

3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan data gempa respon spektra terletak di Jl. Barito 1 No.2, Area sawah/kebun, Kedungsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah. Secara koordinat terletak pada $-7,442801^{\circ}$ Lintang Selatan dan $110,227650^{\circ}$ Bujur Timur. Koordinat tersebut menjadi acuan dalam pengambilan data gempa respon spektra dengan asumsi kelas situs tanah lunak (SE). Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1, lokasi tersebut merupakan lokasi Gedung Rektorat Universitas Tidar Kampus Sidotopo.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Data Teknis

3.2.1 Data Teknis Struktur

Fungsi Struktur : Gedung Perkantoran

Jumlah Lantai : 15 lantai

Tinggi Struktur : 53,2 m

Tinggi Antar Lantai

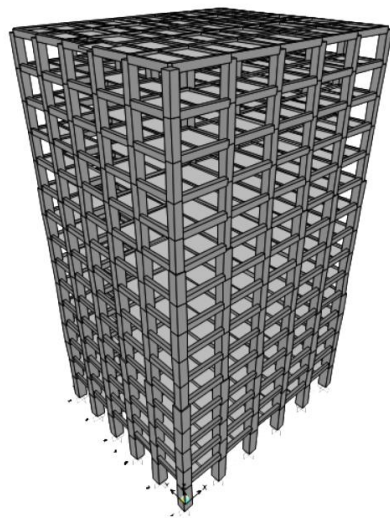
Tinggi Lantai 1 : 4,2 m

Tinggi Lantai 2-15 : 3,5 m

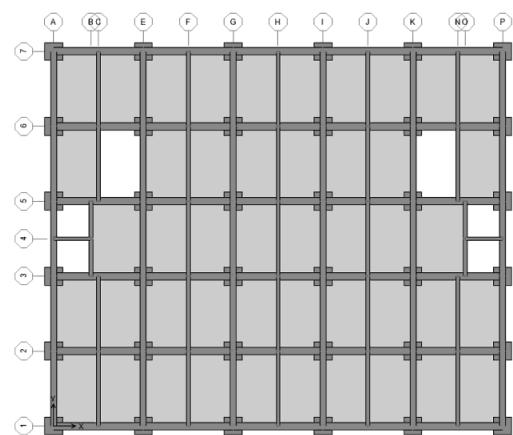
Panjang Struktur : 30 m

Lebar Struktur : 25 m

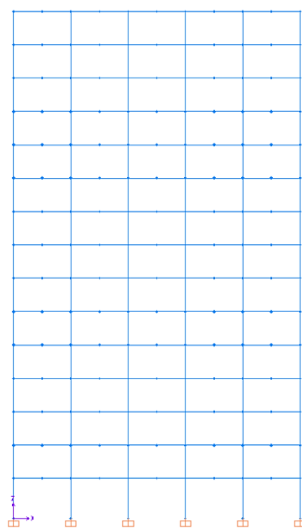
Struktur Utama : Beton Bertulang



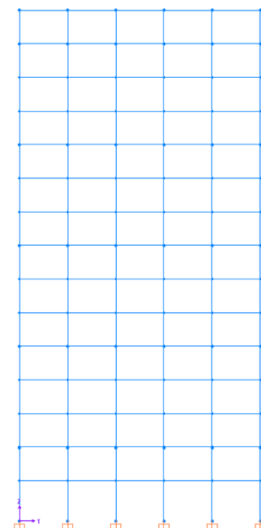
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.2 Struktur Gedung Beton Bertulang: (a) Gambar 3D, (b) Tampak Atas, (c) Tampak Samping Sumbu X, (d) Tampak Samping Sumbu Y

3.2.2 Mutu Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 19.2.1.1 untuk sistem rangka pemikul momen khusus, nilai minimum mutu beton adalah $f'_c = 21$ MPa. Sedangkan untuk batas maksimal tidak ditentukan.

Mutu beton yang digunakan pada perencanaan struktur gedung ini adalah $f'_c = 30$ MPa untuk struktur pelat, balok dan struktur horizontal lainnya. Sedangkan untuk struktur vertikal seperti kolom digunakan mutu beton $f'_c = 40$ MPa.

3.2.3 Mutu Baja Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 20.2.2.4a telah diatur bahwa mutu maksimal tulangan ulir (D) untuk elemen lentur dan gaya aksial adalah $f_y = 420$ MPa. Sedangkan untuk tulangan polos ($\emptyset$) diatur pada SNI 2847:2019 tabel 20.2.2.4b dengan nilai mutu maksimal $f_y = 420$ MPa.

