

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Desain balok bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi balok. Tinggi minimum balok (h_{min}) tanpa memperhitungkan lendutan ditentukan pada Tabel 3.3 dimana tinggi minimum balok ditentukan sebagai berikut:

$h = l/16_{min}$, untuk tinggi minimum balok tertumpu sederhana

$h = l/21_{min}$, untuk tinggi minimum balok anak

$h = l/8_{min}$, untuk tinggi minimum balok kantilever

Dengan catatan, untuk nilai f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$, sehingga untuk mutu baja 400 Mpa nilai h_{min} adalah:

$$h_{min} = \frac{l}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

Sedangkan untuk menentukan lebar balok direncanakan berkisar antara 1/2 sampai 2/3 dari tinggi balok.

4.1.1.1 Dimensi Balok Induk Memanjang

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{850 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 51,6 \text{ cm},$$

Maka tinggi balok (h) yang digunakan yaitu 75 cm

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 75 \text{ cm} = 37,5 \text{ cm}$$

Maka lebar balok (b) yang digunakan yaitu 40 cm. Sehingga dimensi balok induk memanjang yaitu 40 cm x 75 cm.

4.1.1.2 Dimensi Balok Induk Melintang 1

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{441,5 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 26,8 \text{ cm},$$

Maka tinggi balok (h) yang digunakan yaitu 60 cm

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 60 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$

Maka lebar balok (b) yang digunakan yaitu 30 cm. Sehingga dimensi balok induk memanjang yaitu 30 cm x 60 cm.

4.1.1.3 Dimensi Balok Induk Melintang 2

3. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{441,5 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 26,8 \text{ cm},$$

Maka tinggi balok (h) yang digunakan yaitu 75 cm

4. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 75 \text{ cm} = 37,5 \text{ cm}$$

Maka lebar balok (b) yang digunakan yaitu 40 cm. Sehingga dimensi balok induk memanjang yaitu 40 cm x 75 cm.

4.1.1.4 Dimensi Balok Anak 1

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{415 \text{ cm}}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 19,2 \text{ cm},$$

Maka tinggi balok (h) yang digunakan yaitu 50 cm

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

Maka lebar balok (b) yang digunakan yaitu 30 cm. Sehingga dimensi balok induk memanjang yaitu 50 cm x 30 cm.

4.1.1.5 Dimensi Balok Anak 2

3. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{450 \text{ cm}}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 20,8 \text{ cm},$$

Maka tinggi balok (h) yang digunakan yaitu 40 cm

4. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 40 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Maka lebar balok (b) yang digunakan yaitu 25 cm. Sehingga dimensi balok induk memanjang yaitu 40 cm x 25 cm.

4.1.1.6 Dimensi Balok Kantilever

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{150 \text{ cm}}{8} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 18,21 \text{ cm},$$

Maka tinggi balok (h) yang digunakan yaitu 35 cm

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 35 \text{ cm} = 23,33 \text{ cm}$$

Maka lebar balok (b) yang digunakan yaitu 30 cm. Sehingga dimensi balok induk memanjang yaitu 25 cm x 35 cm.

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Untuk membuat sifat struktur menjadi “Strong Coloumn, Weak Beam”, maka untuk perencanaan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$\frac{L_{KOLOM}}{I_{KOLOM}} \geq \frac{L_{BALOK}}{I_{BALOK}}$$

Apabila diasumsikan $b_{kolom} = h_{kolom}$, maka:

$$\begin{aligned} \frac{L_{KOLOM}}{\frac{1}{12} \cdot b_{KOLOM} \cdot (h_{KOLOM})^3} &\geq \frac{L_{BALOK}}{\frac{1}{12} \cdot b_{BALOK} \cdot (h_{BALOK})^3} \\ \frac{400 \text{ cm}}{\frac{1}{12} \cdot b_{KOLOM} \cdot (b_{KOLOM})^3} &\geq \frac{850 \text{ cm}}{\frac{1}{12} \cdot 40 \text{ cm} \cdot (75 \text{ cm})^3} \\ (b_{KOLOM})^4 &= \frac{40 \text{ cm} \cdot (75 \text{ cm})^3 \cdot 400 \text{ cm}}{850 \text{ cm}} = 53,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

$b_{KOLOM} = 53,1 \text{ cm}$, sehingga digunakan satu tipe kolom dengan dimensi 75 cm x 75 cm.

4.1.3 Perencanaan Dimensi Dinding Geser

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 11.3.1.1, ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding secara lateral, diambil yang terkecil dan tidak kurang dari 100 mm. Apabila:

$$\text{Panjang bentang} = 720 \text{ cm}$$

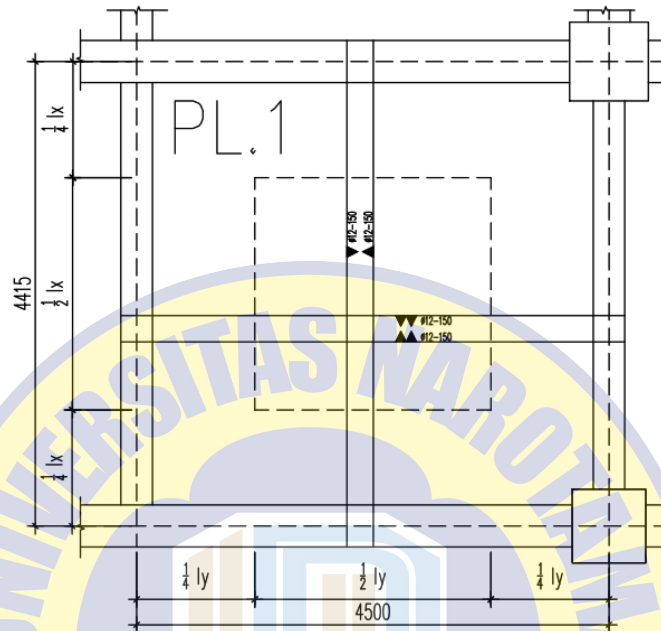
$$\text{Tinggi antar lantai} = 420 \text{ cm}$$

$$\frac{H}{25} = \frac{850}{25} = 34 \text{ cm}; \text{ dan } \frac{H}{25} = \frac{400}{25} = 16 \text{ cm}$$

Dipakai yang terkecil = 16 cm, maka tebal dinding geser tidak boleh kurang dari 16 cm dan juga tidak boleh kurang dari 100 mm, sehingga tebal dinding geser yang digunakan adalah 30 cm.

