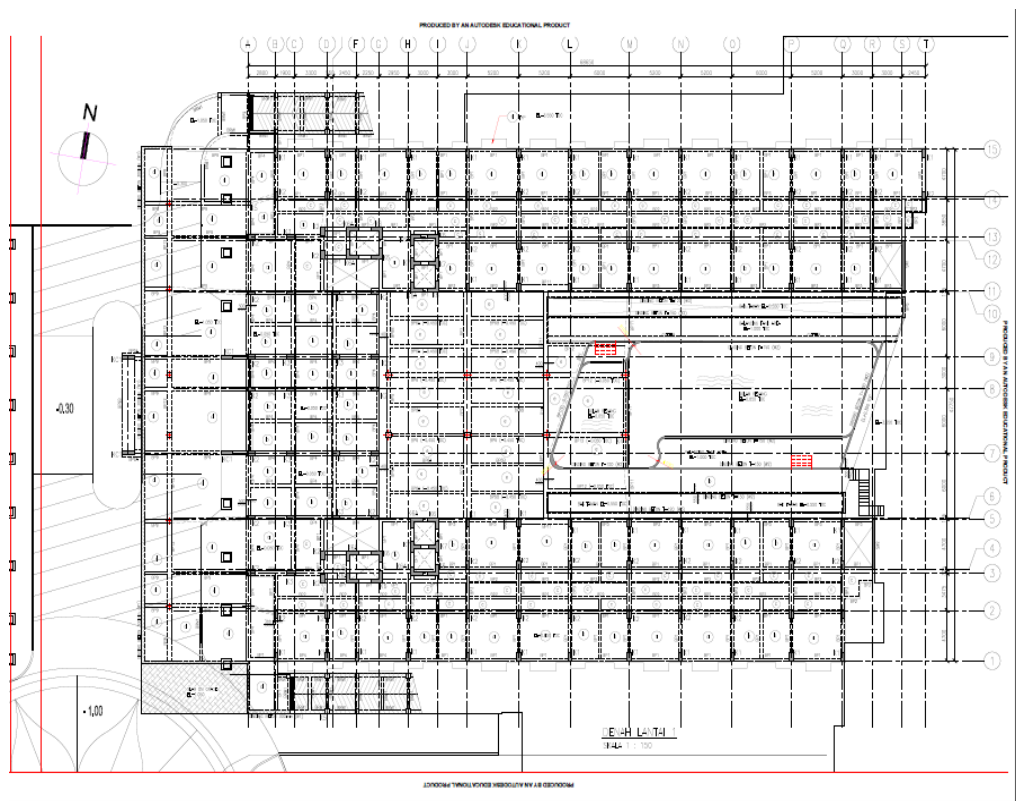


BAB V ANALISIS PEMBEBANAN STRUKTUR

A. Spesifikasi Data Teknis Bangunan

1. Denah Bangunan

Denah lantai 1 bangunan



Gambar 5.1 Denah Struktur Bangunan lantai 1.

2. Lokasi Bangunan

Gedung Apartemen Malioboro City di jl. Raya Solo, Catur Tunggal,
Sleman, Yogyakarta,

3. Fungsi Bangunan

Gedung ini berfungsi sebagai “ hotel “ dan tempat tinggal dengan
jumlah lantai 11.

B. Beban Struktur

1. Mekanikal dan Elektrikal (M/E)

Mekanikal dan Elektrikal (M/E) terdiri dari mesin lift, pipa paralon untuk kabel listrik dan peralatanya, *ducting* AC, cerobong AC, serta lampu-lampu SL dan TL. Pada perancangan gedung ini digunakan M/E = $0,5 \text{ KN/m}^2$.

2. Dinding

Dinding menggunakan pasangan batu merah dengan ketebalan $\frac{1}{2}$ batu = 250 kg/m^2 .

3. Tangga

Tangga pada bangunan ini terdiri dari tangga utama dan lift barang. Beban hidup tangga menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1983 pada bangunan “**Hotel**” adalah 300 kg/m^2 .

Beban mati lift terdiri dari mesin lift dan komponen lain yang berada dalam ruang lift sedangkan beban hidup lift adalah orang atau barang yang sifatnya sementara dan berada dalam ruang lift. Oleh karena itu beban lift yang bekerja pada struktur tersebut terdiri dari :

1. Beban Mati lift (q_D) = 200 kg/m^2
2. Beban Hidup lift barang (q_L) = 300 kg/m^2

4. Beban Mati

a. Berat plat m^2

Plat Lantai

Pasir urug 5 cm ($0,05 \times 1,800 \text{ kg/m}^2$)	= 90 kg/m^2
Spesi 2cm ($2 \times 21 \text{ kg/m}^2$)	= 42 kg/m^2
Keramik 1cm	= 24 kg/m^2
Langit-langit + penggantung ($0,11 + 0,07$)	= 18 kg/m^2
Total	= 174 kg/m^2 +
	= $1,70636 \text{ KN/ m}^2$

Plat bordes	
Keramik 1cm	= 24 kg/m ²
Spesi 2 cm	= 42 kg/m ²
Total	$\frac{= 66 \text{ kg/m}^2}{+}$
	= 0,64724 KN/m ²

b. Berat Tangga

Dead	
Atret	= 0,275 m
Oprade	= 0,18 m
$R (\sqrt{A^2 + O^2})$	= 0,32867
N anak tangga (1/R)	= 3,2867
Beton anak tangga (0,5 x A x O x n x 2400)	= 180,728 kg/m ²
Keramik {(A+O)x 1 x n x 24 }	= 33,2247 kg/m ²
Spesi {(A+O) x n x 1 x 21 }	= 58,1431 kg/m ²
Total	$\frac{= 272,095 \text{ kg/m}^2}{+}$
	= 2.6683 KN/m ²
Live	
(A x 1 x n x 300)	= 251,01055 kg/m ²
	= 2.461572193 KN/m ²

c. Berat kolam

H = 1,2 m (1,2 x 1000)	= 1200 KN
H = 0,6 m (0,6 x 1000)	= 600 KN

d. Berat dinding

1.) Lantai 1

BP1-B1, h : 3,5 m	
$H_s (h - BP1h/2 - B1h/2)$	= 3 m
W (Hs x ½ batu)	= 7,35499 KN
BP1-B1 = BP4-B1 = BP1-B3 = BP1-B6 = BP4-B6	
BP3-B1, h: 3,5 m	
$H_s (h - BP3h/2 - B1h/2)$	= 2,95 m

$$W (H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu }) = 7,23241 \text{ KN}$$

$$BP3-B1 = BP3-B3$$

$$BP11-B1, h : 3,5 \text{ m}$$

$$H_s (h - BP11h/2 - B1h/2) = 2,65 \text{ m}$$

$$W (H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu }) = 6,49691 \text{ KN}$$

2.) Lantai 2-11

$$B1-B1, h : 3 \text{ m}$$

$$H_s (h - B1h/2 - B1h/2) = 2,5 \text{ m}$$

$$W (H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu }) = 6,12916 \text{ KN}$$

$$B1-B1 = B4-B4 = B3-B3 = B6-B6$$

3.) Lantai atap

$$B1-RB1, h : 1,5 \text{ m}$$

$$H_s (h - B1h/2 - RB1/2) = 1 \text{ m}$$

$$W (H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu }) = 2,45166 \text{ KN}$$

$$B1-RB1 = B4-RB6$$

$$B1-RB3, h : 1,5 \text{ m}$$

$$H_s (h - B1h/2 - RB3h/2) = 0,95 \text{ m}$$

$$W (H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu }) = 2,32908 \text{ KN}$$

5. Beban Hidup

a. Beban hidup plat bordes

Dari tabel Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983, beban hidup untuk bordes dengan fungsi “**hotel**” sebesar 300 kg/m^2 .

b. Beban hidup plat lantai

Beban hidup plat yang digunakan menurut fungsi bangunannya sebagai “**hotel**” dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk gedung tahun 1983 adalah 250 kg/m^2 dengan tebal plat lantai bangunan 12 cm.

6. Berat Total Bangunan

Berat bangunan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Berat bangunan per lantai

Lantai	Berat Bangunan (KN)
Lantai 1	119888.176
Lantai 2	26548.282
Lantai 3	26548.282
Lantai 4	26548.282
Lantai 5	26548.282
Lantai 6	26548.282
Lantai 7	26548.282
Lantai 8	26548.282
Lantai 9	26548.282
Lantai 10	26548.282
lantai 11	20912.911
Atap	13019.333
Wtotal	379735.625

Sumber: Analisis Sap v 14.0.0 untuk berat bangunan perlantai

C. Pembebanan Gempa SNI 03-1726-2002

1. Parameter Beban Gempa

- a. Waktu getar bangunan (T)

Perhitungan gaya geser lantai atau sering juga disebut dengan analisis beban gempa terdiri dari 2 metode yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamis. Analisis beban gempa pada struktur bangunan gedung ini menggunakan analisis statik ekuivalen yang terdiri dari :

- b. Berat bangunan total (W_t) = **379735,625** KN
 c. Waktu getar alami fundamental SRPMM (T_1)

H = tinggi total struktur gedung dihitung dari taraf penjepitan lateral

$$H = 35 \text{ m}$$

$$T_1 = \zeta \times H^{3/4}$$

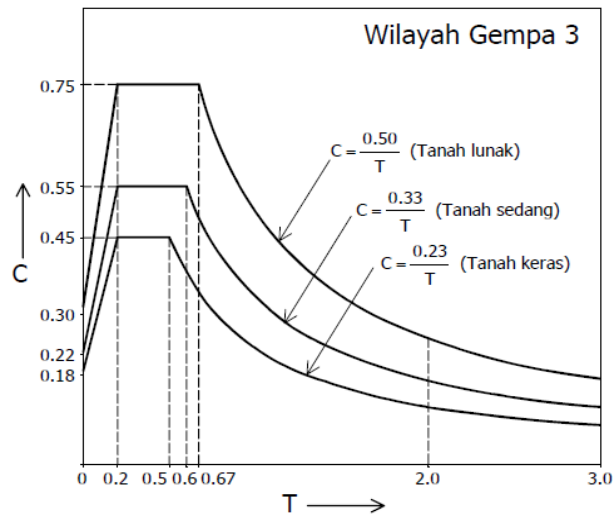
$$T_1 = 0,0731 \times 35^{3/4} = 0,9835 \text{ detik (SNI 03-1726-2002)}$$

$$T_i < \zeta \cdot n$$

$0,9835 < 0,18 \times 11 = 1,8$ detik (OK)

d. Faktor respons gempa (C_1)

Bangunan teletak di wilayah gempa 3 dengan anggapan bangunan di dirikan di atas tanah sedang.



