

BAB VI

PEMBEBANAN GEMPA

6.1 Perencanaan Struktur

Data Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Niscala di Kota Surabaya sesuai dengan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut:

Lokasi Gedung	= Kota Surabaya
Mutu Beton (f_c')	= 35 MPa
Mutu Baja (f_y)	= 420 MPa
Dimensi Balok Induk	= 30 cm x 50 cm
Dimensi Balok Anak	= 20 cm x 40 cm
Dimensi Kolom	= 60 cm x 60 cm
Tebal Dinding Struktur	= 30 cm
Tinggi Bangunan	= 40 Meter
Tinggi Antar Lantai	= 4 Meter
Kategori Desain Seismik	= D
Klasifikasi Situs Tanah	= SE (Tanah Lunak)
Nilai S_{DS}	= 0,64 (SNI 1726:2019)
Nilai S_{D1}	= 0,57 (SNI 1726:2019)
Nilai R	= 7 (SNI 1726:2019)
Nilai C_d	= 5,5 (SNI 1726:2019)

6.2 Pembebanan Struktur

6.2.1 Berat Gedung

Lantai 1-8

Beban Mati

Pelat	: 696 x 0,12 x 2.400	= 200.448	Kg
Balok Induk	: 312 x 0,30 x 0,50 x 2.400	= 112.320	Kg
Balok Anak	: 266 x 0,20 x 0,40 x 2.400	= 51.072	Kg
Kolom	: 36 x 4 x 0,60 x 0,60 x 2.400	= 124.416	Kg
Dinding Struktur	: 6 x 4 x 4 x 0,30 x 2.400	= 69.120	Kg
Dinding Non-Struktur	: 284 x 4 x 250	= 284.000	Kg

Plafond	: 696 x 50	= 34.800	Kg
Spesi 2 cm	: 696 x 42	= 29.232	Kg
Keramik	: 696 x 24	= 16.704	Kg
<hr/>			
Total Beban Mati		= 922.112	Kg +

Beban Hidup

Total Beban Hidup	: 696 x 250 x 0,3	= 52.200	Kg
Beban Lantai 1-8		= 974.312	Kg

Lantai 9

Beban Mati

Pelat	: 696 x 0,12 x 2.400	= 200.448	Kg
Balok Induk	: 312 x 0,30 x 0,50 x 2.400	= 112.320	Kg
Balok Anak	: 266 x 0,20 x 0,40 x 2.400	= 51.072	Kg
Balok Penggantung Lift	: 6 x 0,30 x 0,40 x 2.400	= 1.728	Kg
Kolom	: 36 x 4 x 0,60 x 0,60 x 2.400	= 124.416	Kg
Dinding Struktur	: 6 x 4 x 4 x 0,30 x 2.400	= 69.120	Kg
Dinding Non-Struktur	: 284 x 4 x 250	= 284.000	Kg
Plafond	: 696 x 50	= 34.800	Kg
Spesi 2 cm	: 696 x 42	= 29.232	Kg
Keramik	: 696 x 24	= 16.704	Kg
<hr/>			
Total Beban Mati		= 923.840	Kg +

Beban Hidup

Total Beban Hidup	: 696 x 250 x 0,3	= 52.200	Kg
Beban Lantai 9		= 976.040	Kg

Atap

Beban Mati

Pelat	: 768 x 0,12 x 2.400	= 221.184	Kg
Balok Induk	: 312 x 0,30 x 0,50 x 2.400	= 112.320	Kg
Balok Anak	: 272 x 0,20 x 0,40 x 2.400	= 52.224	Kg
Kolom	: 36 x 4 x 0,60 x 0,60 x 2.400	= 124.416	Kg
Dinding Struktur	: 6 x 4 x 4 x 0,30 x 2.400	= 69.120	Kg
Dinding Non-Struktur	: 200 x 4 x 250	= 200.000	Kg
Plafond	: 768 x 50	= 38.400	Kg
Spesi 2 cm	: 768 x 42	= 32.256	Kg

Aspal 1 cm	: 768 x 14	= 10.752	Kg	+
Total Beban Mati		= 860.672	Kg	
<u>Beban Hidup</u>				
Total Beban Hidup	: 768 x 100 x 0,3	= 23.040	Kg	
Beban Atap		= 883.712	Kg	

Berat Bangunan Total

$W_{total} = (\text{Beban Lantai 1-8} \times 8) + \text{Beban Lantai 9} + \text{Beban Atap}$