4.1.4 Perencanaan Dimensi Plat

Plat Tipe 1 dengan dimensi 441,5 cm x 450 cm:



Gambar 4.1 Plat Tipe 1

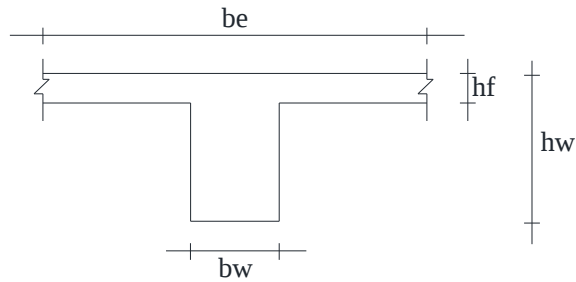
$$L_n = 450 - \left(\frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 410 \text{ cm}$$

$$S_n = 441,5 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 411,5 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{410 \text{ cm}}{411,5 \text{ cm}} = 1,0 < 2, (\text{desain plat 2 arah})$$

1. Menghitung Rasio Kekakuan (α) Balok Induk Memanjang dan Balok Induk

Melintang dimensi 40/75:



Gambar 4.2 Lebar Efektif Plat

Lebar balok (b_w) = 40 cm

Tinggi balok (h) = 75 cm

Apabila asumsi tebal plat (h_f) awal adalah 12 cm, maka:

$$b_e = b_w + 8 \cdot h_f = 40 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 136 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2 \cdot h_w = 40 \text{ cm} + 2 \cdot 63 \text{ cm} = 166 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka $b_e = 136 \text{ cm}$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

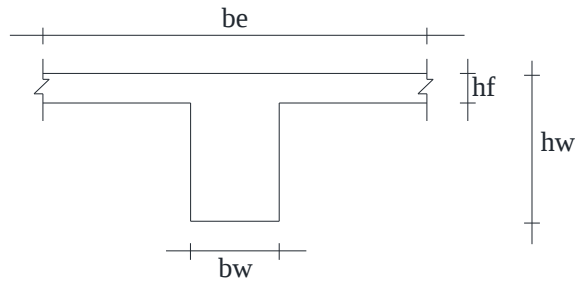
$$K = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{75}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{75}\right) + 4\left(\frac{12}{75}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{75}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{75}\right)}$$

$$K = 1,597$$

$$I_{\text{BALOK}} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,579 \times 40 \text{ cm} \times (75 \text{ cm})^3 = 2.245.993,08 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{PLAT}} = \frac{1}{12} \times L_y \times h_f^3 = \frac{1}{12} \times 450 \text{ cm} \times (12 \text{ cm})^3 = 64.800 \text{ cm}^4$$

$$\text{Rasio Kekakuan Balok } (\alpha) = \frac{I_{\text{BALOK}}}{I_{\text{PLAT}}} = \frac{2.245.993,08 \text{ cm}^4}{64.800 \text{ cm}^4} = 34,66$$



Gambar 4.3 Lebar Efektif Plat

Lebar balok (b_w) = 30 cm

Tinggi balok (h) = 60 cm

Apabila asumsi tebal plat (h_f) awal adalah 12 cm, maka:

$$b_e = b_w + 8 \cdot h_f = 40 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 126 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2 \cdot h_w = 40 \text{ cm} + 2 \cdot 48 \text{ cm} = 126 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka $b_e = 126 \text{ cm}$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

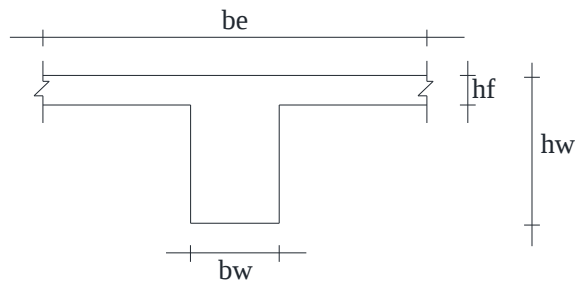
$$K = \frac{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,77$$

$$I_{\text{BALOK}} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,77 \times 30 \text{ cm} \times (60 \text{ cm})^3 = 958.428,88 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{PLAT}} = \frac{1}{12} \times L \times h_f^3 = \frac{1}{12} \times 441,5 \text{ cm} \times (12 \text{ cm})^3 = 63.576 \text{ cm}^4$$

$$\text{Rasio Kekakuan Balok } (\alpha) = \frac{I_{\text{BALOK}}}{I_{\text{PLAT}}} = \frac{958.428,88 \text{ cm}^4}{63.576 \text{ cm}^4} = 15,08$$



Gambar 4.4 Lebar Efektif Plat

Lebar balok (b_w) = 30 cm

Tinggi balok (h) = 50 cm

Apabila asumsi tebal plat (h_f) awal adalah 12 cm, maka:

$$b_e = b_w + 8 \cdot h_f = 40 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 126 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2 \cdot h_w = 40 \text{ cm} + 2 \cdot 38 \text{ cm} = 106 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka $b_e = 126 \text{ cm}$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{50}\right) + 4\left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$K = 1,69$$

$$I_{\text{BALOK}} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,69 \times 30 \text{ cm} \times (50 \text{ cm})^3 = 528.190,27 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{PLAT}} = \frac{1}{12} \times L \times h_f^3 = \frac{1}{12} \times 441,5 \text{ cm} \times (12 \text{ cm})^3 = 63.576 \text{ cm}^4$$

$$\text{Rasio Kekakuan Balok } (\alpha) = \frac{I_{\text{BALOK}}}{I_{\text{PLAT}}} = \frac{528.190,27 \text{ cm}^4}{63.576 \text{ cm}^4} = 8,31$$

2. Menghitung Rata-rata Rasio Kekakuan:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \frac{15,08 + 34,66 + 8,31 + 34,66}{4} = 23,18$$

3. Penentuan tebal minimum plat ($h_{\min}$):

Karena nilai $\alpha_m > 2,0$; maka dipakai persamaan

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{410 \text{ cm} \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9 \cdot 1,00} = 9,9 \text{ cm}$$

Sehingga dipakai tebal plat (h_f) = 12 cm

4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

1. Data-data perencanaan:

Lebar injakan (i)	: 28 cm
Tinggi tanjakan (t)	: 19 cm
Tebal plat tangga (tt)	: 15 cm
Tinggi tangga	: 400 cm
Tinggi bordes	: 200 cm
Panjang datar tangga	: 430 cm

2. Perhitungan Perencanaan:

- a. Panjang miring tangga:

$$L = \sqrt{\text{TinggiBordes}^2 + \text{PanjangTangga}^2}$$

$$L = \sqrt{(200 \text{ cm})^2 + (430 \text{ cm})^2} = 479 \text{ cm}$$

- b. Jumlah tanjakan (nt):

$$nt = \frac{\text{Tinggi Bordes}}{\text{Tinggi Tanjakan}} = \frac{200 \text{ cm}}{19 \text{ cm}} = 11 \text{ buah}$$