Mutu baja tulangan yang digunakan pada perencanaan struktur gedung ini untuk tulangan lentur (D), $f_y = 420$ MPa. Kemudian untuk tulangan geser ($\emptyset$), $f_y = 280$ MPa.

3.3 Teknik Analisis Data

3.3.1 Preliminary Design

Preliminary design merupakan langkah awal perencanaan dimensi struktur dengan acuan SNI 2847:2019. Dilakukan perhitungan *preliminary design* untuk komponen struktur gedung yaitu balok, kolom, pelat, dan tangga.

3.3.1.1 Preliminary Design Balok

Dimensi balok akan didesain sama untuk setiap lantainya. Tinggi minimum balok dapat ditentukan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1. Kemudian untuk lebar minimum dari balok sesuai Pasal 18.6.2. Berikut merupakan proses perhitungan dimensi awal balok:

Untuk perhitungan dimensi balok induk,

Panjang bentang = 6000 mm

Asumsi kondisi perletakan = Perletakan sederhana

Tinggi minimum penampang $= L/16 = 6000/16 = 375 \text{ mm}$

Tinggi penampang rencana (h) = 700 mm

Rasio h/b balok dapat diambil sebesar 1,5 – 2. Digunakan 2, maka:

Lebar penampang $= h/2 = 700/2 = 350 \text{ mm}$

Lebar penampang rencana (b) = 500 mm

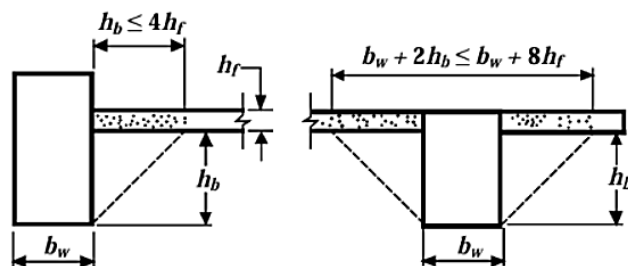
Untuk perhitungan dimensi balok anak dihitung menggunakan cara yang sama dengan perhitungan *preliminary* dimensi balok induk, didapat rekapitulasi dimensi *preliminary design* balok yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Dimensi *Preliminary Design* Balok

Tipe	L (mm)	h_{desain} (mm)	b_{desain} (mm)
Balok Induk 1	6000	700	500
Balok Induk 2	5000	700	400
Balok Anak 1	5000	500	250
Balok Anak 2	2500	500	250
Balok Lift	2500	500	300

3.3.1.2 Preliminary Design Pelat

Tebal dimensi pelat dua arah ditentukan sesuai SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1. Kemudian untuk bagian pelat yang dimasukan ke balok mengacu pada pasal 8.4.1.8, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagian Pelat yang Dimasukan ke Balok

Untuk perhitungan pelat sebagai berikut:

Panjang balok arah x (L_x) $= 5000 \text{ mm}$

Panjang balok arah y (L_y) $= 3000 \text{ mm}$

Rasio jarak terpanjang dan terpendek = $L_{\max}/L_{\min} = L_y/L_x$

$$= 1,667 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

Estimasi tebal pelat (hf) = 150 mm

Dimensi balok yang menjepit pelat dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Dimensi Balok yang Menjepit Pelat

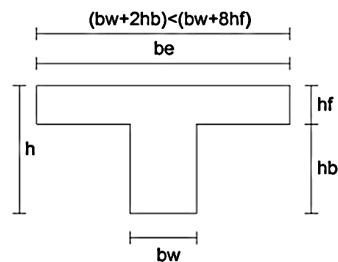
Balok	b (mm)	H (mm)	Panjang (mm)
Balok Induk 1	700	500	3000
Balok Induk 2	700	400	5000
Balok Anak	500	250	5000

Perhitungan nilai rasio kekakuan rata-rata:

Untuk balok induk 1,

Lebar penampang balok (b_w) = 500 mm

Tinggi penampang total (h) = 700 mm

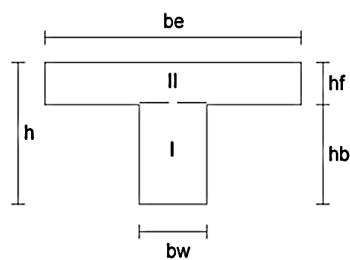


Gambar 3.4 Dimensi Efektif Balok

$$hb = h - hf = 550 \text{ mm}$$

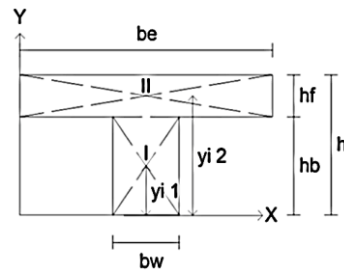
$$be = bw + 2hb = 1600 \text{ mm}$$

$$\text{Kontrol} \quad = bw + 2hb \leq bw + 8hf = 1600 \leq 1700 \text{ (Memenuhi)}$$



Gambar 3.5 Luasan Penampang Balok

$$\text{Luas Penampang (A}_t\text{)} = A_1 + A_2 = (500.550) + (1600.150) = 515000 \text{ mm}^2$$



Gambar 3.6 Titik Berat Penampang Balok

Jarak antara titik berat bidang I ke sumbu X,

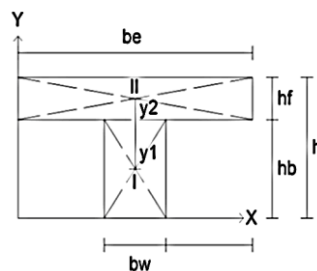
$$y_{i1} = \frac{1}{2}hb = 275 \text{ mm}$$

Jarak antara titik berat bidang II ke sumbu X,

$$y_{i2} = hb + \frac{1}{2}hf = 625 \text{ mm}$$

$$\text{Titik berat penampang balok, } \bar{y} = \frac{(A_1 \cdot y_{i1}) + (A_2 \cdot y_{i2})}{A_t}$$

$$= \frac{(75625000) + (150000000)}{515000} = 438,107 \text{ mm}$$



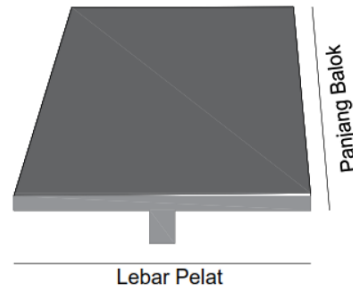
Gambar 3.7 Jarak Antara Titik Berat Bidang Terhadap Titik Berat Penampang

Jarak antara titik berat bidang terhadap titik berat penampang:

$$y_1 = \bar{y} - y_{i1} = 163,107 \text{ mm}$$

$$y_2 = \bar{y} - y_{i2} = 186,893 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen inersia balok 1 (I}_{b1}) &= \left[\left(\frac{1}{12} \cdot bw \cdot hb^3 \right) + (A_1 \cdot y_1) \right] + \left[\left(\frac{1}{12} \cdot be \cdot hf^3 \right) + (A_2 \cdot y_2) \right] \\ &= 7472000405 \text{ mm}^4\end{aligned}$$



Gambar 3.8 Momen Inersia Pelat

Momen inersia pelat 1,

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \cdot l_y \cdot h_f^3 = 1406250000 \text{ mm}^4$$

Modulus elastisitas beton balok 1,

$$E_{cb1} = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 25742,960 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas beton pelat 1,

$$E_{cs1} = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 25742,960 \text{ MPa}$$

Rasio kekakuan balok 1 terhadap pelat 1,

$$\alpha_{f1} = \frac{E_{cb1} \cdot I_{b1}}{E_{cs1} \cdot I_{s1}} = 5,313$$

Dengan cara yang sama, dihitung kembali rasio kekakuan balok yang lain terhadap pelat, didapat:

$$\begin{aligned}\alpha_{f2} &= \frac{E_{cb2} \cdot I_{b2}}{E_{cs2} \cdot I_{s2}} \\ &= \frac{25742,960 \times 6045573502}{25742,960 \times 843750000} = 7,165 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{f3} &= \frac{E_{cb3} \cdot I_{b3}}{E_{cs3} \cdot I_{s3}} \\
 &= \frac{25742,960 \times 7472000405}{25742,960 \times 1406250000} = 5,313 \text{ mm}^4 \\
 \alpha_{f4} &= \frac{E_{cb4} \cdot I_{b4}}{E_{cs4} \cdot I_{s4}} \\
 &= \frac{25742,960 \times 1187522645}{25742,960 \times 843750000} = 1,407 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai rasio kekakuan rata-rata,

$$\alpha_{fm} = \frac{5,131 + 7,165 + 5,131 + 1,407}{4} = 4,800$$

Dikarenakan $\alpha_{fm} > 2$, maka nilai h_{min} pelat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal minimum pelat (} h_{min} \text{)} &= \frac{L_n \cdot \left(0,8 + \left(\frac{f_y}{1400} \right) \right)}{36 + 9\beta} = \frac{500 \times \left(0,8 + \left(\frac{420}{1400} \right) \right)}{36 + 9 \times 1,244} \\
 &= 118,868 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan keseragaman akan digunakan pelat dengan tebal 150 mm.