Gambar 5.2 Respon Spektrum Gempa Wilayah 3

Dari diagram respon spektrum gempa rencana untuk wilayah gempa 3 tanah sedang dengan nilai $T = 0,9835$ detik didapat nilai faktor Respon Gempa (C) = linier dari grafik respon spektrum 0,33.

e. Faktor keutamaan (I) dan faktor reduksi beban gempa (R)

SNI 2847-2002 pasal 4.3.3 tabel 2 ketentuan khusus untuk perencanaan gempa diperoleh faktor I untuk gedung umum = 1, faktor Reduksi dinyatakan dengan;

$$(\mu_m) = 5,3$$

$$(R_m) = 8,5 \text{ (Daktail Penuh)}$$

f. Gaya geser dasar (V) dan beban gempa Horizontal (F_i)

Perhitungan gaya geser dasar (V) dan beban gempa horizontal (F_i) untuk portal arah X dan arah Y, didapat seperti yang terlihat pada Tabel 5.2.

$$W_t = 38725,71 \text{ KN}$$

$$V_x = V_y = \frac{C.I}{R} \cdot W_t$$

$$V_x = V_y = \frac{0,33 \times 1}{8,5} \times 379735,625$$

$$V_x = V_y = 14989,82 \text{ KN}$$

Distribusi gaya geser horizontal total akibat gempa pada masing-masing lantai SNI 1726-2002 pasal 6.1 (3)

1) Portal Arah X dan Y (untuk lantai ketinggian 3,5 meter)

$$F_{ix-y} = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} V_x - y$$

$$F_{ix-y} = \frac{119888,176 \times 3,5}{1136412,23} \times 14989,82$$

$$F_{ix-y} = 19371,93 \text{ KN}$$

Tabel 5.2 Distribusi gaya horizontal gempa untuk portal X dan Y

Tingkat	hi (m)	Wi (KN)	Wi*hi (KNm)	Fi x total (KN)
1	3.5	119888.176	419608.616	19371.93658
2	3	26548.282	79644.846	3151.661225
3	3	26548.282	79644.846	3151.661225
4	3	26548.282	79644.846	3151.661225
5	3	26548.282	79644.846	3151.661225
6	3	26548.282	79644.846	3151.661225
7	3	26548.282	79644.846	3151.661225
8	3	26548.282	79644.846	3151.661225
9	3	26548.282	79644.846	3151.661225
10	3	26548.282	79644.846	3151.661225
11	3	20912.911	62738.733	2482.661993
atap	1.5	13019.333	19528.9995	386.3953136
Total			1136412.23	50605.94491

2. Kontrol waktu getar dengan cara T. Rayleigh

Persamaan Rayleigh dinyatakan dengan :

$$T_r = 6,3 \sqrt{\frac{\sum(W_i \cdot d_i^2)}{g \cdot \sum(f_i \cdot d_i)}}$$

Syarat batas waktu getar alami bangunan :

$$T_r \pm 20 \% T_r < T$$

Perhitungan waktu getar alami pada portal dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan 5.4.

a. Portal Arah X

Tabel 5.3 Waktu getar alami portal arah X

Lantai	Wi (KN)	di (mm)	di ² (mm ²)	fi	Wi · di ² (KNmm ²)	fi · di (KNmm)
1	119888.2	13.7466	188.9690116	19371.93658	22655150.12	266298.2634
2	26548.28	20.1444	405.7968514	3151.661225	10773209.24	63488.32438
3	26548.28	31.737	1007.237169	3151.661225	26740416.4	100024.2723
4	26548.28	41.844	1750.920336	3151.661225	46483926.84	131878.1123
5	26548.28	50.6988	2570.368321	3151.661225	68238863.04	159785.4421
6	26548.28	58.3584	3405.702851	3151.661225	90415559.68	183925.9064
7	26548.28	64.8306	4203.006696	3151.661225	111582607	204324.0882
8	26548.28	70.1172	4916.421736	3151.661225	130522550.7	220985.6605
9	26548.28	74.226	5509.499076	3151.661225	146267735.1	233935.2061
10	26548.28	77.1906	5958.388728	3151.661225	158184984.2	243278.621
11	20912.91	79.1088	6258.202237	2482.661993	130877226.4	196400.4111
ATAP	13019.33	79.7268	6356.362638	386.3953136	82755601.86	30806.06189
TOTAL				50605.94491	1025497831	2035130.37

$$T_r = 6,3 \sqrt{\frac{1025497831}{9810 \times 2035130}}$$

$$T_r = 1,427 \text{ detik}$$

$$T_{r_{\min}} = 1,427 - (0,2 \times 1,427) = 1,14 \text{ detik} > T_1(0,983) \quad \text{Tidak OK}$$

$$T_{r_{\max}} = 1,427 + (0,2 \times 1,427) = 1,71 \text{ detik} > T_1(0,983) \quad \text{OK}$$

Ketika menggunakan nilai perkiraan (T_1) tidak oke maka perlu dikaji ulang dalam pemodelan SAP nya, kesulitan peneliti disini SAP hanya memberikan hasil output tanpa menganalisis bagian-bagian yang bermasalah.

b. Portal Arah Y

Tabel 5.4 Waktu getar alami portal arah Y

Lantai	Wi (KN)	di (mm)	di ² (mm ²)	fi	Wi.di ² (KNmm ²)	fi.di (KNmm)
1	119888.2	9.2112	84.84620544	19371.93658	10172056.81	178438.7822
2	26548.28	27.0312	730.6857734	3151.661225	19398451.97	85193.18491
3	26548.28	40.0692	1605.540789	3151.661225	42624349.62	126284.544
4	26548.28	50.5674	2557.061943	3151.661225	67885601.55	159371.3138
5	26548.28	59.5236	3543.058957	3151.661225	94062128.33	187598.2221
6	26548.28	67.2336	4520.356969	3151.661225	120007711.6	211897.5301
7	26548.28	73.7676	5441.65881	3151.661225	144466692.6	232490.4846
8	26548.28	79.1406	6263.234568	3151.661225	166278117.6	249424.3604
9	26548.28	83.3496	6947.15582	3151.661225	184435051.8	262689.7024
10	26548.28	86.3916	7463.508551	3151.661225	198143329.7	272277.0559
11	20912.91	88.2984	7796.607443	2482.661993	163049757.5	219215.0817
ATAP	13019.33	88.8492	7894.180341	386.3953136	102776962.6	34330.91449
TOTAL				50605.94491	1313300212	2219211.177

$$Tr = 6,3 \sqrt{\frac{1313300212}{9810 \times 2219211,177}}$$

$$Tr = 1,547 \text{ detik}$$

$$Tr_{\min} = 1,547 - (0,2 \times 1,560) = 1,237 \text{ detik} > T_1 (0,983) \text{ Tidak Ok}$$

$$Tr_{\max} = 1,547 + (0,2 \times 1,560) = 1,85 \text{ detik} > T_1 (0,983) \text{ Ok}$$

Ketika menggunakan nilai perkiraan (T_1) tidak oke maka perlu dikaji ulang dalam pemodelan SAP nya, kesulitan peneliti disini SAP hanya memberikan hasil output tanpa menganalisis bagian-bagian yang bermasalah.

3. Kontrol Simpangan

1. Kinerja batas layan (Δs) contoh perhitungan arah X

Kinerja batas layan antar tingkat :

$$\Delta s = \text{selisih defleksi } n_2 - \text{tingkat } n_1$$

$$\Delta s = 13,75 - 0$$

$$= 13,75 \text{ mm}$$

Syarat simpangan antar tingkat Δs tidak boleh melebihi :

$$\Delta s = \frac{0,03}{R} . h_i \text{ atau } < 30 \text{ mm}$$

Untuk lantai dengan tinggi ($h = 3500 \text{ mm}$)

$$\Delta s = \frac{0,03}{8,5} \cdot 3500$$

$$\Delta s = 12,3529 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat } \Delta s = 12,3529 \text{ mm}$$

2. Kinerja batas ultimit (Δm) contoh perhitungan arah X

$$\Delta m = \xi \cdot R \cdot \Delta s$$

$$\Delta m = 0,7 \times 8,5 \times 13,75$$

$$\Delta m = 81,79 \text{ mm}$$

Syarat Δm tidak boleh melebihi ;

$$\Delta m = 0,02 \cdot h_i$$

$$\Delta m = 0,02 \times 3500$$

$$\Delta m = 70 \text{ mm}$$

Tabel 5.5 Analisa simpangan antar tingkat arah X

Lantai	Kinerja Batas Layan (Δs)				Kinerja Batas Ultimit (Δm)		
	di (mm)	Δs antar tingkat (mm)	Syarat Δs (mm)	Ket	Δm antar tingkat (mm)	Syarat Δm (mm)	Ket
1	13.75	13.75	12.353	not ok	81.79	70	not ok
2	20.14	6.40	10.588	ok	38.07	60	ok
3	31.74	11.59	10.588	not ok	68.98	60	not ok
4	41.84	10.11	10.588	ok	60.14	60	not ok
5	50.70	8.85	10.588	ok	52.69	60	ok
6	58.36	7.66	10.588	ok	45.57	60	ok
7	64.83	6.47	10.588	ok	38.51	60	ok
8	70.12	5.29	10.588	ok	31.46	60	ok
9	74.23	4.11	10.588	ok	24.45	60	ok
10	77.19	2.96	10.588	ok	17.64	60	ok
11	79.11	1.92	10.588	ok	11.41	60	ok
ATAP	79.73	0.62	5.294	ok	3.68	30	ok

Dari tabel 5.5 ada beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas layan dan kinerja batas ultimate hal ini dikarenakan hasil output displacement terlalu besar dan peneliti sendiri sulit untuk menganalisis tiap lantai untuk mengetahui titik kesalahan.