- c. Jumlah injakan (ni):

$$nt = nt - 1 = 11 - 1 = 10 \text{ buah}$$

- d. Sudut kemiringan (α):

$$\alpha = \arctan\left(\frac{t}{i}\right) = \arctan\left(\frac{19 \text{ cm}}{28 \text{ cm}}\right) = 34,16^\circ$$

e. Syarat sudut kemiringan:

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 34,16^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{Memenuhi})$$

f. Tebal efektif plat tangga:

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \cdot i \cdot t = \frac{1}{2} \cdot 28 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 266 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas 2} = \sqrt{i^2 + t^2} = \sqrt{(28)^2 + (19)^2} = 33 \text{ cm}$$

$$tt' = \frac{\text{Luas } \Delta 1}{\text{Luas } \Delta 2} = \frac{266 \text{ cm}^2}{33 \text{ cm}} = 8,06 \text{ cm}$$

$$h' = \frac{tt + tt'}{\cos \alpha} = \frac{15 \text{ cm} + 8,06 \text{ cm}}{\cos 34,16^\circ} = 28 \text{ cm}$$

4.2 Analisa Pembebanan

4.2.1 Beban Gravitasi

Beban elemen struktur gedung meliputi beban gravitasi yang mengacu pada peraturan SNI 1727-2018, ASCE 7-2002, dan brosur material yang ada pada saat ini. Adapun beban gravitasi yang akan diterapkan pada perhitungan dengan program bantu SAP 2000 v.14.

4.2.1.1 Beban Mati (Dead Load)

Beban mati terdiri atas berat sendiri elemen struktur dan perlengkapan permanen pada gedung seperti dinding, plafond, MEP, dan arsitektur lainnya. Beban mati terdiri dari dua macam, yaitu *Self Weight*, DL dan *Superimposed Dead Load*, SDL.

4.2.1.2 Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup terdiri dari beban yang diakibatkan oleh fungsi atau pemakaian gedung dan tidak termasuk beban mati, beban konstruksi atau akibat fenomena alam. Beragam jenis fungsi atau pemakaian, maka beban hidup dapat dibedakan sesuai dengan SNI 1727-2018 Tabel 4.3.1.

4.2.1.3 Beban Air Hujan (R)

Berdasarkan SNI 1727-2018 Pasal 8.3 (8.3-1), beban hujan rencana adalah sebagai berikut:

$$R = 0,0098 \cdot (d_s + d_H)$$

Dimana,

d_s = tinggi statis

d_H = tinggi hidrolik

Apabila direncanakan $d_s = 10$ mm dan $d_H = 20$ mm, maka:

$$R = 0,0098 \cdot (10 + 20) = 0,294 \text{ kN/m}^2 = 29,4 \text{ kg/m}^2$$

4.2.2 Beban Angin (W) PRO PATRIA

Beban gedung dan struktur lain termasuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) harus didesain dan dilaksanakan untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI 1727-2018. Beban angin dinding maksimum dan minimum yang terjadi akan didistribusikan ke kolom. Berikut perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur bangunan:

Kecepatan angin dasar (V)	: 39 knot = 20,06 m/s, website
Faktor arah angin (Kd)	: 0,85 (SNI 1727-2018 Tabel 26.6-1)
Kategori eksposur	: B (SNI 1727-2018 Tabel 26.7.3)
Faktor topografi (Kzt)	: 1,0 (SNI 1727-2018 Tabel 26.8.2)
Faktor elevasi tanah (Ke)	: 1,0 (SNI 1727-2018 Tabel 26.9)

Faktor efek angin (G)	: 0,85 (SNI 1727-2018 Tabel 26.11)
Klasifikasi ketertutupan	: Bangunan tertutup
Koefisien eksposur tekanan velositas (zg)	: Kz dan Kh
α	: 7 (SNI 1727-2018 Tabel 26.11-1)

Tinggi bangunan, $z = 44$ m

$$k_z = k_h = 2,01 \cdot \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} = 2,01 \cdot \left(\frac{44 \text{ m}}{365,76 \text{ m}} \right)^{2/7} = 1,098$$

- Tekanan velositas, (q_z dan q_h)

$$q_z = 0,613 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot k_e \cdot k_d \cdot v^2$$

$$q_z = 0,613 \cdot 1,098 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot (20,06 \text{ m/s})^2 = 230,12 \text{ N/m}^2 = 23,01 \text{ Kg/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot k_h \cdot k_{zt} \cdot k_e \cdot k_d \cdot v^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot 1,099 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot (20,06 \text{ m/s})^2 = 230,33 \text{ N/m}^2 = 23,03 \text{ Kg/m}^2$$

- Koefisien tekanan eksternal (untuk dinding pada gedung)

C_p : 0,8 (untuk dinding pada angin datang SNI 1727-2018 Gambar 27.4-1)

C_p : -0,7 (untuk dinding pada angin tepi SNI 1727-2018 Gambar 27.4-1)

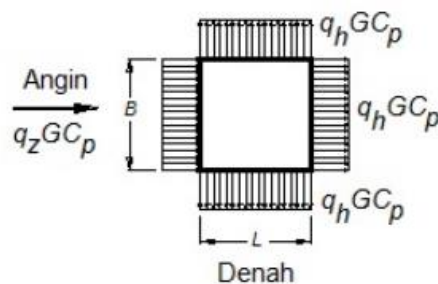
C_p : -0,5 (untuk dinding pada angin pergi SNI 1727-2018 Gambar 27.4-1)

L : 45 m (panjang bangunan)

B : 12,98 m (lebar bangunan)

L/B : 45 m / 12,98 m = 3,43

- Pengaruh angin pada dinding



Gambar 4.5 Pengaruh Angin pada Dinding

Pada arah angin datang $= q_z \cdot G \cdot C_p = 230,12 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 156,5 \text{ N/m}^2$

Pada arah angin tepi $= q_h \cdot G \cdot C_p = 230,33 \cdot 0,85 \cdot -0,7 = -137 \text{ N/m}^2$

Pada arah angin pergi $= q_h \cdot G \cdot C_p = 230,33 \cdot 0,85 \cdot -0,5 = -97,8 \text{ N/m}^2$