3.3.1.3 Preliminary Design Kolom

Kolom pada lantai bawah memikul beban lebih besar daripada kolom pada lantai atas. Maka dari itu, dimensi kolom diperkecil setiap 5 lantai ke atas. Perhitungan dimensi kolom dihitung berat per lantai yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Distribusi Beban Mati yang Ditahan Kolom

Komponen Beban	p (m)	l (m)	t (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	berat (kN)
1. Lantai 15 (Atap)					
Beban Mati					

Komponen Beban	p (m)	l (m)	t (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	berat (kN)
Pelat Atap	6,000	5,000	0,150	23,540	105,930
Balok Induk	11,000	0,400	0,700	23,540	72,503
Balok Anak	11,000	0,250	0,500	23,540	32,368
Beban Mati Tambahan					
Lapisan Waterproofing	6,000	5,000		0,050	1,500
Ducting Mekanikal	6,000	5,000		0,190	5,700
Penggantung Langit-Langit	6,000	5,000		0,100	3,000
Plafond	6,000	5,000		0,050	1,500
Instalasi Listrik	6,000	5,000		0,100	3,000
Pipa Air Bersih Dan Kotor	6,000	5,000		0,100	3,000
Total Berat					228,501
2. Lantai 1-14					
Beban Mati					
Pelat Lantai	6,000	5,000	0,150	23,540	105,930
Balok Induk	11,000	0,400	0,700	23,540	72,503
Balok Anak	11,000	0,250	0,500	23,540	32,368
Beban Mati Tambahan					
Finishing (keramik)	6,000	5,000		1,100	33,000
Ducting Mekanikal	6,000	5,000		0,190	5,700
Penggantung Langit-Langit	6,000	5,000		0,100	3,000
Plafond	6,000	5,000		0,050	1,500
Instalasi Listrik	6,000	5,000		0,100	3,000
Pipa Air Bersih Dan Kotor	6,000	5,000		0,100	3,000
Total Berat					260,001

Tabel 3.4 Distribusi Beban Hidup yang Ditahan Kolom

Komponen Beban	p (m)	l (m)	t (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	berat (kN)
1. Lantai 15 (Atap)					
Atap (dak)	6,000	5,000		0,960	28,800

Genangan air hujan (1cm)	6,000	5,000	0,010	9,810	2,943
Total Berat					31,743
2. Lantai 1					
Partisi	6,000	5,000		0,720	21,600
Ruang Pertemuan/meeting	6,000	5,000		4,790	143,700
Total Berat					165,300
3. Lantai 2-14					
Partisi	6,000	5,000		0,720	21,600
Ruang Kantor	6,000	5,000		2,400	72,000
Total Berat					93,600

Tabel 3.5 Kombinasi Beban Per Lantai

Lantai	Beban Mati (kN)	Beban Hidup (kN)	Kombinasi Pembebanan	Komulatif (kN)
			1,2DL+1,2SDL+1,6LL	
15 (Atap)	228,501	31,743	324,990	
14	260,001	93,600	461,761	324,990
13	260,001	93,600	461,761	786,750
12	260,001	93,600	461,761	1248,511
11	260,001	93,600	461,761	1710,272
10	260,001	93,600	461,761	2172,033
9	260,001	93,600	461,761	2633,794
8	260,001	93,600	461,761	3095,555
7	260,001	93,600	461,761	3557,316
6	260,001	93,600	461,761	4019,076
5	260,001	93,600	461,761	4480,837
4	260,001	93,600	461,761	4942,598
3	260,001	93,600	461,761	5404,359
2	260,001	93,600	461,761	5866,120
1	260,001	165,300	576,481	6327,881
	0,000	0,000		6904,361

