 1.472,6
10	Eksterior	3D ₂₅ = 1.472,6	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8
	Interior	3D ₂₅ = 1.472,6	2D ₂₅ = 981,8	2D ₂₅ = 981,8

sedangkan daktilitas yang dibutuhkan disesuaikan dengan jenis keruntuhan yang diinginkan. Karena dalam tugas akhir ini, jenis keruntuhan yang diinginkan adalah keruntuhan balok (*strong column weak beam*), maka besarnya daktilitas lengkung yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4.34), yaitu :

$$\frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{\xi(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{r+1}{6} - \frac{1}{9} \right)}{\alpha\lambda\gamma r} + 1$$

diketahui :

$$l_c = \lambda d \Rightarrow \lambda = \frac{5000}{400} = 12,5$$

$$l_b = \gamma l, \text{ dengan } l_b = 4000 - (2 \times 400) = 3200$$

$$\text{sehingga : } \gamma = \frac{3200}{4000} = 0,8$$

sedangkan panjang sendi plastis menurut Corley :

$$l_{pb} = 0,5d + 0,2\sqrt{d} \left(\frac{l_c}{d} \right) = 0,5 \times 400 + 0,2 \times \sqrt{400} \left(\frac{2440}{400} \right) = 224,4 = 0,561d$$

karena sendi plastis pada balok ada buah, maka $l_{pb} = 2 \times 0,561d = 1,122d$

jadi

$$\frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{1 \times (4 - 1) \times 12,5^2 \times \left(\frac{5+1}{6} - \frac{1}{9} \right)}{1,122 \times 12,5 \times 0,8 \times 5} + 1 = 8,4272$$

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa besarnya daktilitas lengkung penampang yang tersedia lebih besar dari daktilitas lengkung yang dibutuhkan.

Tabel 5.73
Menentukan nilai "n" balok 3 m portal IV (5 lantai)

Balok lantai (1)	Ukuran balok (2)	Lebar balok (mm) (3)	Tinggi efektif (mm)		Luas tulangan (mm ²)		Rasio tulangan		E _c (Mpa) (10)	E _s (Mpa) (11)	n (12)
			Tul. negatif (4)	Tul. positif (5)	negatif (6)	positif (7)	negatif (8)	positif (9)			
1	30/40	300	330	330	1.671,7	981,8	0,0169	0,0099	25.742,96	200.000	7,7691
2	30/40	300	330	330	1.671,7	981,8	0,0169	0,0099	25.742,96	200.000	7,7691
3	30/40	300	330	330	1.673,7	981,8	0,0169	0,0099	25.742,96	200.000	7,7691
4	30/40	300	330	330	981,8	981,8	0,0099	0,0099	25.742,96	200.000	7,7691
5	30/40	300	330	330	981,8	981,8	0,0099	0,0099	25.742,96	200.000	7,7691

(2) s/d (5) lihat data perencanaan (6),(7) lihat tabel 5.9

$$(8), (9) \rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

$$(10) E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$(11) n = \frac{E_s}{E_c}$$

Tabel 5.74
Kontrol regangan baja desak balok 3 m portal IV (5 lantai)

Balok lantai (1)	Ukuran balok (2)	lebar balok (mm) (3)	Tinggi efektif (mm)		Luas tulangan (mm ²)		a (mm)		c (mm)		d' (mm)		ε _s	
			Tul. negatif (4)	Tul. positif (5)	negatif (6)	positif (7)	negatif (8)	positif (9)	negatif (10)	positif (11)	negatif (12)	Positif (13)	negatif (14)	positif (15)
1	30/40	300	330	330	1.673,7	981,8	87,51	51,34	102,96	60,40	70	70	0,0010	-0,0005
2	30/40	300	330	330	1.673,7	981,8	87,51	51,34	102,96	60,40	70	70	0,0010	-0,0005
3	30/40	300	330	330	1.673,7	981,8	87,51	51,34	102,96	60,40	70	70	0,0010	-0,0005
4	30/40	300	330	330	981,8	981,8	51,34	51,34	60,40	60,40	70	70	-0,0005	-0,0005
5	30/40	300	330	330	981,8	981,8	51,34	51,34	60,40	60,40	70	70	-0,0005	-0,0005