Tabel 4.1 Rekapitulasi Beban Angin Aktual

Lantai Bangunan	Tinggi Bangunan (Z)	zg	α	Kz / Kh	qz / qh (N/m ²)	qz.G.Cp Datang	qh.G.Cp Tepi	qh.G.Cp Pergi
	(m)					(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	4	365,76	7	0,553	116,0	7,89	-6,90	-4,93
2	8	365,76	7	0,674	141,4	9,62	-8,42	-6,01
3	12	365,76	7	0,757	158,8	10,80	-9,45	-6,75
4	16	365,76	7	0,822	172,4	11,72	-10,26	-7,33
5	20	365,76	7	0,876	183,8	12,50	-10,93	-7,81
6	24	365,76	7	0,923	193,6	13,16	-11,52	-8,23
7	28	365,76	7	0,965	202,3	13,76	-12,04	-8,60
8	32	365,76	7	1,002	210,2	14,29	-12,51	-8,93
9	36	365,76	7	1,036	217,4	14,78	-12,93	-9,24
10	40	365,76	7	1,068	224,0	15,23	-13,33	-9,52
Atap	44	365,76	7	1,098	230,2	15,65	-13,70	-9,78

Berdasarkan SNI 1727-2018 Pasal 27.1.5, beban angin desain minimum sebesar 0,77 kN/m² atau 77 Kg/m² untuk dinding bangunan, sehingga yang digunakan untuk pembebanan pada desain rencana adalah:

Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban Angin Minimum

Lantai Bangunan	Tinggi Bangunan (Z)	zg	α	Kz / Kh	qz / qh (N/m ²)	qz.G.Cp Datang	qh.G.Cp Tepi	qh.G.Cp Pergi
	(m)					(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	4	365,76	7	0,553	116,0	77,00	-77,00	-77,00
2	8	365,76	7	0,674	141,4	77,00	-77,00	-77,00
3	12	365,76	7	0,757	158,8	77,00	-77,00	-77,00
4	16	365,76	7	0,822	172,4	77,00	-77,00	-77,00
5	20	365,76	7	0,876	183,8	77,00	-77,00	-77,00
6	24	365,76	7	0,923	193,6	77,00	-77,00	-77,00
7	28	365,76	7	0,965	202,3	77,00	-77,00	-77,00
8	32	365,76	7	1,002	210,2	77,00	-77,00	-77,00
9	36	365,76	7	1,036	217,4	77,00	-77,00	-77,00
10	40	365,76	7	1,068	224,0	77,00	-77,00	-77,00
Atap	44	365,76	7	1,098	230,2	77,00	-77,00	-77,00

4.2.3 Beban Gempa (E)

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi respons spektrum ditetapkan sesuai peta wilayah gempa daerah di Jakarta.

4.2.3.1 Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 3, bangunan yang didesain untuk fasilitas Rumah Susun masuk dalam **Kategori Risiko II**.

4.2.3.2 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 4 dan Kategori Risiko II, maka dapat ditentukan faktor keutamaan gempa (**I_e**) = 1.

4.2.3.3 Menentukan Kelas Situs

Hasil Hasil tes tanah dengan kedalaman 35 m pada titik lokasi di Jl. Pelepah Raya, Kelapa Gading, Jakarta Utara (Lat: -7.344994, Long: 112.794819) :

Tabel 4.3 Perhitungan SPT Rata-rata DB-1

Lapisan Tanah	Jenis Lapisan Tanah	Kedalaman	Tebal Lapisan (d)	Nilai N-SPT rata-rata (N)	d/N
Lapisan 1	Lempung berlanau	0-2,00	2		
Lapisan 2	Pasir berlanau	2,00-7,00	5	1,00	5,00
Lapisan 3	Lempung berlanau	7,00-12,00	5	1,00	5,00
Lapisan 4	Lempung berlanau berpasir	12,00-18,00	6	4,00	1,50
Lapisan 5	Lempung berlanau	18,00-27,00	9	6,33	1,42
Lapisan 6	Lanau berpasir berlempung	27,00-33,00	6	18,33	0,33
Lapisan 7	Pasir berlanau berlempung	33,00-35,00	2	24,00	0,08
Jumlah			35		13,33

Keterangan:

d = tebal setiap lapisan

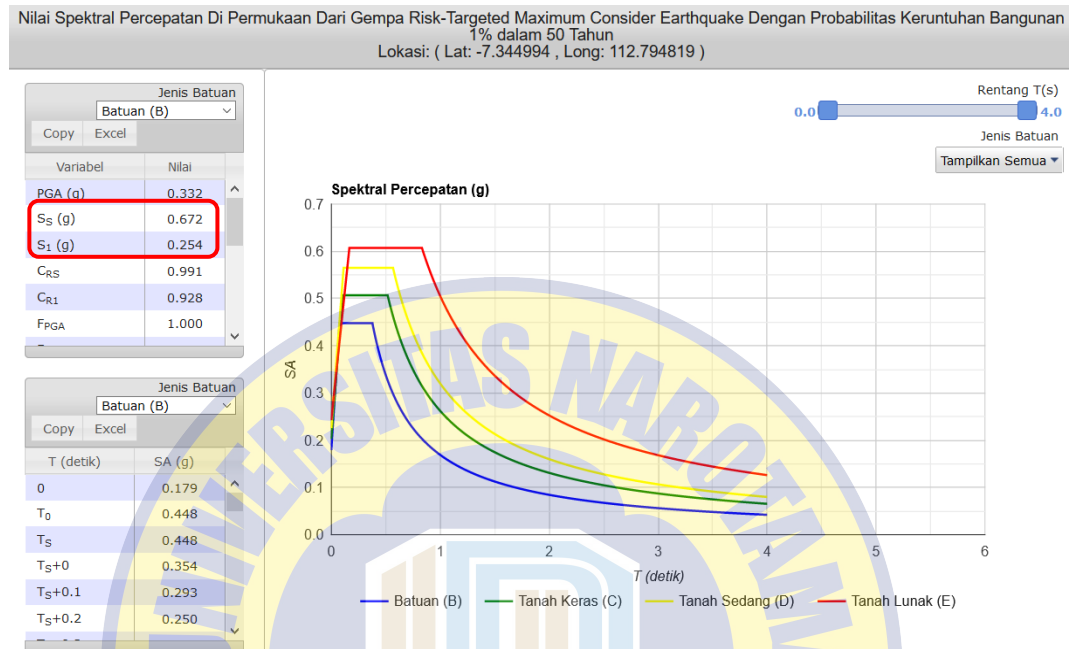
N = tahanan penetrasi standar 60% energi (N₆₀)

Maka nilai N-SPT rata-rata tanah:

$$\bar{N} = \frac{d}{d/N} = \frac{35}{13,33} = 2,63$$

Menurut SNI 1726-2019 Tabel 5, untuk $N < 15$, maka termasuk **kelas situs SE**.