Tabel 5.6 Analisa simpangan antar tingkat arah Y

Lantai	Kinerja Batas Layan (ΔS)				Kinerja Batas Ultimit (Δm)		
	di (mm)	Δs antar tingkat (mm)	Syarat Δs (mm)	Ket	Δm antar tingkat (mm)	Syarat Δm (mm)	Ket
1	9.21	9.21	12.35	ok	54.81	70	ok
2	27.03	17.82	10.59	not ok	106.03	60	not ok
3	40.07	13.04	10.59	not ok	77.58	60	not ok
4	50.57	10.50	10.59	ok	62.46	60	not ok
5	59.52	8.96	10.59	ok	53.29	60	ok
6	67.23	7.71	10.59	ok	45.87	60	ok
7	73.77	6.53	10.59	ok	38.88	60	ok
8	79.14	5.37	10.59	ok	31.97	60	ok
9	83.35	4.21	10.59	ok	25.04	60	ok
10	86.39	3.04	10.59	ok	18.10	60	ok
11	88.30	1.91	10.59	ok	11.35	60	ok
ATAP	88.85	0.55	5.29	ok	3.28	30	ok

Dari tabel 5.6 ada beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas layan dan kinerja batas ultimate hal ini dikarenakan hasil output displacement terlalu besar dan peneliti sendiri sulit untuk menganalisis tiap lantai untuk mengetahui titik kesalahan.

D. Pembebanan Gempa SNI 1726:2012

1. Parameter Beban Gempa

a. Waktu getar bangunan (T)

Perhitungan gaya geser lantai atau sering juga disebut dengan analisis beban gempa terdiri dari 2 metode yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamis. Analisis beban gempa pada struktur bangunan gedung ini menggunakan analisis statik ekuivalen yang terdiri dari :

b. Berat bangunan total (W_i) = 379735,625 KN

c. Percepatan Respons spectra adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T, lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Spektrum percepatan akan berhubungan dengan gaya geser maksimum yang bekerja pada dasar struktur dengan parameter yang bersumber dari

<http://puskim.pu.go.id/> untuk wilayah yogyakarta dengan jenis tanah sedang (SD).

$$S_s = \text{respon spectra percepatan gempa periode 0,2 detik} \\ = 1,212 \text{ g}$$

$$S_1 = \text{respon spectra percepatan gempa periode 1 detik} \\ = 0,444 \text{ g}$$

$$F_a = \text{Koefisien situs pada periode pendek 0,2 detik} \\ = 1$$

$$F_v = \text{Koefisien situs pada periode 1 detik} \\ = 1$$

Gambar 5.3 percepatan respon spektra MCE periode 0,2 dan 1 detik (sumber : puskim.pu)

Jenis Batuan	
Tanah Sedang (D) ▼	
Copy Excel	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.529
S_s (g)	1.212
S_1 (g)	0.444
C_{RS}	0.928
C_{R1}	0.000
F_{PGA}	1.000

d. Respon Pectrum Percepatan Gempa Maksimum

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 6.2}) \\ = 1 \times 1,212 = 1,212 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 6.2}) \\ = 1 \times 0,444 = 0,444 \text{ g}$$

e. Parameter Percepatan Spektral Desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 6.3})$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 1,212 = 0,808 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot SM1 \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 6.3})$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 0,444 = 0,296 \text{ g}$$

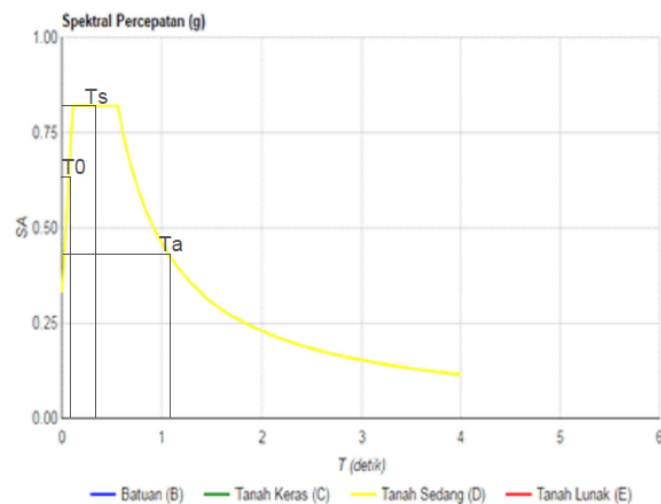
f. Respon Spektrum Desain

$$T_0 = 0,2x \frac{SD1}{SDs} \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 6.4})$$

$$= 0,2x \frac{0,296}{0,808} = 0,07327 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDs} \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 6.4})$$

$$= \frac{0,296}{0,808} = 0,36634 \text{ detik}$$



Gambar 5.4 Keluaran Respon Spektrum Gempa <http://puskim.pu.go.id/>

g. Periode Pendekatan Fundamental

Pada beberapa rumus pendekatan dengan ketentuan yang sudah tertera pada SNI 1726 tahun 2012, pada stuktur yang ditinjau ini ketinggian bangunan tidak melebihi 12 tingkat, jadi:

Dari tabel 14 dan 15 didapat parameter perioda pendekatan

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$H = 35 \text{ meter}$$

$$C_u = 1,4 \text{ (} S_{DI} = 0,444 \text{)}$$

Nilai Periode alami

$$T_a = C_t \times H^x \dots\dots\dots \text{(SNI 1726:2012 pasal 7.8.2)}$$

$$= 0,0444 \times 35^{0,9} = 1,157 \text{ detik}$$

Nilai Periode Maksimum

$$T_{\max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 1,157 = 1,620 \text{ detik}$$

h. Faktor keutamaan (I) dan faktor reduksi beban gempa (R)

SNI 2847-2002 pasal 23 ketentuan khusus untuk perencanaan gempa diperoleh faktor I untuk Apartemen = 1, faktor Reduksi di dapat dari bangunan Rangka beton bertulang pemikul momen menengah R = 8

i. Perhitungan koefisien respons seismik

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

$$= \frac{0,808}{\frac{8}{1}} = 0,101$$

$$C_{s\min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots \text{(SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1)}$$

$$C_{s\min} = 0,044 \times 0,808 \times 1 \geq 0,01$$

$$= 0,035552 \geq 0,01 \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

$$C_{s\max} = \frac{SD1}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,296}{1,157 \cdot \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,1321 > 0,103 \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

j. Gaya geser dasar seismik

Perhitungan gaya geser dasar (V) dan beban gempa horizontal (fi) untuk portal arah X dan arah Y, didapat seperti yang terlihat pada Tabel 5.7.

$$\begin{aligned} V_{x-y} &= C_s \times W_t \dots\dots\dots (\text{SNI 1726:2012 pasal 7.8.1}) \\ &= 0,101 \times 379735,625 \\ &= 383353,2981 \text{ KN} \end{aligned}$$

Distribusi gaya geser horizontal total akibat gempa pada masing-masing lantai SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 pers (30) yang distribusinya dapat dilihat pada lampiran.

1. Portal Arah X dan Y (untuk lantai ketinggian 3,3 meter)

$$F_{ix-y} = \frac{W_i \cdot h_i^k}{\sum W_i \cdot h_i^k} V_{x-y}$$

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

1. Struktur periode $\leq 0,5$ detik k = 1
2. Struktur periode $\geq 2,5$ detik k = 2
3. Struktur periode $0,5 < k < 2,5$ k = interpolasi

$$k = 1,27721882 \text{ (interpolasi)}$$

$$F_{ix-y} = \frac{593841,161}{1672770,58} \times 383353,2981$$

$$F_{ix-y} = 20041,81798 \text{ KN}$$

Tabel 5.7 Distribusi gaya horizontal gempa untuk portal X dan Y

Tingkat	h ^k(m)	Wi(kn)	Wi.(hi^k)	fix total (KN)
L1	4.953292146	119888.176	593841.1605	20041.81798
L2	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L3	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L4	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L5	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L6	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L7	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L8	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L9	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L10	4.068068377	26548.282	108000.2265	3644.949231
L11	4.068068377	20912.911	85075.15192	2871.240364

ATAP	1.678444825	13019.333	21852.2321	737.5010144
TOTAL			1672770.583	56455.10244

2. Kontrol waktu getar dengan cara T. Rayleigh

Persamaan Rayleigh dinyatakan dengan :

$$Tr = 6,3 \sqrt{\frac{\sum(Wi.di^2)}{g \cdot \sum(fi.di)}}$$

Perhitungan waktu getar alami pada portal dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan 5.9.

a. Portal Arah X

Tabel 5.8 Waktu getar alami portal arah X

Lantai	Wi(kn)	di(mm)	di2(mm)	fi (kn)	wi.di2(kn mm2)	fi.di (Kn mm)
L1	119888.176	18.195	331.06	21380.83	39689942.77	389024.2875
L2	26548.282	25.567	653.67	3857.651	17353855.03	98628.55395
L3	26548.282	40.192	1615.4	3857.651	42886011.49	155046.6946
L4	26548.282	52.795	2787.3	3857.651	73998345.66	203664.6656
L5	26548.282	68.471	4688.3	3857.651	124465722.2	264137.1971
L6	26548.282	73.146	5350.3	3857.651	142042263.9	282171.7138
L7	26548.282	81.037	6567	3857.651	174342444.9	312612.435
L8	26548.282	87.428	7643.7	3857.651	202925913.3	337266.6803
L9	26548.282	92.33	8524.8	3857.651	226319561.6	356176.8837
L10	26548.282	95.777	9173.2	3857.651	243533595.9	369474.2055
L11	20912.911	97.868	9578.1	3038.792	200306902.8	297400.4865
ATAP	13019.333	98.471	9696.5	753.1012	126242455.1	74158.62882
TOTAL				59891.58	1614107015	3139762.432

$$Tr = 6,3 \sqrt{\frac{1614107015}{9810 \times 3139762,432}}$$

$$Tr = 1,442 \text{ detik}$$

$$1,157 < 1,442 < 1,620 \quad (Ta < Tr < T_{\max} \dots \text{Ok})$$

Maka sebaiknya digunakan nilai Tr karena berada diantara Ta dan T_{max}, kesulitan peneliti disini yaitu perlunya melakukan perubahan pada pemodelan SAP dan terlalu besarnya gedung.