(2) s/d (5) lihat data perencanaan (6), (7) lihat tabel 5.9

$$(8), (9) a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$(10), (11) c = \frac{a}{0,85}$$

$$(14), (15) \epsilon'_s = \epsilon_c \left(\frac{c-d'}{c} \right) = \epsilon_c \left(1 - \frac{\beta_1 d'}{a} \right) \geq \frac{f_y}{E_s}$$

Tabel 5.77
Daktilitas lengkung tiap tingkat yang dibutuhkan oleh portal-C (5 lantai)

Balok lantai (1)	λ			γ			α			μ_4	
	Tul. Negatif (2)	Tul. Positif (3)	Tul. Negatif (4)	Tul. Positif (5)	Tul. Negatif (6)	Tul. Positif (7)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)	
1	12,500	11,628	0,800	0,785	1,122	1,109	8,4272	8,1207	8,4272	8,1207	
2	8,750	8,140	0,800	0,785	1,122	1,109	7,1766	6,9214	7,1766	6,9214	
3	10,606	10,606	0,835	0,835	1,175	1,175	8,9286	8,9286	8,9286	8,9286	
4	10,606	10,606	0,835	0,835	1,157	1,157	10,1501	10,1501	10,1501	10,1501	
5	10,606	10,606	0,835	0,835	1,160	1,160	11,2187	11,2187	11,2187	11,2187	

(2), (3)_c = λd , (4), (5)_b = γl , (6), (7)_{pb} = αd

$$(8), (9) \frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{\xi(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{r+i}{6} - \frac{1}{9} \right) + 1}{\alpha\lambda\gamma r} + 1$$

Tabel 4.78
Daktilitas lengkung tiap tingkat yang dibutuhkan oleh balok 3 m portal-IV (5 lantai)

Balok lantai (1)	λ			γ			α			μ_4	
	Tul. Negatif (2)	Tul. Positif (3)	Tul. Negatif (4)	Tul. Positif (5)	Tul. Negatif (6)	Tul. Positif (7)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)	
1	15,152	15,152	0,780	0,780	1,141	1,141	10,081	10,081	10,081	10,081	
2	10,606	10,606	0,780	0,780	1,141	1,141	8,545	8,545	8,545	8,545	
3	10,606	10,606	0,780	0,780	1,157	1,157	9,615	9,615	9,615	9,615	
4	10,606	10,606	0,780	0,780	1,175	1,175	10,645	10,645	10,645	10,645	
5	10,606	10,606	0,780	0,780	1,000	1,000	13,691	13,691	13,691	13,691	

(2), (3)_c = λd , (4), (5)_b = γl , (6), (7)_{pb} = αd

$$(8), (9) \frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{\xi(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{r+i}{6} - \frac{1}{9} \right) + 1}{\alpha\lambda\gamma r} + 1$$

Tabel 5.92
Daktilitas lengkung tiap tingkat yang dibutuhkan oleh portal-C (10 lantai)

Balok lantai (1)	λ			γ			α			μ _d	
	Tul. Negatif (2)	Tul. Positif (3)	Tul. Negatif (4)	Tul. Positif (5)	Tul. Negatif (6)	Tul. Positif (7)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)	
1	9,434	9,434	0,735	0,735	1,0731	1,0731	7,38	7,38	7,38	7,38	
2	6,604	6,604	0,735	0,735	1,0725	1,0725	6,31	6,31	6,31	6,31	
3	6,604	6,604	0,735	0,735	1,0725	1,0725	7,14	7,14	7,14	7,14	
4	6,604	6,604	0,735	0,735	1,0731	1,0731	7,98	7,98	7,98	7,98	
5	6,604	6,604	0,735	0,735	1,0731	1,0731	8,81	8,81	8,81	8,81	
6	8,140	8,140	0,785	0,785	1,1018	1,1018	10,72	10,72	10,72	10,72	
7	8,140	8,140	0,785	0,785	1,1045	1,1045	11,64	11,64	11,64	11,64	
8	8,140	8,140	0,785	0,785	1,1090	1,1090	12,53	12,53	12,53	12,53	
9	10,606	10,606	0,835	0,835	1,1762	1,1762	15,40	15,40	15,40	15,40	
10	10,606	10,606	0,835	0,835	1,1668	1,1668	16,60	16,60	16,60	16,60	