$W_{total} = (974.312 \times 8) + 976.040 + 883.712$

$W_{total} = 9.654.248 \text{ Kg}$

6.2.2 Beban Gempa

Klasifikasi Situs Tanah

Tabel 6.1 Klasifikasi Situs Tanah

Kedalaman (m)	Tebal (m)	NSPT	N
0 – 3	3	1	3,000
3 – 5	2	2	1,000
5 – 8	3	1	3,000
8 – 10	2	1	2,000
10 – 13	3	1	3,000
13 – 15	2	3	0,667
15 – 18	3	4	0,750
18 – 20	2	5	0,400
20 – 23	3	11	0,273
23 – 26	3	19	0,158
26 – 28	2	24	0,083
28 – 31	3	28	0,107
31 – 33	2	18	0,111
33 – 35	2	23	0,087
35 – 38	3	23	0,130
38 – 41	3	30	0,100
Total	41		14,866

Berdasarkan data tanah Kota Surabaya, maka jenis tanah dapat ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum T}{\sum N} = \frac{41}{14,866} = 2,758 < 15 \text{ (Jenis Tanah Lunak)}$$

Periode Fundamental Struktur

Perhitungan Periode Fundamental Struktur (T) diijinkan menggunakan Periode Pendekatan (Ta), yang dihitung sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1. Nilai Periode Pendekatan (Ta) tidak boleh melebihi hasil Koefisien Batas Atas (Cu) pada Periode yang dihitung. Periode Fundamental Pendekatan (Ta) dapat ditentukan dengan persamaan 2.14.

Nilai Periode Fundamental Pendekatan (Ta)

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0488 \cdot 40^{0,75} = 0,7762 \text{ Detik}$$

$$C_u = 1,4 \quad (\text{SNI 1726:2019 Tabel 17})$$

$$T_a < C_u \text{ (OK)}$$

Geser Dasar Seismik

Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik (V) menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.15 dan 2.16.

Nilai Koefisien Respons Seismik (Cs)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,64}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,09143$$

Nilai Gaya Geser Dasar Seismik (V)

$$V = C_s \cdot W = 0,09143 \times 9.654.248 = 882.674 \text{ Kg}$$

Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Perhitungan Gaya Seismik Lateral (Fi) menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3 harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.13.

$$k = 1 + \left[\left(\frac{1,28-0,5}{2,5-0,5} \right) \times (2 - 1) \right] = 1,39$$

Nilai Gaya Seismik Lateral (Fi)

Tabel 6.2 Gaya Seismik Lateral

Lantai	W _i (Kg)	Z _i (m)	k	W · Z ^k	V (Kg)	F _i
Atap	883.712	40	1,39	148.995.839	882.674	173.936
9	976.040	36	1,39	142.143.856	882.674	165.937
8	974.312	32	1,39	120.463.790	882.674	140.628

7	974.312	28	1,39	100.057.055	882.674	116.805
6	974.312	24	1,39	80.759.139	882.674	94.277
5	974.312	20	1,39	62.680.109	882.674	73.172
4	974.312	16	1,39	45.964.742	882.674	53.659
3	974.312	12	1,39	30.814.845	882.674	35.973
2	974.312	8	1,39	17.538.528	882.674	20.474
1	974.312	4	1,39	6.692.085	882.674	7.812
$\sum W \cdot Z^k$				756.109.987		

6.2.3 Kombinasi Beban

Kombinasi Beban yang digunakan pada Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Niscala di Kota Surabaya sesuai dengan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Tabel 6.2 Kombinasi Beban.

Tabel 6.3 Kombinasi Beban

No.	Type	Kombinasi Beban
1	Combo 1	1,4D
2	Combo 2	1,2D + 1,6L
3	Combo 3	1,2D + 0,5L + Gx + 0,3Gy
4	Combo 4	1,2D + 0,5L + Gx - 0,3Gy
5	Combo 5	1,2D + 0,5L - Gx + 0,3Gy
6	Combo 6	1,2D + 0,5L - Gx - 0,3Gy
7	Combo 7	0,9D + Gx + 0,3Gy
8	Combo 8	0,9D + Gx - 0,3Gy
9	Combo 9	0,9D - Gx + 0,3Gy
10	Combo 10	0,9D - Gx - 0,3Gy
11	Combo 11	1,2D + 0,5L + 0,3Gx + Gy
12	Combo 12	1,2D + 0,5L + 0,3Gx - Gy
13	Combo 13	1,2D + 0,5L - 0,3Gx + Gy
14	Combo 14	1,2D + 0,5L - 0,3Gx - Gy
15	Combo 15	0,9D + 0,3Gx + Gy

16	Combo 16	$0,9D + 0,3G_x - G_y$
17	Combo 17	$0,9D - 0,3G_x + G_y$
18	Combo 18	$0,9D - 0,3G_x - G_y$

Keterangan:

D = Beban mati

L = Beban hidup

G_x = Beban gempa arah X

G_y = Beban gempa arah Y

6.2.4 Simpangan Antar Lantai

Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x) tidak boleh melebihi Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa) dengan tujuan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang menyebabkan korban jiwa dan benturan antar gedung. Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x) tidak boleh melebihi Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa). Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x) menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.17 dan berdasarkan Tabel 2.12.