b. Portal Arah Y

Tabel 5.9 Waktu getar alami portal arah Y

Lantai	Wi(kn)	di(mm)	di2(mm)	fi (kn)	wi.di2(kn mm2)	fi.di (Kn mm)
L1	119888.176	15.352	235.68	21380.83	28255713.36	328238.5744
L2	26548.282	33.213	1103.1	3857.651	29285499.32	128124.1508
L3	26548.282	49.62	2462.1	3857.651	65365703.86	191416.6248
L4	26548.282	62.991	3967.9	3857.651	105340027.7	242997.2716
L5	26548.282	72.261	5221.7	3857.651	138625893	278757.693
L6	26548.282	84.35	7114.9	3857.651	188888968.9	325392.8316
L7	26548.282	92.749	8602.4	3857.651	228378330.5	357793.2393
L8	26548.282	99.671	9934.3	3857.651	263738816.7	384495.8971
L9	26548.282	105.108	11048	3857.651	293297233.7	405469.9436
L10	26548.282	109.056	11893	3857.651	315744323.1	420699.9484
L11	20912.911	111.545	12442	3038.792	260204441.2	338962.0435
ATAP	13019.333	112.261	12603	753.1012	164076562.3	84543.89444
TOTAL				59891.58	2081201514	3486892.112

$$Tr = 6,3 \sqrt{\frac{2081201514}{9810 \times 3486892,112}}$$

$$Tr = 1,55397 \text{ detik}$$

$$1,157 < 1,55397 < 1,620 \quad (Ta < Tr < T_{\max} \dots \text{Ok})$$

Maka sebaiknya digunakan nilai Tr karena berada diantara Ta dan T_{\max} , kesulitan peneliti disini yaitu perlunya melakukan perubahan pada pemodelan SAP dan terlalu besarnya gedung.

3. Kontrol Simpangan

- a. Kinerja batas layan (Δs) contoh perhitungan arah X

Kinerja batas layan antar tingkat :

$$\Delta s = \text{selisih defleksi } n_2 - \text{tingkat } n_1$$

$$\Delta s = 18,195 - 0$$

$$= 18,195 \text{ mm}$$

Syarat simpangan antar tingkat Δs tidak boleh melebihi :

$$\Delta s = \frac{0,03}{R} \cdot h_i \text{ atau } < 30 \text{ mm}$$

Untuk lantai dengan tinggi ($h = 3500 \text{ mm}$)

$$\Delta s = \frac{0,03}{8,5} \cdot 3500$$

$$\Delta s = 12,3529 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

Syarat $\Delta s = 12,3529 \text{ mm}$

b. Kinerja batas ultimit (Δm) contoh perhitungan arah X

$$\Delta m = \xi \cdot R \cdot \Delta s$$

$$\Delta m = 0,7 \times 8,5 \times 18,195$$

$$\Delta m = 108,26 \text{ mm}$$

Syarat Δm tidak boleh melebihi ;

$$\Delta m = 0,02 \cdot h_i$$

$$\Delta m = 0,02 \times 3500$$

$$\Delta m = 70 \text{ mm}$$

Tabel 5.10 Analisa simpangan antar tingkat arah X

Lantai	Kinerja Batas Layan (ΔS)				Kinerja Batas Ultimit (Δm)		
	di (mm)	Δs antar tingkat (mm)	Syarat Δs (mm)	Ket	Δm antar tingkat (mm)	Syarat Δm (mm)	Ket
1	18.195	18.195	12.352	not ok	108.26	70	not ok
2	25.567	7.372	10.588	ok	43.86	60	ok
3	40.192	14.625	10.588	not ok	87.01	60	not ok
4	52.795	12.603	10.588	not ok	74.98	60	not ok
5	68.471	15.676	10.588	not ok	93.27	60	not ok
6	73.146	4.675	10.588	ok	27.81	60	ok
7	81.037	7.891	10.588	ok	46.95	60	ok
8	87.428	6.391	10.588	ok	38.02	60	ok
9	92.33	4.902	10.588	ok	29.16	60	ok
10	95.777	3.447	10.588	ok	20.50	60	ok
11	97.868	2.091	10.588	ok	12.44	60	ok
ATAP	98.471	0.603	5.294	ok	3.58	30	ok

Tabel 5.11. Analisa simpangan antar tingkat arah Y

Lantai	Kinerja Batas Layan (ΔS)				Kinerja Batas Ultimit (Δm)		
	di (mm)	Δs antar tingkat (mm)	Syarat Δs (mm)	Ket	Δm antar tingkat (mm)	Syarat Δm (mm)	Ket
1	15.352	15.352	12.352	not ok	91.34	70	not ok
2	33.213	17.861	10.588	not ok	106.27	60	not ok
3	49.62	16.407	10.588	not ok	97.62	60	not ok
4	62.991	13.371	10.588	not ok	79.55	60	not ok
5	72.261	9.27	10.588	ok	55.15	60	ok
6	84.35	12.089	10.588	not ok	71.92	60	not ok
7	92.749	8.399	10.588	ok	49.97	60	ok
8	99.671	6.922	10.588	ok	41.18	60	ok
9	105.11	5.437	10.588	ok	32.35	60	ok
10	109.06	3.948	10.588	ok	23.49	60	ok
11	111.55	2.489	10.588	ok	14.80	60	ok
ATAP	112.26	0.716	5.294	ok	4.26	30	ok

Dari tabel 5.10 dan 5.11 ada beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas layan dan batas ultimit, hal ini dikarenakan nilai displacementnya yang terlalu besar, nilai displacement ini dipengaruhi oleh pemodelan dalam SAP.

E. Analisis Struktur

Untuk keperluan desain, analisis dari sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap adanya kombinasi pembebanan (*Load combination*) dari beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut peraturan pembebanan Indonesia untuk rumah dan gedung 1983, ada dua kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu: Kombinasi pembebanan tetap dan kombinasi pembebanan sementara. Kombinasi pembebanan tetap dianggap beban bekerja secara terus-menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan tetap disebabkan oleh bekerjanya beban mati dan beban hidup.

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus-menerus pada stuktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa struktur.

Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Nilai-nilai tersebut dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Dalam hal perencanaan ini penulis menggunakan pembebanan pergitungan gempa akibat gaya horizontal (gaya gempa) menggunakan peraturan SNI 1726:2012 dikarenakan pada perhitungan, gaya geser yang lebih besar akibat beban gempa didapat pada peraturan perencanaan pembebanan gempa untuk struktur bangunan gedung maupun non gedung tahun 2012.

Analisis struktur menggunakan data-data yang didapat dari pembebanan yang kemudian dilakukan kombinasi beban SNI 1726:2012 dengan menggunakan persamaan berikut :

1. Komb 1 : 1,4 DL
2. Komb 2 : 1,2 DL + 1,6 LL
3. Komb 3 : 1,2 DL + 1,6 LL \pm 0,5 A
4. Komb 4 : 1,2 DL + 1 LL \pm 1 EX \pm 0,3 EY
5. Komb 5 : 1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 EX \pm 1 EY
6. Komb 6 : 0,9 DL \pm 1 EX \pm 0,3EY
7. Komb 7 : 0,9 DL \pm 0,3 EX \pm 1EY

Maka kombinasi beban yang dimasukkan dalam SAP 2000 v.14.0.0 adalah sebagai berikut :

1. Komb 1 : 1,4 DL
2. Komb 2 : 1,2 DL + 1,6 LL
3. Komb 3 : 1,2 DL + 1 LL \pm 1 EX \pm 0,3 EY
4. Komb 4 : 1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 EX \pm 1 EY

Data-data pembebanan pada perancangan struktur gedung Apartemen Malioboro City setelah dirunning dengan program SAP 2000 v.14.0.0 didapat gaya-gaya dalam dan gaya terfaktor yang nantinya digunakan untuk menentukan

penulangan pada struktur portal gedung meliputi struktur kolom, balok, balok sloof, dan balok atap.

F. Perhitungan Struktur Portal

Analisis struktur terdiri dari perancangan dimensi dan penulangan balok, kolom dan hubungan balok kolom. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perancangan yang memenuhi syarat kekuatan, sesuai dengan peraturan yang berlaku, dan dapat memberikan keamanan pada struktur.

Perancangan Penulangan balok dan kolom sebagai struktur sistem portal, menggunakan momen rencana dan gaya geser rencana yang diperoleh dari hasil Analisis SAP 2000 v.14.0.0. Momen rencana dan gaya geser rencana dihitung dari kombinasi pembebanan struktur akibat beban mati, beban hidup dan beban gempa. Besarnya momen rencana digunakan untuk menghitung tulangan lentur yang diperlukan, sedangkan gaya geser rencana digunakan untuk menghitung jumlah tulangan geser.