(2), (3) $I_c = \lambda d$,
 (4), (5) $I_b = \gamma I_c$,
 (6), (7) $I_{pb} = \alpha d$

$$\xi(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{\Gamma + i}{6} - \frac{1}{9} \right) + 1$$

$$(8), (9) \frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{\alpha\lambda\gamma r}{\alpha\lambda\gamma r} + 1$$

Tabel 5.93
Daktilitas lengkung tiap tingkat yang dibutuhkan oleh balok 3 m portal-IV (10 lantai)

Balok lantai (1)	λ		γ		α		μ_4	
	Tul. Negatif (2)	Tul. Positif (3)	Tul. Negatif (4)	Tul. Positif (5)	Tul. Negatif (6)	Tul. Positif (7)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)
1	11,63	11,63	0,71	0,71	1,08	1,08	9,08	9,08
2	8,14	8,14	0,71	0,71	1,07	1,07	7,73	7,73
3	8,14	8,14	0,71	0,71	1,07	1,07	8,78	8,78
4	8,14	8,14	0,71	0,71	1,08	1,08	9,84	9,84
5	8,14	8,14	0,71	0,71	1,08	1,08	10,89	10,89
6	8,14	8,14	0,71	0,71	1,08	1,08	11,93	11,93
7	8,14	8,14	0,71	0,71	1,08	1,08	12,96	12,96
8	8,14	8,14	0,71	0,71	1,09	1,09	13,94	13,94
9	10,61	10,61	0,78	0,78	1,14	1,14	16,90	16,90
10	10,61	10,61	0,78	0,78	1,00	1,00	20,49	20,49

(2), (3) $\lambda_c = \lambda d$,

(4), (5) $\lambda_b = \gamma l$,

(6), (7) $\lambda_{ph} = \alpha d$

$$(8), (9) \frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{\xi(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{r + i}{6} - \frac{1}{9} \right) + 1}{\alpha \lambda \gamma r}$$

Tabel 5.94
Daktilitas lengkung tiap tingkat yang dibutuhkan oleh balok 10 m portal-IV (10 lantai)

Balok lantai (1)	λ		γ		α		μ_4	
	Tul. Negatif (2)	Tul. Positif (3)	Tul. Negatif (4)	Tul. Positif (5)	Tul. Negatif (6)	Tul. Positif (7)	Tul. Negatif (8)	Tul. Positif (9)
1	8,33	7,94	0,88	0,87	1,16	1,15	5,35	5,22
2	5,83	5,56	0,88	0,87	1,16	1,15	4,61	4,50
3	5,83	5,56	0,88	0,87	1,16	1,15	5,18	5,05
4	5,83	5,56	0,88	0,87	1,14	1,13	5,83	5,67
5	5,83	5,56	0,88	0,87	1,14	1,13	6,40	6,23
6	5,83	5,56	0,88	0,87	1,15	1,14	6,98	6,79
7	5,83	5,56	0,88	0,87	1,13	1,12	7,67	7,44
8	5,83	5,56	0,88	0,87	1,13	1,12	8,26	8,02
9	5,56	5,56	0,87	0,87	1,10	1,10	8,72	8,72
10	5,56	5,56	0,87	0,87	1,09	1,09	9,34	9,34

(2), (3) $\lambda_c = \lambda d$,

(4), (5) $\lambda_b = \gamma l$,

(6), (7) $\lambda_{bt} = \alpha d$

$$(8), (9) \frac{\phi_{ub}}{\phi_{yb}} = \frac{\xi(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{r+i}{6} - \frac{1}{9} \right) + 1}{\alpha \lambda \gamma r}$$