4.2.3.4 Menentukan Parameter Percepatan Gempa



Gambar 4.6 Nilai S_s dan S_1 diambil dari <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/>

Maka diambil nilai $S_1 = 0,254 \text{ g}$ dan $S_s = 0,672 \text{ g}$

4.2.3.5 Menentukan Koefisien Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 6 dan Tabel 7, sebagai berikut:

Tabel 4.4 Koefisien Situs, Nilai F_a dicari dengan cara interpolasi bila tidak tercantum pada tabel di bawah

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Maka didapatkan nilai $F_a = 1,42$

Tabel 4.5 Koefisien Situs, Nilai F_v dicari dengan cara interpolasi bila tidak tercantum pada tabel di bawah

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Maka didapatkan nilai $F_v = 3,03$

4.2.3.6 Menentukan Parameter Percepatan Desain Spektral

Berdasarkan SNI 1726-2019 pers.7 dan pers.8, didapatkan bahwa:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,42 \cdot 0,672 = 0,9542 \quad S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 3,03 \cdot 0,254 = 0,7696$$

Berdasarkan SNI 1726-2019 pers.9 dan pers.10, didapatkan bahwa:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,9542 = 0,6362 \quad S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,7696 = 0,5131$$

4.2.3.7 Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 8 dan Tabel 9, untuk $0,5 \leq S_{DS}$ dan $0,2 \leq S_{D1}$, dan kategori risiko IV, maka didapatkan **Kategori Desain Seismik D**.

4.2.3.8 Menentukan Parameter Struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 12, untuk sistem rangka pemikul momen khusus adalah:

Koefisien modifikasi respons (R)	: 8
Faktor kuat-lebih sistem (Ω_0)	: 3
Faktor pembesaran defleksi (C_d)	: 5,5

Untuk sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan adalah:

Koefisien modifikasi respons (R)	: 7
Faktor kuat-lebih sistem (Ω_0)	: 2,5
Faktor pembesaran defleksi (C_d)	: 5,5

4.2.3.9 Analisa Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.4 Pers. 12 dan Pers 13, didapatkan bahwa:

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,5131}{0,6362} = 0,16$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,5131}{0,6362} = 0,81$$

Ketentuan untuk perhitungan respons spektrum:

- Untuk $T < T_0$, nilai $S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0}\right)$ (SNI 1726-2019 Pasal 6.4 pers.11)
Untuk $T = 0$, maka:
 $S_a = 0,6362 \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{0}{0,16}\right) = 0,2545$

- Untuk $T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$, nilai $S_a = S_{DS}$ (SNI 1726-2019 Pasal 6.4)

Untuk $T \geq T_0 = 0,2545 \geq 0,16$; maka $S_a = 0,6362$

Untuk $T \leq T_s = 0,2545 \leq 0,81$; maka $S_a = 0,6362$

- Untuk $T > T_s$, nilai $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$ (SNI 1726-2019 Pasal 6.4)

Untuk $T = T_s + 0,1 = 0,81 + 0,1 = 0,91$

Untuk $S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,5131}{0,91} = 0,566$

4.3 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur beton harus mampu memikul semua beban kombinasi pembebanan di bawah ini berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2.1:

	Keterangan
1. 1,4 D	D : Beban Mati
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr	Lr : Beban Hidup Atap
3. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R	L : Beban Hidup
4. 1,2 D + 1,6 Lr + 1,0 L	R : Beban Hujan
5. 1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W	W : Beban Angin
6. 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 Lr	E : Beban Gempa
7. 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 R	
8. 0,9 D + 1,0 W	
9. 1,2 D + 1,0 EX + 1,0 L	
10. 1,2 D + 1,0 EY + 1,0 L	
11. 0,9 D + 1,0 EX	
12. 0,9 D + 1,0 EY	

4.4 Analisa Permodelan

4.4.1 Permodelan Struktur SRPM



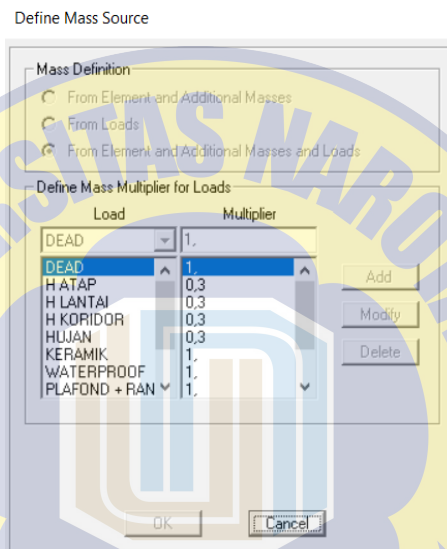
Gambar 4.7 Model Struktur SRPMK SAP 2000 v.14

4.4.1.1 Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (*mass source* adalah massa struktur pada program bantu SAP 2000 v.14 yang digunakan pada perhitungan untuk analisa modal menggunakan pilihan “*mass definition: from element and additional masses and loads*” dimana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban

tambahan diperbesar sesuai dengan jenis bebannya. Massa-massa beban yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

- Beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*): *Multiplier* 1,0.
- Beban hidup (*Live Load*): *Multiplier* 0,3.



Gambar 4.8 Input Mass Source pada SAP 2000 v.14

4.4.1.2 Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa

- Gempa arah x dengan komposisi 100% E_x + 30% E_y
- Gempa arah y dengan komposisi 30% E_x + 100% E_y

4.4.1.3 Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis

Analisis modal menggunakan SAP 2000 v.14 diambil sebanyak 3 kali dari jumlah lantai yang dimodelkan, Mode Shape untuk menjamin partisipasi massa struktur lebih dari 90%. Dalam hal ini partisipasi massa dari struktur diambil 99% terhadap gaya lateral ke arah X dan ke arah Y.

Number of Modes:

Maximum Number of Modes: 33

Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dynamic Participation Ratios (%)
Accel	UX	0	99,
Accel	UX	0	99,
Accel	UY	0	99,

Add Modify Delete

Gambar 4.9 Input Analisa Modal pada SAP 2000 v.14

4.4.1.4 Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respons Spektrum SAP 2000 untuk SRPM

Faktor skala gaya gempa diambil dari persamaan sebagai berikut:

$$SF = \frac{I_e}{R} \cdot g = \frac{1}{8} \cdot 9,81 \frac{m^2}{s} = 1,225 = \text{untuk arah gempa yang ditinjau}$$

$$SF = 30\% \cdot 1,225 = 0,3675 = \text{untuk arah tegak lurus gempa yang ditinjau}$$

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	GEMPA RS	1,225
Accel	U1	GEMPA RS	1,225
Accel	U2	GEMPA RS	0,3675

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Gambar 4.10 Input Faktor Skala Gaya pada Arah X

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	GEMPA RS	1,225
Accel	U2	GEMPA RS	1,225
Accel	U1	GEMPA RS	0,3675

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Gambar 4.11 Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y

4.4.1.5 Kontrol Periode Fundamental SRPM

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 18 sebagai batas bawah sebesar:

$$T_a = C_t \cdot h_n$$

Dimana:

- h_n : Ketinggian Struktur
- C_t : Parameter Pendekatan Tipe Struktur
- x : Parameter Pendekatan Tipe Struktur

Tabel 4.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan, C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Untuk struktur beton SRPMK didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, sehingga:
 $T_a = C_t \cdot h_n = 0,0466 \cdot (44 \text{ m})^{0,9} = 1,404 \text{ detik}$

Dengan batas atas periode fundamental struktur berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 17 sebesar:

Tabel 4.7 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Karena nilai $SD1 = 0,5131 > 0,4$; maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$; sehingga:
 $C_u \cdot T_a = 1,4 \cdot 1,404 \text{ detik} = \mathbf{1,9662 \text{ detik}}$

Dari permodelan SAP 2000 v.14 didapatkan:

Tabel 4.8 Modal Load Participation Ratio

OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	99,927
MODAL	Acceleration	UY	100	99,9365
MODAL	Acceleration	UZ	93,959	76,4166

Tabel 4.9 Periode Struktur pada Modal di Program SAP 2000 v.14 untuk 10 Mode Pertama

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	2,212318	0,45201	2,8401	8,0661
MODAL	Mode	2	1,949316	0,513	3,2233	10,39
MODAL	Mode	3	1,742744	0,57381	3,6053	12,998
MODAL	Mode	4	0,70899	1,4105	8,8622	78,538
MODAL	Mode	5	0,631365	1,5839	9,9517	99,037
MODAL	Mode	6	0,569471	1,756	11,033	121,74
MODAL	Mode	7	0,3938	2,5394	15,955	254,57
MODAL	Mode	8	0,357373	2,7982	17,582	309,11
MODAL	Mode	9	0,327817	3,0505	19,167	367,36
MODAL	Mode	10	0,266479	3,7526	23,578	555,95

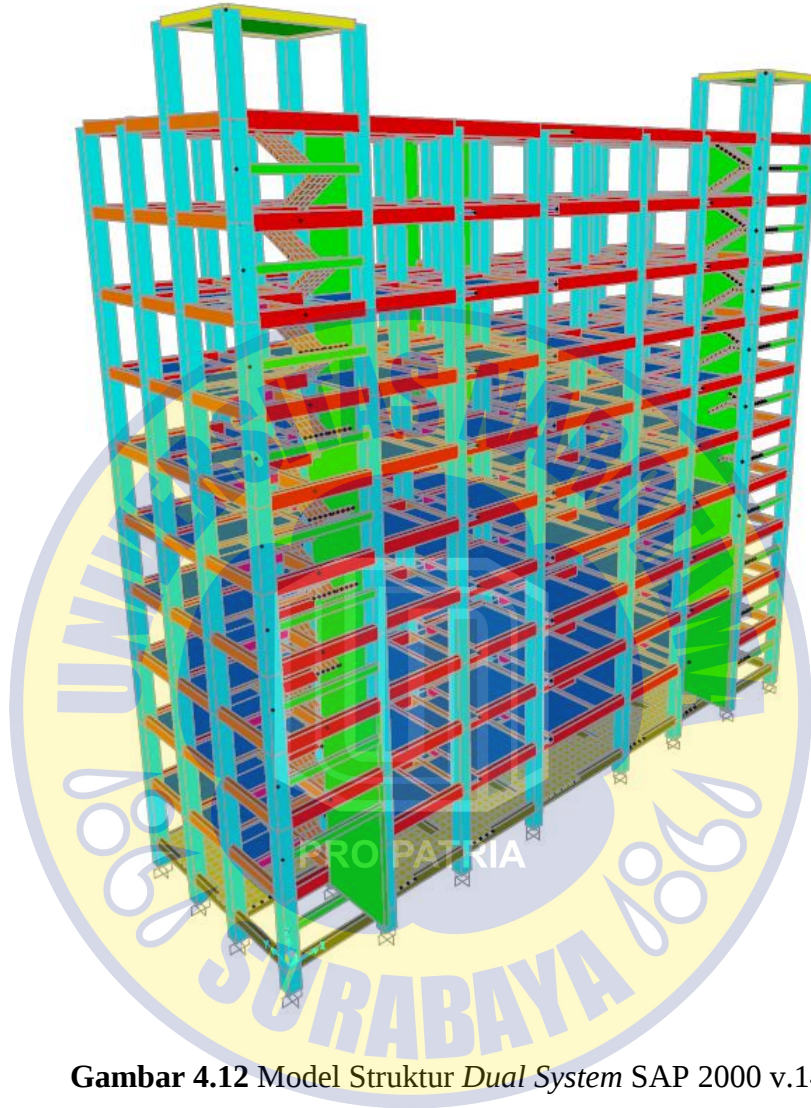
Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut:

$$T_a \leq T \leq C_u \cdot T_a$$

$$1,404 \text{ detik} \leq 2,212 \text{ detik} \leq 1,9662 \text{ detik}$$

Tinjauan struktur *Unracked* dan periode struktur yang dimodelkan belum masuk kisaran periode struktur yang diizinkan. Sehingga untuk mengecilkan struktur yang ada, maka harus dilakukan perkuatan dengan menambah *shearwall* pada struktur.

4.4.2 Permodelan Struktur Sistem Ganda (*Dual System*)



Gambar 4.12 Model Struktur *Dual System* SAP 2000 v.14

4.4.2.1 Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respon Spektrum SAP 2000 v.14 untuk Sistem Ganda

Faktor skala gaya gempa diambil dari persamaan sebagai berikut:

- Untuk SRPM (Arah-X):

$$\text{Faktor pembebanan} = \frac{I_e}{R} \cdot g = \frac{1}{8} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,225$$

- Untuk *Shearwall* (Arah-Y):

$$\text{Faktor pembebanan} = \frac{I_e}{R} \cdot g = \frac{1}{7} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,4$$

Faktor beban tersebut untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan untuk arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan terkena gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau, sehingga faktor skala gaya pada arah tegak lurus yang ditinjau adalah:

- Untuk SRPM (Arah-X):
Faktor pembebanan = 30% . Arah Y = 30 % . 1,4 = 0,42
- Untuk *Shearwall* (Arah-Y):
Faktor pembebanan = 30% . Arah X = 30 % . 1,225 = 0,3675

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	GEMPA RS	1.2263
Accel	U1	GEMPA RS	1.2263
Accel	U2	GEMPA RS	0.42

☐ Show Advanced Load Parameters

Buttons: Add, Modify, Delete

Gambar 4.13 Input Faktor Skala Gaya pada Arah X

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	GEMPA RS	1.4
Accel	U2	GEMPA RS	1.4
Accel	U1	GEMPA RS	0.3675