1. Hasil Output Permodelan Gedung SAP 2000 v.14.0.0

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v.14.0.0, momen terbesar pada balok dapat dilihat pada tabel 5.12 sedangkan gaya geser balok dapat dilihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.12 *Output* Momen Terbesar pada Balok

No	Tipe balok	Dimensi		Vu (N)	Mu (Nmm)	
		b (mm)	h (mm)		Tumpuan	Lapangan
1	BP1	500	700	690952	937276300	864729400
2	BP2	250	400	40613	30784800	22697300
3	BP3	300	700	462677	597521600	667401400
4	BP4	400	600	332607	426021400	353861800
5	BP6	500	700	4339039	1068046300	1010557300
6	BP7	700	600	326023	600763500	332713200
7	BP9	800	1000	2528083	2355223300	406829900
8	BP11	1000	1200	2435291	3149201100	3735732600
9	BP12	1300	1600	3654229	9136479100	3861395900

10	B1	500	800	1112397	1245078800	873570500
11	B2	300	600	332237	473520900	470213100
12	B3	300	700	352656	513549100	448335800
13	B4	400	650	843570	489694600	606173000
14	B5	300	400	274319	167035800	180755300
15	B6	300	500	164335	319559400	222468800
16	B7	500	700	497583	943255700	704617600
17	RB1	300	500	91618	153146300	111019600
18	RB2	300	500	94565	166050300	119607600
19	RB3	400	600	148802	244170500	182242700
20	RB4	300	600	22445	24864200	11871000
21	RB5	300	500	119105	190600300	149907300
22	RB6	300	500	144770	231931800	213095200

Tabel 5.13 Output Gaya Geser Terbesar pada Balok

No	Tipe balok	Dimensi		Vu (Nmm)	V Death (Nmm)	V life (Nmm)	V Earthquake (N)
		b (mm)	h (mm)				
1	BP1	500	700	690952	329053	110408	551576
2	BP2	250	400	40613	19484	5792	65823
3	BP3	300	700	462677	121883	33916	508967
4	BP4	400	600	332607	77831	19258	260186
5	BP6	500	700	4339039	1928409	1024541	584150
6	BP7	700	600	326023	176237	2898	117651
7	BP9	800	1000	2528083	1410508	345858	402587
8	BP11	1000	1200	2435291	1214173	459656	806917
9	BP12	1300	1600	3654229	1580707	900775	367579
10	B1	500	800	1112397	277808	47139	888344
11	B2	300	600	332237	53465	17132	305548
12	B3	300	700	352656	71238	22301	316927
13	B4	400	650	843570	128000	32173	791805
14	B5	300	400	274319	52280	26817	255072
15	B6	300	500	164335	64043	29318	132684
16	B7	500	700	497583	88812	28045	517588
17	RB1	300	500	91618	52822	4699	47190
18	RB2	300	500	94565	34085	7675	47660
19	RB3	400	600	148802	90303	14416	29768
20	RB4	300	600	22445	13818	2230	9197
21	RB5	300	500	119105	69878	13298	22288
22	RB6	300	500	144770	79164	16151	76553

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v.14.0.0, gaya aksial, gaya normal, gaya geser dan momen terbesar pada kolom dapat dilihat pada tabel 5.14 .

Tabel 5.14 Gaya-gaya Dalam Akibat Pembebanan Struktur

Tipe kolom	Dimensi		M1b (Nmm)	M2b (Nmm)	Pu (N)	Vu (N)	Vd (N)	VI (N)	Ve (N)
	b (mm)	h (mm)							
K1	1000	1000	1091091200	2013405400	1183597	1183597	292213	198762	968967
K2	800	900	1430941000	1707429300	707786	707786	320982	85031	642715
K3	700	800	787402100	984781000	474474	474474	51052	19949	475420
K4	1000	1000	3853399300	6071351700	3171087	3171087	1403948	753474	648813
K5	600	600	357462300	244317500	170727	170727	78627	19007	85085

G. Perancangan Penulangan Balok

Perancangan tulangan lentur dan tulangan geser balok, akan dirancang sesuai dengan masing-masing tipe balok yang ada. Penulangan balok dirancang berdasarkan momem dan gaya geser terbesar dari hasil analisis mekanika dengan menggunakan program SAP 2000 v.14.0.0 pada tabel 5.12.

1. Data struktur

Tipe Balok	= BP2
Dimensi struktur	= 250 x 400 mm
Selimut beton (s)	= 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	= 10 mm
$f'c$	= 25 MPa
f_y	= 400 MPa
Momen Tumpuan	= 30784800 Nmm (SAP)
Momen Lapangan	= 22697300 Nmm (SAP)
Gaya Geser	= 40613 N (SAP)
d'	= $s + \Phi + \frac{1}{2} \cdot D$
	= $40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16$
	= 58 mm
d	= $h - d'$

	= 400 – 58
	= 342 mm
Lb	= 6000 mm
β	= 0,85 ($f'c \leq 30$ MPa)
ϕ	= 0,80
fys	= 240 MPa

2. Persyaratan dimensi berdasarkan SNI 03-2847-2002

h	$\geq \frac{Lb}{21}$	
400 mm	$\geq \frac{6000}{21}$	
400 mm	$\geq 285,71$ mm	OK
b	≥ 250 mm	
250	≤ 250 mm	OK
b/h	$\geq 0,3$	
250/400	$\geq 0,3$	
0,6	$\geq 0,3$	OK
Lb/h	≥ 4	
6000/400	≥ 4	
15	≥ 4	OK

3. Perancangan Tulangan Lentur Tumpuan Balok

$$M_u = 30784800 \text{ Nmm (SAP)}$$

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

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

$$= 0,003500$$

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

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \\ \rho_{maks} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,02032 \\ Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{Mu}{0,80} = \frac{30784800}{0,80} = 38481000 \text{ Nmm} \\ Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{38481000}{250 \cdot 342^2} = 1,316 \text{ N/mm}^2 \\ m &= \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,8235 \\ \rho_{hit} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\ \rho_{hit} &= \frac{1}{18,8235} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 1,316}{400}} \right] \\ &= 0,00399 \\ \rho_{min} &= 0,003500 \\ \rho_{maks} &= 0,020320 \\ \rho_{hit} &= 0,00399 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \rho_{min} \\ \rho_{maks} \\ \rho_{hit} \end{aligned}} \right\} \text{ digunakan } \rho_{hit}$$

$$\begin{aligned} A_S \text{ perlu} &= \rho_{hit} \cdot b \cdot d \\ A_S \text{ perlu} &= 0,00399 \cdot 250 \cdot 342 \\ &= 1737,386 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan D 16 } A_{S_{tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{S_{tul}}} = 8,64 \text{ buah} \approx 9 \text{ buah}$$

Jumlah tulangan atas 5 buah

$$\text{Jarak tulangan atas} = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 16}{5 - 1} = 17,5 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan bawah 4 buah

$$\text{Jarak tulangan bawah} = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 4 \cdot 16}{4 - 1} = 28,67 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan 9 D 16

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$$A_s' > 0,5 \rho_{hit} \cdot b \cdot d$$

$$0,5 \cdot 1737,386 = 868,693$$

$$868,693 : A_{S_{tul}}$$

$$868,693 : 201,062 = 4,32 \approx 5 \text{ D 16}$$

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek luas tulangan :

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} < 1809,557 \text{ mm}^2$$

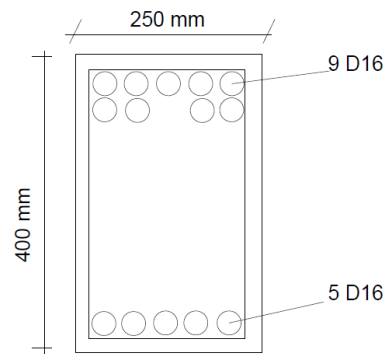
$$= \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

$$= 299,25 \text{ mm}^2 < 1809,557 \text{ mm}^2$$

OK

$$A_{S_{maks}} = \frac{n \cdot b_w \cdot d}{f_y} > 1809,557 \text{ mm}^2$$

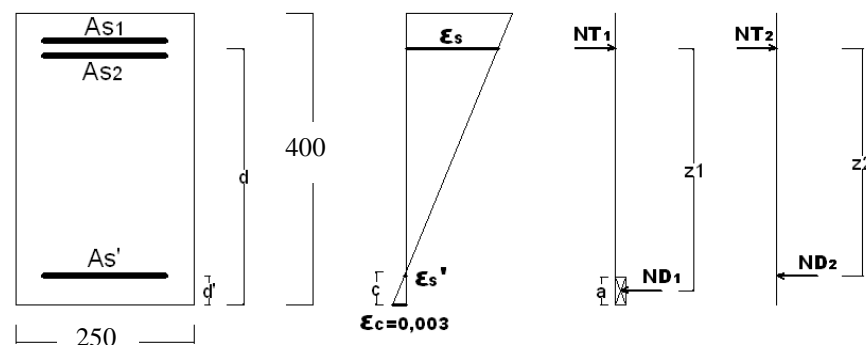
$$\begin{aligned}
 &= \frac{9 \cdot 250 \cdot 342}{400} \\
 &= 1923,75 \text{ mm}^2 > 1809,557 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.5 Penulangan tumpuan balok tipe BP-2

4. Analisis Kapasitas Momen Layan Tumpuan Balok

Sebagai contoh perhitungan akan di hitung kapasitas momen layan balok BP2 di tumpuan dengan dimensi 250 x 400 mm².



Gambar 5.6 Analisis kapasitas momen layan tumpuan balok

- 1) Data hasil analisis SAP (Tabel 5.12)

$$M_u = 30784800 \text{ Nmm}$$

- 2) Data mutu beton dan mutu baja

$$f_y = 400 \text{ MPa (Tulangan lentur)}$$

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa (Tulangan geser)}$$

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

$$\beta = 0,85$$

3) Data tulangan dan selimut beton yang digunakan

$$T_1 = 16 \text{ mm}$$

$$T_t = 10 \text{ mm}$$

$$S = 40 \text{ mm}$$

$$A_s = 9 \text{ D } 16 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 5 \text{ D } 16 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

$$d' = s + T_t + \frac{1}{2} T_1 \\ = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 58,0 \text{ mm}$$

4) *Checking* kapasitas momen layan tumpuan balok

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan asumsi tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$) dan tekan belum leleh ($f_s' \neq f_y$).