Nilai Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa)

$$\Delta a = 0,020 \times h_{sx} = 0,020 \times 4000 = 80 \text{ mm}$$

Nilai Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x)

$$\delta_{xX} = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5,5 \times (35,23 - 31,15)}{1} = 22,45 \text{ mm}$$

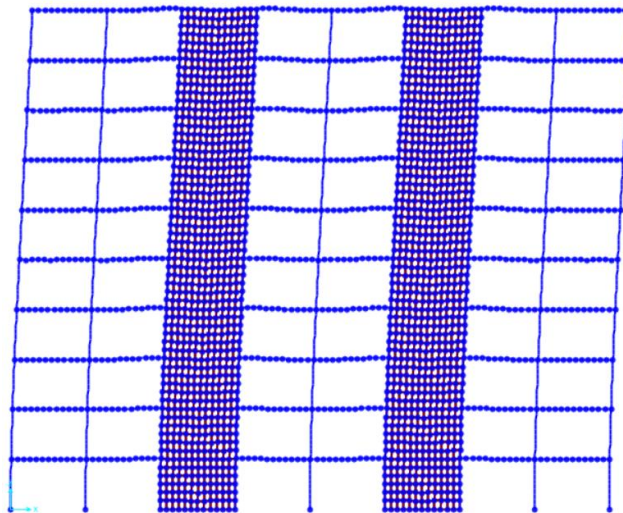
$$\delta_{xY} = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5,5 \times (64,48 - 62,49)}{1} = 10,92 \text{ mm}$$

Nilai Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x) dan kontrol terhadap Nilai Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa) dapat dilihat di dalam Tabel 6.3 Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x) di bawah ini.

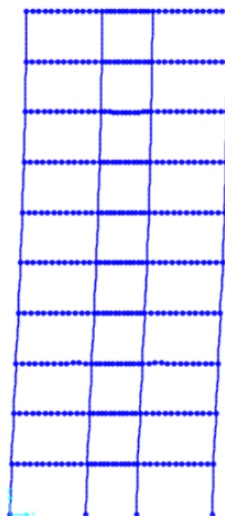
Tabel 6.4 Simpangan Antar Lantai Desain (δ_x)

Lantai	δ_{xe} (mm)		δ_x (mm)		Δa (mm)	Status
	$\delta_{xe x}$	$\delta_{xe y}$	$\delta_x x$	$\delta_x y$		
Atap	35,23	64,48	22,45	10,92	80	OK
9	31,15	62,49	23,28	18,13	80	OK

8	26,91	59,19	23,75	26,00	80	OK
7	22,60	54,47	23,89	33,34	80	OK
6	18,25	48,41	23,42	39,89	80	OK
5	13,99	41,15	22,17	45,61	80	OK
4	9,96	32,86	19,97	50,23	80	OK
3	6,33	23,73	16,66	52,71	80	OK
2	3,30	14,14	12,12	49,48	80	OK
1	1,10	5,15	6,04	28,31	80	OK
0	0,00	0,00	0,00	0,00	80	OK



Gambar 6.1 Output Simpangan Arah X



Gambar 6.2 Output Simpangan Arah Y

Nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada perencanaan struktur ini bernilai lebih kecil daripada nilai simpangan lantai ijin. Nilai simpangan ijin adalah sebesar 80 mm untuk setiap lantainya. Hal ini sesuai dengan yang disyaratkan pada peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1.

6.2.5 Periode Getar Waktu

Perhitungan Kontrol Periode Getar Waktu pada Sumbu-X dan pada Sumbu-Y dapat dilihat pada Tabel 6.4 Nilai T-Rayleigh pada Sumbu X dan Tabel 6.5 Nilai T-Rayleigh pada Sumbu Y di bawah ini.

Tabel 6.5 T-Rayleigh pada Sumbu X

Lantai	Wi	$\delta_{xe} X$ (Cm)	$\delta_{xe} X^2$ (Cm)	Fi	$W_i \cdot \delta_{xe} X^2$	$F_i \cdot \delta_{xe} X$
Atap	883.712	3,52	12,41	173.936	10.966.332	612.724
9	976.040	3,11	9,70	165.937	9.467.967	516.819
8	974.312	2,69	7,24	140.628	7.057.363	378.481
7	974.312	2,26	5,11	116.805	4.974.281	263.924
6	974.312	1,83	3,33	94.277	3.245.782	172.075
5	974.312	1,40	1,96	73.172	1.907.880	102.393
4	974.312	1,00	0,99	53.659	966.937	53.455
3	974.312	0,63	0,40	35.973	390.496	22.774
2	974.312	0,33	0,11	20.474	106.196	6.759
1	974.312	0,11	0,01	7.812	11.740	858
0	0	0	0	0	0	0
Total					39.094.976	2.130.262