Tabel 3.6 Perhitungan *Preliminary Design* Kolom

Kolom	Pu (N)	A (mm ²)	Sisi Kolom Rencana (mm)		Sisi Kolom Aktual (mm)	
			p	l	p	l
14	324989,640	27082,470	164,568	164,568	900	900
13	786750,480	65562,540	256,052	256,052		
12	1248511,320	104042,610	322,556	322,556		
11	1710272,160	142522,680	377,522	377,522		
10	2172033,000	181002,750	425,444	425,444		
9	2633793,840	219482,820	468,490	468,490	1100	1100
8	3095554,680	257962,890	507,900	507,900		
7	3557315,520	296442,960	544,466	544,466		
6	4019076,360	334923,030	578,725	578,725		
5	4480837,200	373403,100	611,067	611,067		
4	4942598,040	411883,170	641,781	641,781	1300	1300
3	5404358,880	450363,240	671,091	671,091		
2	5866119,720	488843,310	699,173	699,173		
1	6327880,560	527323,380	726,170	726,170		
GF	6904361,400	575363,450	758,527	758,527		

3.3.1.4 *Preliminary Design* Tangga

Contoh perhitungan perencanaan dimensi tangga untuk tangga tipe U pada lantai 1-13 sebagai berikut:

Tinggi antar lantai (ΔH_r) = 350 cm

Panjang area tangga (P) = 500 cm

Lebar area tangga (L) = 300 cm

Jarak antar jalur tangga (L1) = 25 cm

Lebar satu jalur anak tangga (Lt) = 137,5 cm

Lebar injakan (antrade) (a) = 30 cm

Tinggi tanjakan (optrade) (s) = 18 cm

Kontrol desain perencanaan berdasarkan:

Ukuran langkah ($2s + a = 60 \text{ s.d. } 65$) = 66 (**Memenuhi**)

Keamanan ($s + a = \pm 46$) = 48 (**Memenuhi**)

Kenyamanan ($a - s = \pm 12$) = 12 (**Memenuhi**)

Tinggi bordes rencana (H_b) = 175 cm

Panjang tangga horizontal (P_1) = $\frac{a}{s} \cdot H_b = \frac{30}{18} \times 175 = 291,667 \text{ cm}$

Lebar bordes (L_b) = $P - P_1 = 500 - 291,667 = 208,333 \text{ cm}$

Jumlah anak tangga di bawah bordes:

Jumlah optrade (n_s) = $\frac{H_b}{s} = \frac{175}{18} = 9,722 \text{ tanjakan}$

Jumlah antrade (n_a) = $n_s - 1 = 9,722 - 1 = 8,722 \text{ tanjakan}$

Jumlah anak tangga pakai (n_1) = 10 buah

Jumlah anak tangga di atas bordes:

Jumlah optrade (n_s) = $\frac{H - H_b}{s} = \frac{350 - 175}{18} = 9,722 \text{ tanjakan}$

Jumlah antrade (n_a) = $n_s - 1 = 9,722 - 1 = 8,722 \text{ tanjakan}$

Jumlah anak tangga pakai (n_2) = 10 buah

Jumlah total anak tangga pakai (n_t) = 20 buah

Dengan menggunakan *trial and error*, didapat konfigurasi anak tangga yang disajikan pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Konfigurasi Jumlah Anak Tangga untuk Lantai 1-14

Posisi Anak Tangga	n	Σn	s	Hd	kontrol
Anak Tangga Atas	1	20	13	350	$\Sigma n = n$
Anak Tangga Di Atas Bordes	9		18		ok
Anak Tangga Di Bawah Bordes	9		18		$H_d = H_r$
Anak Tangga Lantai Dasar	1		13		ok

Dikarenakan jumlah tangga berubah dan tinggi anak tangga tidak sama maka dimensi tangga dihitung ulang, seperti berikut:

$$\text{Panjang jtangga horizontal (P1)} = n1 \cdot s = 300 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar bordes (Lb)} = P - P1 = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang pelat miring (Pm)} = \sqrt{P1^2 + Hb^2} = 347,311 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang pelat (L)} = Pm + Lb = 547,311 \text{ cm}$$

Tebal pelat dihitung dengan asumsi satu ujung menerus, didapat:

$$\text{Tebal pelat minimum (Tpmin)} = 17,103 \text{ cm}$$

Oleh karena itu digunakan tebal pelat 18 cm untuk pelat tangga dan pelat bordes.