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ = \frac{(1809,557 - 1005,31) \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} = 60,555 \text{ mm}$$

Letak garis netral (c),

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{60,555}{0,85} = 71,24 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ = \frac{342 - 71,24}{71,24} \times 0,003$$

$$= 0,011401 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi benar, tulangan tarik leleh)}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \\ = \frac{71,24 - 58}{71,24} \times 0,003$$

$$= 0,00056 < \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi salah, tulangan tekan belum leleh)}$$

Pemeriksaan asumsi, karena $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$, tulangan baja tarik telah melampaui batas leleh tetapi baja tekan belum. Dengan demikian ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan letak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ($\Sigma H_F = 0$), $N_T = N_{D1} + N_{D2}$, yaitu dengan mencari nilai c dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

$$R = \frac{600 \times A_s' - A_s x f_y}{1,7 x f_c' x b x \beta}$$

$$Q = \frac{600 \times d' \times A_s'}{0,85 x f_c' x b x \beta}$$

Maka,

$$R = \frac{600 \times 1005,31 - 1809,557 \times 400}{1,7 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= -13,357 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{600 \times 58 \times 1005,31}{0,85 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= 7747,49 \text{ mm}$$

$$c = \pm \sqrt{(7747,49 + (-13,357)^2)} - (-13,357)$$

$$= 102,385 \text{ mm}$$

Demikian nilai c tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 2 \cdot 10^5$$

$$= \frac{102,385 - 58}{102,385} \times 600$$

$$= 260,108 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

OK

$$\begin{aligned}
 a &= \beta \times c \\
 &= 0,85 \times 102,385 \\
 &= 87,027 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil analisis gaya dan momen nominal lapangan balok ditampilkan dalam tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Analisis gaya dan momen nominal tumpuan balok

Gaya (N)	Jarak (mm)	Momen (Nmm) ($ND_n \times Z_i$)
$ND_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 462334,08$	$Z_1 = d - (a/2) = 298,486$	$Mn_1 = 138000343,4$
$ND_2 = A_s' \cdot f_s' = 261488,4862$	$Z_2 = d - c = 239,615$	$Mn_2 = 62656551,35$
$\Sigma ND = 723822,95$		$\Sigma Mn = 200656894,7$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Mr &= \phi Mn > Mu \\
 &= 0,8 \times 200656894,7 \\
 &= 160525515,8 > 30784800 \text{ Nmm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

5. Perancangan Tulangan Lentur Lapangan Balok

$$Mu = 22697300 \text{ Nmm (SAP)}$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0,003500$$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400}$$

$$= 0,0271$$

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

$$= 0,020325$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{22697300}{0,80} = 28371625 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$Rn = \frac{28371625}{250 \cdot 342^2} = 0,970 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot 25}$$

$$= 18,8235$$

$$\rho_{hit} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right]$$

$$\rho_{hit} = \frac{1}{18,8235} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 0,970}{400}} \right]$$

$$= 0,0025$$

$$\rho_{min} = 0,003500$$

$$\rho_{maks} = 0,020325$$

$$\rho_{hit} = 0,0025$$

} digunakan ρ_{maks}

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_{S \text{ perlu}} = 0,020325 \cdot 150 \cdot 342$$

$$= 1737,39 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan D 16 } A_{S \text{ tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{S \text{ perlu}}}{A_{S \text{ tul}}} = 8,64 \approx 9 \text{ buah}$$

Jumlah tulangan atas = 5 buah

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan atas} &= \frac{B - 2 \cdot S - 2 \cdot \phi - n_{\text{baris}} \cdot D}{n_{\text{baris}} - 1} \\ &= \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 16}{5 - 1} = 17,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bawah = 4 buah

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan atas} &= \frac{B - 2 \cdot S - 2 \cdot \phi - n_{\text{baris}} \cdot D}{n_{\text{baris}} - 1} \\ &= \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 4 \cdot 16}{4 - 1} = 28,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 9 D 16

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$$A_s' > 0,5 \rho_{maks} \cdot b \cdot d$$

$$0,5 \cdot 1737,39 = 868,695$$

$$868,695 : A_{S_{tul}}$$

$$868,695 : 201,062 = 4,32 \approx 5 \text{ D } 16$$

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1005,37 \text{ mm}^2$$

Cek luas tulangan :

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} < 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

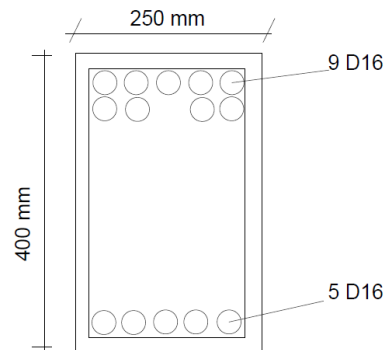
$$= 299,25 \text{ mm}^2 < 1809,557 \text{ mm}^2$$

OK

$$A_{S_{maks}} = \frac{n \cdot b_w \cdot d}{f_y} > 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{9 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

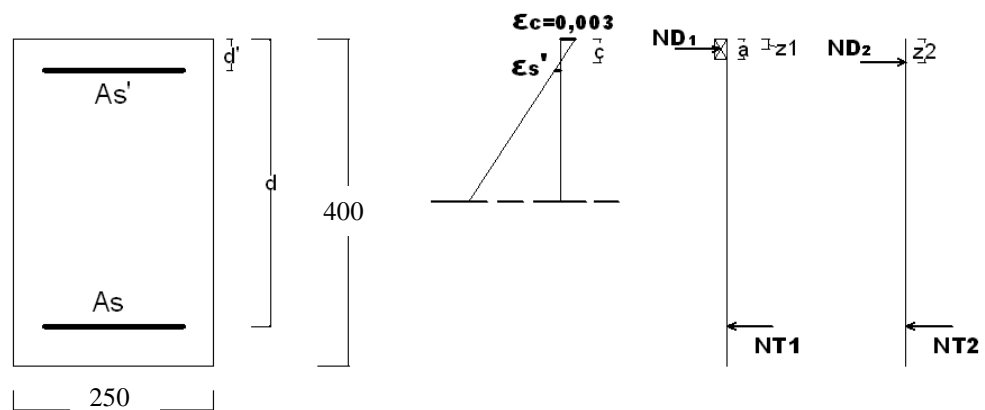
$$= 1923,75 \text{ mm}^2 > 1809,557 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$



Gambar 5.7 Penulangan lapangan balok tipe BP-2

6. Analisis Kapasitas Momen Layan Lapangan Balok

Sebagai contoh perhitungan akan dihitung kapasitas momen layan balok BP-2 di lapangan dengan dimensi $250 \times 400 \text{ mm}^2$.



Gambar 5.8 Analisis kapasitas momen layan lapangan balok

- 1) Data hasil analisis SAP (Tabel 5.12)
 - $M_u = 22697300 \text{ Nmm}$
- 2) Data mutu beton dan mutu baja
 - $f_y = 400 \text{ MPa}$ (Tulangan lentur)
 - $f_{ys} = 240 \text{ MPa}$ (Tulangan geser)
 - $f'_c = 25 \text{ MPa}$
 - $\beta = 0,85$

3) Data tulangan dan selimut beton yang digunakan

$$T_1 = 16 \text{ mm}$$

$$T_t = 10 \text{ mm}$$

$$S = 40 \text{ mm}$$

$$A_s = 9 \text{ D } 16 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 5 \text{ D } 16 = 1005,37 \text{ mm}^2$$

$$d' = s + T_t + \frac{1}{2} T_1$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 58,0 \text{ mm}$$

4) *Checking* kapasitas momen layan lapangan balok

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan asumsi tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$) dan tekan belum leleh ($f_s' \neq f_y$).

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A_{s'}) \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{(1809,557 - 1005,31) \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} = 60,555 \text{ mm}$$

Letak garis netral (c),

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{60,555}{0,85} = 71,24 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{342 - 71,24}{71,24} \times 0,003$$

$$= 0,011401 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi benar, tulangan tarik leleh)}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{71,24 - 58}{71,24} \times 0,003$$

$$= 0,00056 < \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi salah, tulangan tekan belum leleh)}$$

Pemeriksaan asumsi, karena $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$, tulangan baja tarik telah melampaui batas leleh tetapi baja tekan belum. Dengan demikian ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan letak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ($\sum H_F = 0$), $N_T = N_{D1} + N_{D2}$, yaitu dengan mencari nilai c dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

$$R = \frac{600 \times A_s' - A_s x f_y}{1,7 x f_c' x b x \beta}$$

$$Q = \frac{600 \times d' \times A_s'}{0,85 x f_c' x b x \beta}$$

Maka,

$$\begin{aligned} R &= \frac{600 \times 1005,31 - 1809,557 \times 400}{1,7 \times 25 \times 250 \times 0,85} \\ &= -13,357 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{600 \times 58 \times 1005,31}{0,85 \times 25 \times 250 \times 0,85} \\ &= 7747,49 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \pm \sqrt{(7747,49 + (-13,357)^2)} - (-13,357) \\ &= 102,385 \text{ mm} \end{aligned}$$

Demikian nilai c tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 2 \cdot 10^5$$

$$= \frac{102,385 - 58}{102,385} \times 600$$

$$= 260,108 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

OK

$$\begin{aligned}
 a &= \beta \times c \\
 &= 0,85 \times 102,385 \\
 &= 87,027 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil analisis gaya dan momen nominal lapangan balok ditampilkan dalam tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Analisis gaya dan momen nominal lapangan balok

Gaya (N)	Jarak (mm)	Momen (Nmm) ($ND_n \times Z_i$)
$ND_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 462334,08$	$Z_1 = d - (a/2) = 298,486$	$Mn_1 = 138000343,4$
$ND_2 = A_s \cdot f_s' = 261488,4862$	$Z_2 = d - c = 239,615$	$Mn_2 = 62656551,35$
$\Sigma ND = 723822,95$		$\Sigma Mn = 200656894,7$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Mr &= \phi Mn > Mu \\
 &= 0,8 \times 200656894,7 \\
 &= 160525515,8 > 22697300 \text{ Nmm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan dan lapangan balok dengan menggunakan cara yang sama pada balok dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.17 Hasil Perancangan Tulangan Lentur Balok

Tipe balok	Dimensi		D Tul.(mm)		Jumlah tul. Atas		Jumlah tul.bawah		Mu	
	b (mm)	h (mm)	Tump	Lap.	Tump	Lap.	Tump	Lap.	Tump	Lap.
BP1	500	700	25	25	6	6	6	5	937276300	864729400
BP2	250	400	16	16	5	5	4	4	30784800	22697300
BP3	300	700	19	19	7	7	6	7	597521600	667401400
BP4	400	600	16	16	7	6	7	6	426021400	353861800
BP6	500	700	25	25	7	7	7	6	1068046300	1.011E+09
BP7	700	600	25	25	8	5	0	0	600763500	332713200
BP9	800	1000	25	25	9	3	9	3	2355223300	406829900
BP11	1000	1200	29	29	8	9	7	9	3149201100	3.736E+09