☐ Show Advanced Load Parameters

Buttons: Add, Modify, Delete

Gambar 4.14 Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y

4.4.2.2 Kontrol Periode Fundamental Dual System

$$T_a = C_t \cdot h_n$$

Dimana:

- h_n : Ketinggian Struktur
- C_t : Parameter Pendekatan Tipe Struktur
- x : Parameter Pendekatan Tipe Struktur

Untuk struktur beton SRPMK didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, sehingga:

$$T_a = C_t \cdot h_n = 0,0466 \cdot (44 \text{ m})^{0,9} = \mathbf{1,404 \text{ detik}}$$

Untuk struktur *shearwall* didapatkan nilai $C_t = 0,0488$ dan $x = 0,75$, sehingga:

$$T_a = C_t \cdot h_n = 0,0488 \cdot (44 \text{ m})^{0,75} = \mathbf{0,834 \text{ detik}}$$

Karena nilai $SD1 = 0,427 > 0,4$; maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$; sehingga:

$$C_u \cdot T_a \text{ SRPMK} = 1,4 \cdot 1,404 \text{ detik} = \mathbf{1,97 \text{ detik}}$$

$$C_u \cdot T_a \text{ shearwall} = 1,4 \cdot 0,834 \text{ detik} = \mathbf{1,17 \text{ detik}}$$

Hasil output analisa SAP 2000 v.14 didapatkan:

Tabel 4.10 Modal Load Participation Ratio

OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	99,8868
MODAL	Acceleration	UY	100	99,8833
MODAL	Acceleration	UZ	82,0888	65,6548

Tabel 4.11 Periode Struktur pada Modal di Program SAP 2000 v.14 untuk 5 Mode Pertama

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,775907	0,56309	3,538	12,518
MODAL	Mode	2	1,62574	0,6151	3,8648	14,937
MODAL	Mode	3	1,52697	0,65489	4,1148	16,932
MODAL	Mode	4	0,499293	2,0028	12,584	158,36
MODAL	Mode	5	0,487671	2,0506	12,884	166

Nilai hasil output SAP 2000 v.14 yaitu:

$$T (\text{Mode 1}) = \mathbf{1,775 \text{ detik}}$$

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur SRPM sebagai berikut:

$$\begin{array}{lcl} T_a & \leq T & \leq C_u \cdot T_a \\ 1,46 \text{ detik} & \leq \mathbf{1,775 \text{ detik}} & \leq 1,97 \text{ detik} \end{array}$$

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur *Shearwall* sebagai berikut:

$$\begin{array}{lcl} T_a & \leq T & \leq C_u \cdot T_a \\ 1,46 \text{ detik} & \leq \mathbf{1,775 \text{ detik}} & \leq 1,17 \text{ detik} \end{array}$$

Karena salah satu nilai periode fundamental struktur telah memenuhi syarat, maka sistem *Dual System* dapat dipakai.

4.4.2.3 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2019

Pasal 7.8.1.1. Untuk kontrol gaya gempa dasar dinamis koefisien C_s adalah sebagai berikut:

1. Nilai C_s minimum:

$$\begin{array}{l} C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \geq 0,01 \\ C_{s \min} = 0,044 \cdot 0,6362 \cdot 1 \geq 0,01 \\ C_{s \min} = 0,0279 \geq 0,01 \end{array}$$

2. Nilai C_s :

Untuk SRPM (Arah X):

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,6362}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,07952$$

Untuk *Shearwall* (Arah Y):

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,6362}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,09088$$

3. Nilai C_s Max:

Untuk SRPM (Arah X):

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS1}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,5131}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,04517$$

Untuk *Shearwall* (Arah Y):

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS1}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,5131}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,05236$$

Dari perhitungan nilai Cs di atas dapat direkapitulasi pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.12 Rekapitulasi Nilai Cs

	Cs min	Cs	Cs Max	Cs Pakai
Arah X	0,0279	0,0795	0,0452	0,0452
Arah Y	0,0279	0,0909	0,0524	0,0524

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_a = C_s \cdot W_t$$

Dimana:

Cs : Koefisien respons seismik

Wt : Total beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup

Tabel 4.13 Berat Struktur diperoleh dari Reaction FZ untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
1D + 1L	Combination		1,317E-07	1,411E-07	12665920

Nilai hasil output Berat Struktur Total SAP 2000 v.14 yaitu: 12.665.919,99

Untuk nilai Arah X:

$$V_x = 0,0452 \times 12.665.919,99 \text{ kg} \times = 572.062,52 \text{ kg}$$

$$0,85 \cdot V_x = 0,85 \times 572.062,52 \text{ kg} \times = 486.253,14 \text{ kg}$$

Untuk nilai Arah Y:

$$V_y = 0,0524 \times 12.665.919,99 \text{ kg} \times = 663.125,53 \text{ kg}$$

$$0,85 \cdot V_y = 0,85 \times 663.125,53 \text{ kg} \times = 563.656,70 \text{ kg}$$

Hasil output analisa dinamis gaya geser gempa SAP 2000 v.14 diperoleh nilai:

Tabel 4.14 Base Reaction dari Program SAP 2000 v.14

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
EX	Combination	Min	-575164,64	-185206,38	-4455,95
EY	Combination	Max	173293,43	615592,29	10898,14

Untuk arah X = 486.253,14 kg < 575.164,64 kg (OKE)

Untuk arah Y = 563.656,70 kg < 615.592,29 kg (OKE)

Ketentuan $V_{baseshear} > 0,85.V$ sudah terpenuhi, sehingga tidak diperlukan faktor pembesaran skala gaya gempa, apabila $V_{baseshear} > 0,85.V$ belum terpenuhi, maka diperlukan faktor pembesaran skala gaya gempa.

4.4.3 Kontrol Sistem Ganda (Dual System)

Menurut SNI 1726-2019 bahwa Sistem Rangka Pemikul Momen harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja pada struktur bangunan.