Untuk perhitungan tangga pada lantai GF, dihitung menggunakan cara yang sama seperti pada lantai 1-13, dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Komfigurasi Jumlah Anak Tangga untuk Lantai GF

Posisi Anak Tangga	n	Σn	s	Hd	kontrol
Anak Tangga Atas	1	24	12	420	$\Sigma n = n$
Anak Tangga Di Atas Bordes	11		18		ok
Anak Tangga Di Bawah Bordes	11		18		Hd = Hr
Anak Tangga Lantai Dasar	1		12		ok

Dikarenakan jumlah tangga berubah dan tinggi anak tangga tidak sama maka dimensi tangga dihitung ulang, seperti berikut:

$$\text{Panjang tangga horizontal (P1)} = n1 \cdot s = 360 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar bordes (Lb)} = P - P1 = 140 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang pelat miring (Pm)} = \sqrt{P1^2 + Hb^2} = 416,773 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang pelat (L)} = pm + Lb = 556,773 \text{ cm}$$

Tebal pelat dihitung dengan asumsi satu ujung menerus, didapat:

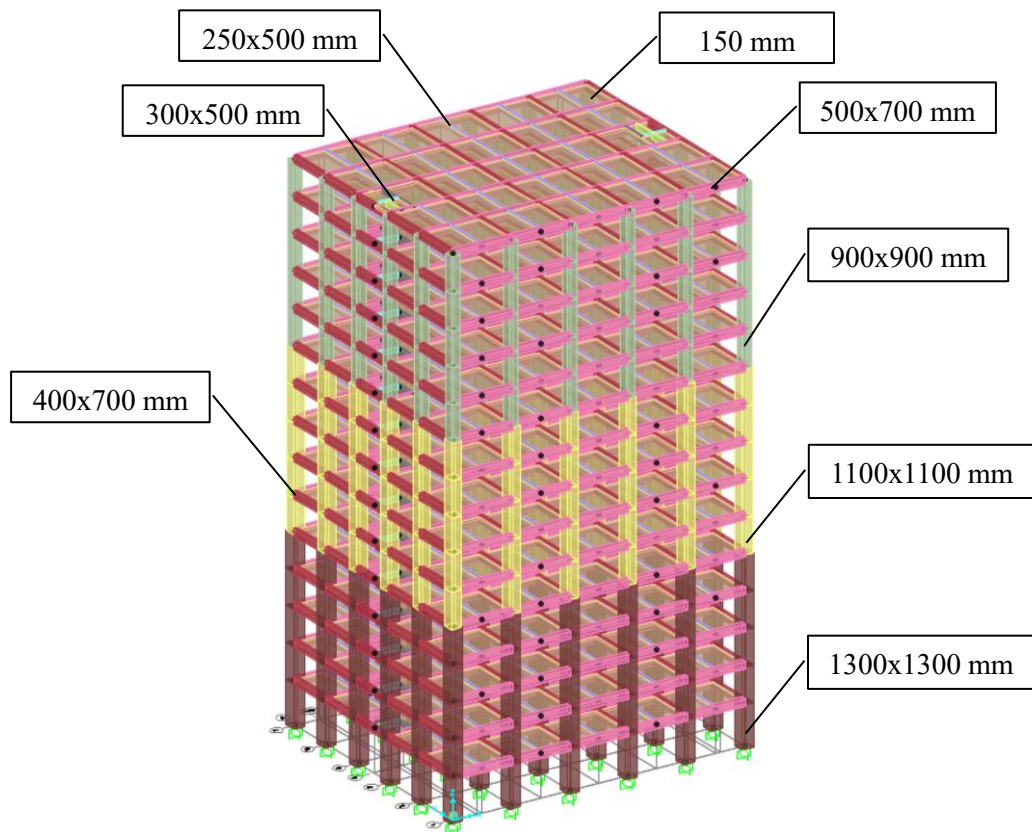
$$\text{Tebal pelat minimum (Tpmin)} = 17,399 \text{ cm}$$

Oleh karena itu digunakan tebal pelat 18 cm untuk pelat tangga dan pelat bordes.

3.3.2 Pemodelan Struktur pada *Software* SAP2000

Digunakan perangkat lunak SAP2000 untuk menganalisis struktur gedung. SAP2000 dipilih karena kemampuannya dalam memodelkan berbagai jenis struktur secara akurat dan efisien, termasuk struktur gedung beton bertulang. Digunakan

peredam jenis FVD dengan pola pemasangan diagonal di seluruh lantai sebagai modifikasi struktur gedung. Akan dilakukan dua pemodelan sebagai perbandingan efisiensi penempatan FVD pada kedua tepi gedung, dan penempatan FVD pada bagian tengah gedung.