Tabel 5.96
Daktilitas lengkung penampang kolom portal 5 lantai

Lantai	Kolom	Ukuran kolom (cm)	$A_{e(pez)} = A'_{e(pez)}$ (mm ²)	$\rho = \rho'$	$N_{u,k(rencana)}$ (kN)	v	λ	ϵ_{cu}	μ_ϕ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Eksterior	70/70	4.926,00	0,0112	-1.677,38	0,1141	0,7273	0,0071	12,20
	Interior	70/70	4.926,00	0,0112	-1.445,74	0,0983	0,7011	0,0076	14,58
2	Eksterior	70/70	2.454,80	0,0056	-1.264,70	0,0860	0,6002	0,0071	17,74
	Interior	70/70	3.436,10	0,0078	-1.130,28	0,0769	0,6402	0,0083	21,06
3	Eksterior	70/70	2.454,80	0,0056	-872,18	0,0593	0,6002	0,0071	24,33
	Interior	70/70	2.945,20	0,0067	-795,30	0,0541	0,6202	0,0071	24,68
4	Eksterior	70/70	2.454,80	0,0056	-488,29	0,0332	0,6002	0,0071	36,19
	Interior	70/70	2.945,20	0,0067	-471,36	0,0321	0,6202	0,0071	34,35
5	Eksterior	70/70	1.963,50	0,0045	-162,34	0,0110	0,5801	0,0071	66,45
	Interior	70/70	1.963,50	0,0045	-156,51	0,0106	0,5801	0,0071	67,24

(4) lihat tabel 5.34

$$(5) \rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

(6) lihat tabel 5.32

$$(7) v = \frac{N}{f_c' b d}$$

$$(8) \lambda = \lambda d$$

(9) lihat tabel 5.95

$$(10) \mu_\phi = 1,2 \frac{E_s}{f_y} \left[\frac{0,6}{v + (\rho_1 - \lambda \rho_2) \frac{f_y'}{f_c'}} - 1 \right] \epsilon_{cu}$$

Tabel 5.102
Daktiilitas lengkung yang dibutuhkan tiap tingkat portal 10 lantai

Balok lantai (1)	λ (2)	α (3)	$\mu = 4$ (4)
1	6,85	0,49	8,51
2	4,79	0,47	7,42
3	4,79	0,47	8,44
4	4,79	0,47	9,45
5	4,79	0,47	10,45
6	4,79	0,47	11,46
7	4,79	0,47	12,46
8	4,79	0,48	13,45
9	4,79	0,48	14,42
10	4,79	0,48	15,38

(2) lihat tabel 5.101

(3) lihat tabel 5.101

$$\phi_{uc} = \frac{(\mu - 1)\lambda^2 \left(\frac{r + i}{6} - \frac{1}{9} \right)}{\phi_{yc} + \alpha \lambda r}$$

keutamaan gedung, berat total struktur dan faktor jenis struktur, sebagaimana yang terlihat pada persamaan 5.1. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dalam bab II, wilayah Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Akibatnya, besarnya koefisien gempa dasar untuk masing-masing wilayah juga akan berbeda-beda, seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Dengan demikian, maka bila suatu struktur yang sama dibangun pada 2 wilayah gempa yang berbeda akan memberikan pengaruh pembebanan yang berbeda pula pada struktur tersebut, sehingga hasil perencanaannya juga akan berbeda.