Nilai T-Rayleigh pada Sumbu X

$$T_{RX} = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_x^2}{g \cdot \sum F_i \cdot \delta_x}} = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{39.094.976}{981 \cdot 2.130.262}} = 0,862 \text{ Detik}$$

$$T_a < 3,5 T_{RX}$$

0,7762 < 3,0159 (OK) → Dapat dihitung dengan Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

Tabel 6.6 T-Rayleigh pada Sumbu Y

Lantai	Wi	$\delta_{xe} Y$ (Cm)	$\delta_{xe} Y^2$ (Cm)	Fi	$W_i \cdot \delta_{xe} Y^2$	$F_i \cdot \delta_{xe} Y$
Atap	883.712	6,45	41,57	173.936	36.737.383	1.121.472
9	976.040	6,25	39,05	165.937	38.115.612	1.036.958
8	974.312	5,92	35,04	140.628	34.140.243	832.446
7	974.312	5,45	29,67	116.805	28.905.452	636.215
6	974.312	4,84	23,43	94.277	22.830.060	456.364
5	974.312	4,12	16,94	73.172	16.500.831	301.127
4	974.312	3,29	10,80	53.659	10.520.267	176.321
3	974.312	2,37	5,63	35.973	5.484.896	85.351
2	974.312	1,41	2,00	20.474	1.949.062	28.958
1	974.312	0,51	0,27	7.812	258.207	4.022
Total					195.442.013	4.679.234

Nilai T-Rayleigh pada Sumbu Y

$$T_{RY} = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_y^2}{g \cdot \sum F_i \cdot \delta_y}} = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{195.442.013}{981 \cdot 4.679.234}} = 1,300 \text{ Detik}$$

$$T_a < 3,5 T_{RY}$$

0,7762 < 4,5498 (OK) → Dapat dihitung dengan Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

6.2.6 Analisa Sistem Ganda

Setelah melakukan Analisa Struktur menggunakan program bantu, Hasil Analisa Struktur (*Output*) kemudian dilakukan pengecekan (*Control*) bahwa sistem struktur yang terdiri dari Sistem Rangka dan Dinding Struktur telah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2019. Syarat persentase antara Sistem Rangka dan Dinding Struktur yang sesuai dengan SNI 1726:2019 adalah SRPMK mampu memikul beban sebesar $\geq 25\%$ dari total beban yang bekerja pada struktur, Dinding Geser mampu memikul beban sebesar $\leq 75\%$ dari total beban yang bekerja pada struktur.

Perhitungan Kontrol Persentase Sistem Ganda

Dinding Struktur

$$\text{COMB1}_{F_x} = \frac{V_{\text{COMB1}}}{V} \times 100\% = \frac{440.824}{882.674} \times 100\% = 49,94\% \approx 50\%$$

$$\text{COMB1}_{F_y} = \frac{V_{\text{COMB1}}}{V} \times 100\% = \frac{440.824}{882.674} \times 100\% = 49,94\% \approx 50\%$$

Tabel 6.7 Persentase SRPMK dan DS

Kombinasi	DS ≤ 75%			SRPMK ≥ 25%		
	Fx (%)	Fy (%)	Kontrol	Fx (%)	Fy (%)	Kontrol
COMB1	50,00	50,00	OK	50,00	50,00	OK
COMB2	50,00	50,00	OK	50,00	50,00	OK
COMB3	70,00	68,74	OK	30,00	31,26	OK
COMB4	69,80	68,80	OK	30,20	31,20	OK
COMB5	73,68	72,78	OK	26,32	27,22	OK
COMB6	69,89	68,79	OK	30,11	31,21	OK
COMB7	69,70	68,70	OK	30,30	31,30	OK
COMB8	68,94	67,84	OK	31,06	32,16	OK
COMB9	69,40	68,40	OK	30,60	31,60	OK
COMB10	69,00	68,10	OK	31,00	31,90	OK
COMB11	66,49	64,49	OK	33,51	35,51	OK
COMB12	67,10	65,60	OK	32,90	34,40	OK
COMB13	66,68	64,98	OK	33,32	35,02	OK
COMB14	66,30	63,80	OK	33,70	36,20	OK
COMB15	69,51	68,91	OK	30,49	31,09	OK
COMB16	69,35	66,95	OK	30,65	33,05	OK
COMB17	68,88	66,98	OK	31,12	33,02	OK
COMB18	69,42	67,32	OK	30,58	32,68	OK

Perencanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa menggunakan sistem ganda dipilih karena dengan sistem ganda gaya-gaya yang bekerja pada bangunan dapat ditahan oleh dinding geser sebesar $\leq 75\%$ dan pada SRPMK menahan gaya $\geq 25\%$. Sehingga konfigurasi struktur pada Tugas Akhir ini telah sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.8.