Gambar 3.9 Pemodelan Struktur Gedung

3.3.3 Pembebanan Struktur

3.3.3.1 Beban Mati

Berat mati merupakan berat sendiri elemen struktur yang akan dihitung secara otomatis oleh *software* SAP2000, dengan berat jenis material beton bertulang $23,536 \text{ kN/m}^3$.

3.3.3.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan mengacu pada SNI 1727:2020. Beban mati tambahan yang akan diinputkan pada struktur pelat lantai dan atap adalah tersaji dalam Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.9 Beban Mati Tambahan per m² pada Pelat Lantai 1-14

No.	Jenis Beban	Berat
		kN/m ²
1	Finishing (Keramik)	1,10
2	Ducting Mekanikal	0,19
3	Penggantung Langit-Langit	0,10
4	Plafond	0,05
5	Instalasi Listrik	0,10
6	Pipa Air Bersih Dan Kotor	0,10
Total		1,64

Tabel 3.10 Beban Mati Tambahan per m² pada Pelat Atap

No.	Jenis Beban	Berat
		kN/m ²
1	Lapisan <i>Waterproofing</i>	0,05
2	Ducting Mekanikal	0,19
3	Penggantung Langit-Langit	0,10
4	Plafond	0,05
5	Instalasi Listrik	0,10
6	Pipa Air Bersih dan Kotor	0,10
Total		0,59

Kemudian pembebanan yang akan diinput pada balok dalam bentuk beban merata, dengan berat sebagai berikut:

$$\text{Beban dinding} = 2,47 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plesteran di kedua sisi} = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat curtain wall kaca} = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

Dengan tinggi antar lantai (h) sebesar 3,5 m, didapat:

Beban dinding pada balok induk

$$\text{Tinggi balok (hb)} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi dinding (hd)} = 2,8 \text{ m}$$

$$\text{Beban dinding (qd)} = q \cdot \text{hd} = 8,260 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban curtain wall (qc)} = q \cdot \text{hc} = 1,064 \text{ kN/m}$$

Pembebanan pada struktur tangga dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Beban Mati Tambahan per m² pada Pelat Tangga

No.	Jenis Beban	Berat
		kN/m ²
1	Anak Tangga Ekuivalen Lantai GF	1,69
2	Anak Tangga Ekuivalen Lantai 1-13	1,74
3	Finishing (Keramik)	1,10
4	Railing Tangga	0,10

Pada penelitian ini digunakan lift merk Sigma type Iris dengan spesifikasi Tabel 3.12 dan Tabel 3.13 berikut (SIGMA, 2013).

Tabel 3.12 Spesifikasi Lift Merk Iris

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (Mm)	Car Size		Hoistway Size			
						simplex		duplex	
	Person	Load (kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD
1	15	1150	1100	2000	1350	2600	2100	5400	2100

Tabel 3.13 Spesifikasi Lift Merk Iris (Lanjutan)

Machine Room Size				Reaction Load (N)			
Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
2600	2100	5400	2100	84600	47600	108700	86200

Perhitungan pembebanan pada balok penggantung lift sebagai berikut.

Panjang balok penggantung (L) = 2,5 m

Menurut SNI 1727:2020 Pasal 4.6.3 di mana beban impak akibat mesin timbal balik, maka beban harus dikalikan sebesar 50%

$$R_a = R_1 \times KLL = 84600 \times 150\% = 126900 \text{ N} = 126,9 \text{ kN}$$

$$R_b = R_2 \times KLL = 47600 \times 150\% = 71400 \text{ N} = 71,4 \text{ kN}$$

$$\sum M_b = 0$$

$$0 = 2,5 \times 126,9 - P_u \times x$$

$$P_u = \frac{317,25}{x} \text{ kNm}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$0 = 2,5 \times 71,4 - P_u \times (2,5 - x)$$

$$0 = 178,5 - \frac{317,25}{x} (2,5 - x)$$

$$0 = 178,5 - \frac{793,125}{x} + 317,25$$

$$0 = 495,75 - \frac{793,125}{x}$$

$$x = 1,6 \text{ m}$$

$$P_u = \frac{317,25}{x} = \frac{317,25}{1,6} = 198,281 \text{ kN}$$

3.3.3.3 Beban Hidup

Beban hidup yang berupa beban luasan akan diinput pada pelat lantai dan pelat atap. Beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2020 yang dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut. (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