Tingkatan daktilitas yang dipilih juga akan mempengaruhi hasil perencanaan, sebab masing-masing tingkatan daktilitas memiliki konstanta pengali K sendiri-sendiri, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada awal bab IV. Dengan berbedanya nilai K tersebut, maka gaya lateral yang bekerja pada suatu struktur gedung yang sama namun direncanakan dengan tingkat daktilitas yang berbeda akan memberikan hasil perencanaan yang berbeda pula. Misalnya, suatu struktur direncanakan dengan tingkat daktilitas 1, maka besarnya gaya lateral yang bekerja pada struktur tersebut 4 kali lebih besar dibandingkan bila struktur tersebut direncanakan dengan tingkat daktilitas 3. Sebab, pada tingkat daktilitas 1 besarnya nilai K adalah 4, sedangkan pada tingkat daktilitas 3 adalah 1. Akibatnya dimensi elemen-elemen struktur yang direncanakan dengan tingkat daktilitas 1 akan relatif lebih besar bila dibandingkan dengan dimensi elemen-elemen struktur yang direncanakan dengan tingkat daktilitas 3. Namun dalam perencanaan dan pelaksanaan, struktur yang direncanakan dengan tingkat

balok. Walaupun momen dan gaya aksial balok direncanakan berdasarkan momen kapasitas balok, namun besarnya tidak perlu melampaui nilai dari persamaan (3.55) dan (3.58).

Sama halnya dengan balok, dalam menentukan gaya geser rencana kolom yang harus ditahan oleh tulangan geser, pada daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis besarnya gaya geser yang dapat disumbangkan oleh penampangan beton dianggap sama dengan nol, sehingga pada daerah ini membutuhkan jumlah tulangan geser yang cukup banyak untuk memberikan perilaku daktail yang diharapkan. Jadi dapat disimpulkan bahwa banyaknya tulangan geser akan mempengaruhi penampilan atau perilaku kolom saat dilanda beban gempa. Hasil penulangan kolom untuk portal 5 dan 10 lantai dapat dilihat pada tabel 5.37 dan 5.46.

6.4 Titik Buhul

Persyaratan mendasar bagi suatu struktur beton bertulangan adalah batang-batang struktur tersebut harus mampu mengembangkan kekuatannya secara penuh dan kegagalan prematur pada titik buhul balok kolom harus dihindari, sebab bila titik buhul rusak akibat beban bolak-balik, maka dapat membahayakan bangunan tersebut dan kerusakan ini akan sulit untuk diperbaiki. Oleh karena itu pada portal tahan gempa titik buhul harus direncanakan untuk mampu menahan gaya yang bekerja padanya

Gaya-gaya yang bekerja pada suatu titik buhul dapat dilihat pada gambar 3.11 yang merupakan gaya geser, baik arah horisontal maupun arah vertikal.

Dengan diketahui besarnya gaya geser yang bekerja, maka dapat ditentukan jumlah sengkang yang harus disediakan pada daerah titik buhul tersebut.

Seperti pada balok dan kolom, dalam menentukan gaya geser rencana titik buhul, besarnya gaya geser yang mampu ditahan oleh penampang beton diabaikan, kecuali apabila tegangan tekan rata-rata minimum pada penampang bruto kolom beton diatas titik buhul melebihi nilai $0,1 f'_c$, dengan gaya geser yang mampu ditahan oleh penampang beton diperoleh melalui persamaan (3.89). Perlu diingat bahwa penulangan titik buhul yang dibutuhkan untuk menjamin perilaku yang baik saat terjadi gempa tidak boleh mengakibatkan kesulitan dalam konstruksi.

6.5 Daktilitas

6.5.1 Balok

Pada gambar 6.3 terlihat bahwa daktilitas lengkung yang tersedia pada penampang balok lantai 5 lebih kecil dari daktilitas lengkung yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan karena berdasarkan hasil analisa struktur, pada kedua ujung balok 3 m lantai 5 jenis momen yang terjadi sama, yaitu momen negatif sehingga tidak terdapat titik balik momen lentur. Dengan tidak adanya titik balik momen lentur, maka nilai b/l_c menjadi sama dengan nol. Akibatnya regangan *ultimate* beton pada balok tersebut menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan balok-balok dibawahnya, sehingga daktilitas yang tersedia akan menjadi turun.

Sementara itu untuk portal 10 lantai, terlihat pada gambar 6.4 bahwa daktilitas lengkung penampang yang tersedia cenderung mengalami penurunan.