BP12	1300	1600	36	36	11	5	10	4	9136479100	3.861E+09
B1	500	800	25	25	7	5	6	4	1245078800	873570500
B2	300	600	19	19	6	6	6	6	473520900	470213100
B3	300	700	19	19	6	5	5	4	513549100	448335800
B4	400	650	19	19	6	7	5	7	489694600	606173000
B5	300	400	16	16	5	6	5	5	167035800	180755300
B6	300	500	19	19	5	4	5	3	319559400	222468800
B7	500	700	25	25	6	4	6	4	943255700	704617600
RB1	300	500	16	16	3	3	3	2	153146300	111019600
RB2	300	500	13	13	5	4	5	3	166050300	119607600
RB3	400	600	16	16	4	3	4	3	244170500	182242700
RB4	300	600	16	16	4	3	0	0	24864200	11871000
RB5	300	500	16	16	4	3	4	3	190600300	149907300
RB6	300	500	16	16	5	5	5	4	231931800	213095200

7. Perencanaan Penulangan terhadap Geser Balok

Data Struktur

Lb : 6000 mm

Balok, Ki : 400 mm

Balok, Ka : 400 mm

Ln : $6000 - 2 \cdot (1/2 \cdot 400) = 5600$ mm

Fy : 400 Mpa > Tulangan Ø 13 mm

D_{tul} : 16 mm

Ø_{tul} : 10 mm

b/h : 250/400 mm

Φ : koefisien reduksi (0,55)**Pasal 11.3 SNI 03-2847-2002**

Gaya Geser Hasil *Running* Analisis SAP 2000. V14.0.0

V_{ult} : 40613 N

V_{Death} : 19484 N

V_{Live} : 5792 N

V_E : 65823 N

Mn_{ki}= Mn_{ka} : As.fy.(d – a/2) **SNI 03-2847-2002**

: 603,186.400.(342-60,551/2)

: 75210618,14 Nmm

$$\begin{aligned}
 V_g & : 1,2 V_D + 1,0 V_L \\
 & : 1,2 \times 19484 + 1,0 \times 5792 \\
 & : 29172,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perencanaan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis

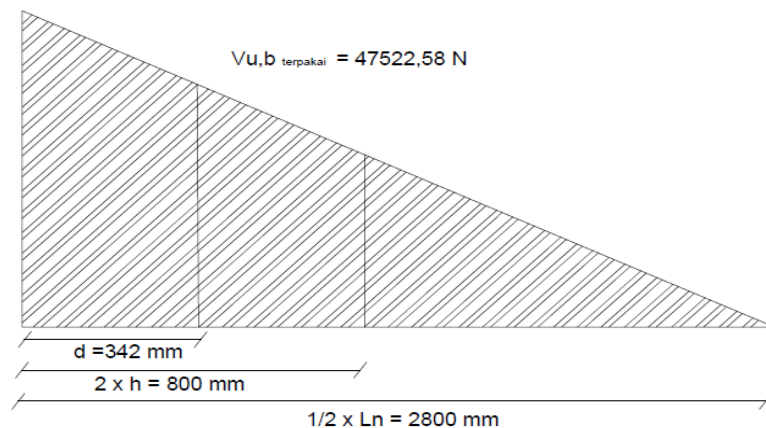
$$\begin{aligned}
 V_{U,1} & = 40613 \text{ N} \\
 M_{n_{ki}} = M_{n_{ka}} & = 75210618,14 \text{ N} \\
 M_{kap,b} & = \phi_o \times M_{nak,b} \\
 & = 1,25 \times 75210618,14 \\
 & = 9413272,68 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{U,2} & = 0,7x \frac{M_{kap,b} + M_{kap,b'}}{l_n} + 1,05V_g \\
 & = 0,7x \frac{2 \times 9413272,68}{5600} + 1,05 \cdot 29172,8 \\
 & = 54134,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tetapi tidak lebih besar dari :

$$\begin{aligned}
 V_{U,3} & = 1,05 \left(V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4}{K} x V_{E,b} \right) \\
 & = 1,05 \left(19484 + 5792 + \frac{4}{1} x 65823 \right) \\
 & = 302994,4 \text{ N} \\
 V_{U,2} & = 54134,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{u,2} = 54134,76 \text{ N}$$



$$\begin{aligned}
 V_{u,b_{\text{terpakai}}} &= \frac{0,5 \times \ln - d}{0,5 \times \ln} \times V_{u,2} \\
 &= \frac{0,5 \times 5600 - 342}{0,5 \times 5600} \times 54134,76 \text{ N} \\
 &= 47522,584 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kekuatan Geser

Dicoba menggunakan $V_c = 0$, maka

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{47522,584}{0,55} - 0$$

$$= 86404,6984 \text{ N}$$

$$\frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 285000 \text{ N}$$

$$V_s < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$86404,6984 \text{ N} < 285000 \text{ N}$$

OK

Asumsi dipasang diameter sengkang 2ϕ 10 mm

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 157,079 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{4} = \frac{342}{4} = 85,5 \text{ mm}$$

$$S \leq 9 \times D \text{ mm} = 9 \times 16 = 144 \text{ mm}$$

$$S \leq 24 \times \phi \text{ mm} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \leq 200 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{157,079.240.342}{86404,6984}$$

$$= 149,217 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 140 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

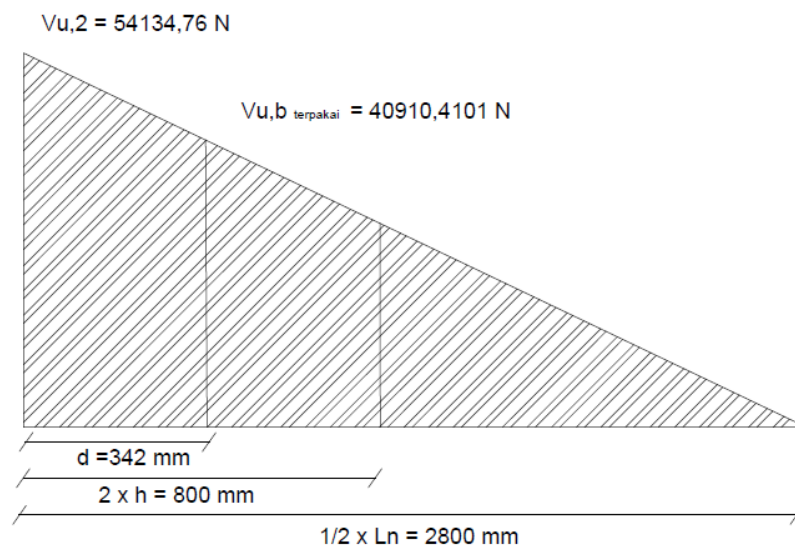
Cek Bentang Tulangan Geser

$$V_{S_{pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$= \frac{157,079.240.342}{140}$$

$$= 92093,545 \text{ N} > 86404,6984 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Perancangan Tulangan Geser di Luar Daerah Sendi Plastis



$$\begin{aligned} V_{u,b \text{ terpakai}} &= \frac{0,5 \times L_n - 2h}{0,5 \times L_n} \times V_{u,2} \\ &= \frac{0,5 \times 5600 - 2 \times 342}{0,5 \times 5600} \times 54134,758 \\ &= 40910,4101 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 71250 \text{ N} \\
 \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d &= \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 285000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kekuatan Geser

Dicoba menggunakan V_c diluar sendi plastis = 71250 N, maka

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\Phi} - V_c \\
 V_s &= \frac{40910,4101}{0,55} - 71250 \\
 &= 3132,564 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_s < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d$$

$$3132,564 \text{ N} < 285000 \text{ N} \quad \text{OK}$$

Asumsi dipasang diameter sengkang 1 ϕ 10 mm

$$A_v = 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 200 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{78,540 \cdot 342}{3132,564} \\
 &= 2057,914 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Mencari jumlah sengkang yang dipasang untuk tumpuan :

$$\begin{aligned} n &= (Ln/4) / S \\ &= (5600/4) / 150 \\ &= 9,3 \approx 10 \end{aligned}$$

Untuk sengkang n harus ditambah 1 maka jumlah yang dipasang adalah 11 buah.

Cek Bentang Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{pakai}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ &= \frac{78,540 \cdot 240 \cdot 342}{150} \\ &= 42977,088 \text{ N} > 325569,00 \text{ N} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Pada daerah di luar plastis dipasang sengkang Ø10 – 150 mm

Hasil perhitungan tulangan geser balok di daerah sendi plastis dan di luar daerah sendi plastis pada balok dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Hasil Perancangan Tulangan Geser Balok

Tipe balok	Dimensi		Ø (mm)	Vub terpakai		Vc (N)		Vs (N)		Tul. terpakai		jarak (mm)	
	b (mm)	h (mm)		Tump	Lap.	Tump	Lap.	Tump	Lap.	Tump	Lap.	Tump	Lap.
BP1	500	700	10	567917	400497	0	265625	1032577	462551	15	30	100	100
BP2	250	400	10	47522.6	40910.4	0	71250	86404.7	3132.56	11	20	140	150
BP3	300	700	10	418734	294539	0	160125	761335	375401	15	20	100	150
BP4	400	600	10	322297	244935	0	180667	585995	264669	15	20	100	150
BP6	500	700	10	3105658	2469559	0	265625	5646651	4224483	33	39	60	100
BP7	700	600	10	386623	292698	0	313542	702951	218636	15	23	100	130
BP9	800	1000	10	1876772	1245571	0	625000	3412313	1639674	20	33	100	120
BP11	1000	1200	10	2209088	1211336	0	947917	4016524	1254513	20	26	100	150
BP12	1300	1600	10	3045263	906445	0	1656417	5536841	-8335.3	20	26	100	150
B1	500	800	10	471208	298529	0	307292	856741	235488	15	26	100	110
B2	300	600	10	400528	266023	0	135125	728232	348553	11	21	110	110
B3	300	700	10	250204	175994	0	160125	454916	159865	11	20	150	150
B4	400	650	10	320756	216083	0	196833	583192	196044	13	23	100	110
B5	300	400	10	110251	94487.4	0	86000	200456	85795.3	14	21	100	140

B6	300	500	10	248510	184475	0	110125	451836	225283	12	17	100	140
B7	500	700	10	332392	176869	0	265625	604349	55955.3	13	15	90	150
RB1	300	500	10	113932	92575.7	0	110500	207149	57819.5	11	20	150	150
RB2	300	500	10	133122	64190.6	0	110875	242040	5835.27	6	10	130	150
RB3	400	600	10	188776	143463	0	180667	343230	80175.8	14	25	110	120
RB4	300	600	10	43167.4	23389.9	0	135500	78486.2	-92973	9	13	120	150
RB5	300	500	10	177036	116046	0	110500	321884	100494	9	13	120	150
RB6	300	500	10	199441	147829	0	110500	362621	158281	11	16	110	150

H. Perancangan Penulangan Kolom

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v.14.0.0, gaya aksial, gaya geser dan momen terbesar pada kolom dapat dilihat pada tabel 5.14.