Oleh karena itu, harus memeriksa persentase antara *baseshears* yang dihasilkan oleh SRPM dan *Shearwall* dari masing-masing kombinasi pembebanan gempa, dengan cara menjumlah reaksi perletakkan SRPM dan reaksi perletakkan *Shearwall* untuk kombinasi pembebanan gempa. Kemudian dihitung persentasenya dan dibandingkan serta disajikan dalam bentuk tabel berikut ini:

Tabel 4.15 Besar Gaya yang Ditumpu SRPM dan *Shearwall* pada Kombinasi Beban Gempa

No	Kombinasi Beban Terfaktor	Gaya (Kg)			
		Fx		Fy	
		SRPM	Shearwall	SRPM	Shearwall
1	1,2 D + 1 L + 1 EX	564574,31	10590,33	41404,86	143801,52
2	1,2 D + 1 L + 1 EX	561043,88	14120,76	130838,95	54367,43
3	1,2 D + 1 L + 1 EY	169516,66	3776,77	374251,56	241340,73
4	1,2 D + 1 L + 1 EY	165986,23	7307,2	572420,52	43171,77
5	0,9 D + 1 EX	563999,53	11165,11	71866,46	113339,92
6	0,9 D + 1 EX	561618,66	13545,98	161300,55	23905,83
7	0,9 D + 1 EY	168941,88	4351,55	404713,17	210879,12
8	0,9 D + 1 EY	166561,01	6732,42	541958,91	73633,38

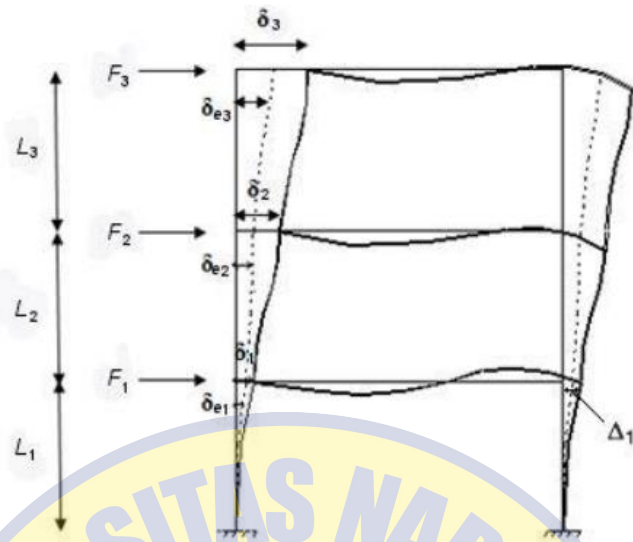
Tabel 4.16 Persentase Struktur dalam Menahan Gaya Gempa

No	Kombinasi Beban Terfaktor	Presentase Dalam Menahan Gempa (%)			
		Fx		Fy	
		SRPM	Shearwall	SRPM	Shearwall
1	1,2 D + 1 L + 1 EX	98%	2%	22%	78%
2	1,2 D + 1 L + 1 EX	98%	2%	71%	29%
3	1,2 D + 1 L + 1 EY	98%	2%	61%	39%
4	1,2 D + 1 L + 1 EY	96%	4%	93%	7%
5	0,9 D + 1 EX	98%	2%	39%	61%
6	0,9 D + 1 EX	98%	2%	87%	13%
7	0,9 D + 1 EY	97%	3%	66%	34%
8	0,9 D + 1 EY	96%	4%	88%	12%

Dari hasil di atas, disimpulkan bahwa persentase dari SRPM pada kombinasi pembebanan gempa nilainya lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur Sistem Ganda (*Dual System*).

4.4.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Untuk mengetahui besarnya simpangan antar lantai perlu dicari terlebih dahulu nilai perpindahan elastis, δ_{xe} dari analisis struktur. Kemudian nilai δ_{xe} dikalikan dengan faktor pembesaran C_d/I_e . Setelah itu dapat diketahui besarnya simpangan antar tingkat yang merupakan selisih nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada suatu tingkat dengan nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada tingkat di bawahnya. Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut berdasarkan SNI 1726-2019 Gambar 10:



Gambar 4.15 Penentuan Simpangan Antar Lantai

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \text{ (SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.6)}$$

Dimana:

C_d : Faktor pembesaran defleksi = 5,5

δ_{xe} : Defleksi pada lantai x yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e : Faktor keutamaan = 1,5

Untuk nilai simpangan antar lantai ijin Δ_i , berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 20 didapatkan yaitu:

Tabel 4.17 Simpangan Antar Lantai Ijin, Δ_i

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Maka didapatkan nilai $\Delta_i = 0,010 h_{sx}$

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah X

Tabel 4.18 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X

Lantai	Elevasi	Tinggi Antar Lantai	δ_{ei}	δ_i	$\delta_{ei} - \delta_i$	Δ_i	Δ_a	Cek Syarat
	(m)		(dari SAP) (mm)	$Cd \cdot \delta_{ei} / I_e$ (mm)		$(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)}) \cdot Cd / I_e$ (mm)	$0,01 h_{sx}$ (mm)	
Atap	48	4	36,181	199,00	162,81	6,8	40	OK
11	44	4	34,952	192,24	157,28	7,9	40	OK
10	40	4	33,513	184,32	150,81	10,6	40	OK
9	36	4	31,577	173,67	142,10	13,4	40	OK
8	32	4	29,138	160,26	131,12	16,1	40	OK
7	28	4	26,212	144,17	117,95	18,6	40	OK
6	24	4	22,83	125,57	102,74	20,8	40	OK
5	20	4	19,054	104,80	85,74	22,4	40	OK
4	16	4	14,985	82,42	67,43	23,2	40	OK
3	12	4	10,774	59,26	48,48	22,7	40	OK
2	8	4	6,651	36,58	29,93	20,4	40	OK
1	4	4	2,941	16,18	13,23	14,8	40	OK
L Dasar	0	4	0,259	1,42	1,17	1,4	40	OK

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah Y

Tabel 4.19 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y

Lantai	Elevasi	Tinggi Antar Lantai	δ_{ei}	δ_i	$\delta_{ei} - \delta_i$	Δ_i	Δ_a	Cek Syarat
	(m)		(dari SAP) (mm)	$Cd \cdot \delta_{ei} / I_e$ (mm)		$(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)}) \cdot Cd / I_e$ (mm)	$0,01 h_{sx}$ (mm)	
Atap	48	4	45,347	249,41	204,06	17,3	40	OK
11	44	4	42,203	232,12	189,91	17,8	40	OK
10	40	4	38,962	214,29	175,33	19,2	40	OK
9	36	4	35,473	195,10	159,63	21,0	40	OK
8	32	4	31,655	174,10	142,45	22,6	40	OK
7	28	4	27,543	151,49	123,94	24,0	40	OK
6	24	4	23,179	127,48	104,31	24,9	40	OK
5	20	4	18,648	102,56	83,92	25,1	40	OK
4	16	4	14,084	77,46	63,38	24,2	40	OK
3	12	4	9,681	53,25	43,56	22,0	40	OK
2	8	4	5,688	31,28	25,60	18,1	40	OK
1	4	4	2,389	13,14	10,75	12,1	40	OK
L Dasar	0	4	0,198	1,09	0,89	1,1	40	OK

4.4.5 Pengecekan Gaya yang Terjadi

Pengecekan gaya yang terjadi pada program SAP 2000 v.14 diperlukan untuk memastikan pemodelan sudah baik, benar dan akurat, yaitu dengan cara membandingkan hasil output gaya pada SAP 2000 v.14 dengan gaya yang terjadi dengan hitungan manual/teoritis.