1. Data Struktur

Tipe kolom	= K-1
Dimensi kolom	= $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$
Tinggi kolom (H)	= 3500 mm
Selimut beton (ds)	= 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 36 mm
Diameter tulangan geser (ϕ)	= 10 mm
f'_c	= 30 MPa
f'_y	= 400 MPa
d'	= $s + \phi + \frac{1}{2}.D$
	= $40 + 10 + \frac{1}{2}.36 = 71 \text{ mm}$
d	= $h - d'$ mm
	= $1000 - 71 = 929 \text{ mm}$
M_{1b}	= 1091091200 Nmm (SAP)
M_{2b}	= 2013405400 Nmm (SAP)
P_u	= 1183597 N

2. Persyaratan Dimensi Berdasarkan SNI 03-2847-2002

b	≥	300 mm	
1000	≥	300 mm	OK
b/h	≥	0,4	
1000/1000	≥	0,4	
1	≥	0,4	OK
Hk/b	≤	16	
3500/1000	≤	16	
3,5	≤	16	OK

3. Kontrol terhadap kelangsingan kolom.

K = 1 (kedua ujung jepit ada gerak lateral)

r = 0,3 . h

= 0,3 . 1000 = 300 mm

Goyangan struktur ditahan terhadap goyangan kesamping oleh plat lantai yang fungsinya sebagai diafragma, sehingga syarat kelangsingan dihitung dengan persamaan :

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < \left(34 - 12 \cdot \left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \right)$$

$$\frac{1 \times 3500}{300} < \left(34 - 12 \cdot \left(\frac{1091091200}{2013405400} \right) \right)$$

$$11,67 < 25,497$$

Dengan demikian efek dari kelangsingan dari kolom dapat diabaikan.

4. Gaya aksial maksimum kolom

Ditaksir ukuran kolom 1000 mm x 1000 mm dengan jumlah penulangan rasio (ρ_g) = 2,5 %, sehingga :

$$A_{st} = \rho \times b \times d = 0,025 \times 1000 \times 1000 = 25000 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan tulangan 24D22 pada masing-masing sisi kolom

$$A_{st} = 24 \times 0,25 \times \pi \times 36^2$$

$$= 24429,02 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{24429,02}{1000 \times 929} \times 100\%$$

$$= 2,6\% > 0,01 \quad \mathbf{OK}$$

$$Ast_{x-x} \approx 2Ast_{y-y}$$

$$As = As'$$

$$= 12\emptyset 36$$

$$= 12214,512 \text{ mm}^2$$

Batas peningkatan faktor reduksi \emptyset :

$$\frac{h - d' - ds}{h} = \frac{1000 - 71 - 40}{1000}$$

$$= 0,889 > 0,65, \text{ maka faktor reduksi } (\emptyset) \text{ dipakai } 0,65$$

$$Ag = 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$0,1 \cdot f_c' \cdot Ag = 0,1 \cdot 30 \cdot 1000000$$

$$= 3000000 \text{ N}$$

Beban aksial maksimum $\emptyset Pn_{\max}$ yang dapat dipikul oleh kolom :

$$\emptyset Pn_{\max} = 0,8 \cdot \emptyset \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (Ag - Ast) + Ast \cdot fy)$$

$$= 0,8 \cdot 0,65 \cdot (0,85 \cdot 30 \cdot (1000000 - 25000) + 25000 \cdot 400)$$

$$= 18128500 \text{ N} > 3000000 \text{ N}, \emptyset Pn_{\max} \text{ tetap} \quad \mathbf{OK}$$

5. Kuat momen kolom

Peninjauan terhadap kondisi seimbang sebagai batas kelelahan tulangan tarik :

$$cb = \frac{600}{600 + fy} \cdot d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \cdot 929$$

$$= 557,4 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot 557,4$$

$$= 473,8 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{cb - d'}{cb} 0,003$$

$$= \frac{557,4 - 71}{557,4} 0,003$$

$$= 0,0026$$

$$f's = \varepsilon's \times Es$$

$$= 0,0026 \times 200000 = 520 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa}$$

Dipakai $f's = f_y = 400 \text{ MPa}$

Karena $\varepsilon_s' > \varepsilon_y = 0,02$ dapat disimpulkan bahwa tulangan baja tekan sudah meluluh, maka digunakan pasal 12.2.(4) SNI 03-2847-2002

$$f_s' = f_y$$

$$N_{D1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 473,8 \times 1000$$

$$= 12081645 \text{ N}$$

$$N_{D2} = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 12214,512 \times (400 - 0,85 \times 30)$$

$$= 4574334,744 \text{ N}$$

$$N_T = A_s \cdot f_y$$

$$= 12214,514 \times 400$$

$$= 4885805,6 \text{ N}$$

$$Pn_b = N_{D1} + N_{D2} - N_T$$

$$= 12081654 + 4574334,744 - 4885805,6$$

$$= 11770174,94 \text{ N}$$

$$\phi Pn_b = 0,65 \times 11770174,94$$

$$= 711770174,94 \text{ N} > 1183597 \text{ N}$$

OK

Check Kemampuan Kolom Menahan Beban :

Syarat :

$$M_{uk} = 1,05 \left[M_{dk} + M_{lk} \pm \frac{4,0}{K} M_{ek} \right]$$

$$M_{d,k} = 344074600 \text{ Nmm}$$

$$M_{l,k} = 238557400 \text{ Nmm}$$

$$M_{e,k} = 2051597000 \text{ Nmm}$$

$$M_{uk} = 1,05 \left[344074600 + 238557400 + \frac{4,0}{1} \times 2051597000 \right]$$

$$= 9228471000 \text{ Nmm}$$

$$M_{u,terpakai} = 9228471000 \text{ Nmm}$$

$$\phi P_n \geq \frac{A_g \times f'_c}{10}$$

$$711770174,94 \geq \frac{1000 \times 1000 \times 30}{10}$$

$$711770174,94 \geq 3000000 \text{ N} \quad \text{OK}$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a x \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s' \times f_y \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1000 \times 473,8 \times \left(\frac{1000}{2} - \frac{473,8}{2} \right)$$

$$+ 24429,02 \times 400 \times \left(\frac{1000}{2} - 71 \right) + 24429,02 \times 400$$

$$\times \left(929 - \frac{1000}{2} \right) = 11562782407 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times M_n = 9250225926 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n \geq M_{u,terpakai} = 9228471000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

Hasil perhitungan tulangan lentur kolom dengan menggunakan cara yang sama pada kolom dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5.19 Hasil Perancangan Tulangan Lentur Kolom

Tipe kolom	Dimensi		M1b (Nmm)	M2b (Nmm)	Pu (N)	Ø tul.(mm)	Jumlah Tul.	ØPn (N)
	b (mm)	h (mm)						
K1	1000	1000	1091091200	2013405400	1183597	36	24	7650614
K2	800	900	1430941000	1707429300	707786	36	20	5437482
K3	700	800	787402100	984781000	474474	36	16	4178723
K4	1000	1000	3853399300	6071351700	3171087	36	18	7701228
K5	600	600	357462300	244317500	170727	22	6	2714879

6. Penulangan geser kolom

Perancangan tulangan geser kolom K-1

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

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

$$d = 929 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$h_n = 3500 \text{ mm}$$

$$N_u = 1183597 \text{ N (SAP)}$$

$$V_{d,k} = 292213 \text{ N (SAP)}$$

$$V_{l,k} = 198762 \text{ N (SAP)}$$

$$V_{e,k} = 968967 \text{ N (SAP)}$$

Vult Tidak boleh lebih besar dari:

$$V_{u,maks} = 1,05 \left[V_{d,k} + V_{l,k} \pm \frac{4}{K} V_{e,k} \right]$$

$$V_{u,maks} = 1,05 \left[292213 + 198762 \pm \frac{4}{1} \times 968967 \right]$$

$$= 4585185 \text{ N}$$

$$V_{u,terpakai} = 4585185 \text{ N}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton ;

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \left(1 + \frac{1183597}{14.(1000 * 1000)} \right) \cdot \frac{\sqrt{30}}{6} \cdot 1000.929$$

$$= 919754,08 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_n = \frac{4585185}{0,6} = 7641975,3 \text{ N}$$

$V_c < V_n$ **Diperlukan sengkang**

$$V_s = V_n - V_c$$

$$= 7641975,3 - 919754,08$$

$$= 6722221,2 \text{ N}$$

Syarat Sengkang Berdasarkan SNI 03-2847-2002

Asumsi dipasang diameter sengkang 25 ϕ 10 mm

$$A_v = 25 * \frac{1}{4} * 3,14 * 10^2 = 3318,31 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{4} = \frac{929}{4} = 232,25 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 \times D \text{ mm} = 8 \times 38 = 288 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 150 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{3318,31 \cdot 240 \cdot 929}{6722221,2}$$

$$= 105,94 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Cek Bentang Tulangan Geser

$$V_{s \text{ pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$= \frac{3318,31 \cdot 240 \cdot 929}{100}$$

$$= 184962445,6 \text{ N} > 120823430 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Tabel 5.20 Hasil Perancangan Tulangan Geser Kolom

Tipe kolom	Dimensi		V _e (N)	V _c (N)	V _s (N)	Tul. terpakai		∅ (mm)	jarak (mm)	
	b (mm)	h (mm)				Tump	Lap.		Tump	Lap.
K1	1000	1000	968967	919754.081	6722221	21	21	13	90	90
K2	800	900	642715	647926.414	4561601	19	19	13	100	100
K3	700	800	475420	494030.387	2958161	17	17	13	110	110
K4	1000	1000	648813	1040147.29	7277032	21	21	13	90	90
K5	600	600	85085	305222.944	461231.6	17	17	10	110	110