Tabel 3.14 Beban Hidup per m² pada Pelat

No.	Jenis Beban	Berat
		kN/m ²
1	Lantai 1	4,79
2	Lantai 2-14	2,40
3	Partisi	0,72
4	Atap (Dak)	0,96
5	Genangan Air Hujan (1 Cm)	0,10

3.3.3.4 Beban Angin

Beban minimum untuk perancangan struktur gedung dan struktur lainnya diatur dalam SNI 1727:2020. Perhitungan beban angin adalah sebagai berikut.

1. Kecepatan Angin Dasar

Ditentukan untuk kecepatan angin dasar diambil sebesar:

$$V_R = 40 \text{ m/s}$$

2. Faktor Arah Angin

Berdasarkan SNI 1727-2020 Tabel 26.6-1, ditentukan berdasarkan tipe bangunan yaitu sistem penahan beban angin utama sebesar:

$$K_d = 0,85$$

3. Kategori Eksposur

Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 26.7.2 dan Pasal 26.7.3, ditentukan menggunakan kategori kekasaran permukaan B yaitu bangunan berada di daerah perkotaan. Dan ditentukan menggunakan kategori eksposur B.

4. Faktor Topografi

Efek peningkatan kecepatan angin pada daerah perkotaan secara umum tidak menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, maka:

$$K_{zt} = 1$$

5. Faktor Elevasi Permukaan Tanah

Berdasarkan SNI 1727-2020 Tabel 26.9-1, ditentukan berdasarkan letak elevasi tanah dan untuk semua kondisi maka diambil sebesar:

$$K_e = 1$$

6. Faktor Efek Hembusan Angin

Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 26.11.1, faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar:

$$G = 0,85$$

7. Koefisien Tekanan Internal

Berdasarkan SNI 1727-2020 Tabel 26.13-1, ditentukan berdasarkan klasifikasi tertutup bangunan yaitu bangunan gedung tertutup sebesar:

Untuk angin arah datang

$$C_{pi} = 0,18$$

Untuk angin arah pergi

$$C_{pi} = -0,18$$

8. Koefisien Eksposure Tekanan Velositas

Berdasarkan Berdasarkan SNI 1727-2020 Tabel 26.10-1, dihitung menggunakan interpolasi untuk menghitung nilai koefisien eksposur tekanan velositas masing masing lantai, pada Tabel 3.15 berikut:

Tabel 3.15 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Lantai	Elevasi	Kz
1	4,2	0,561
2	7,7	0,667
3	11,2	0,742
4	14,7	0,802
5	18,2	0,853
6	21,7	0,897
7	25,2	0,936
8	28,7	0,971
9	32,2	1,004
10	35,7	1,034
11	39,2	1,062
12	42,7	1,088
13	46,2	1,113
14	49,7	1,136
15	53,2	1,159

9. Tekanan Velositas

Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 26.10.2, nilai q_z dapat dicari dengan persamaan:

$$q_z = 0,613K_dK_{zt}K_zV^2$$

Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

Tabel 3.16 Perhitungan Tekanan Kecepatan

Lantai	Elevasi	q_z (N/m ²)	q_z (kN/m ²)
1	4,2	488,935	0,489
2	7,7	581,384	0,581
3	11,2	647,078	0,647
4	14,7	699,358	0,699
5	18,2	743,363	0,743
6	21,7	781,674	0,782
7	25,2	815,794	0,816
8	28,7	846,677	0,847
9	32,2	874,976	0,875
10	35,7	901,156	0,901
11	39,2	925,561	0,926
12	42,7	948,455	0,948
13	46,2	970,046	0,970
14	49,7	990,498	0,990
15	53,2	1009,945	1,010

10. Koefisien Tekanan Angin Eksternal

Berdasarkan SNI 1727-2020 Gambar 27.3-1, didapat sebagai berikut:

Untuk nilai koefisien tekanan internal dinding di sisi angin datang,

$$C_p = 0,8$$

Untuk nilai koefisien tekanan internal dinding di sisi angin pergi arah x,

$$C_p = -0,4$$

Untuk nilai koefisien tekanan internal dinding di sisi angin pergi arah y,

$$C_p = -0,5$$

11. Beban Angin

Dari beberapa parameter yang sudah didapat, maka besarnya tekanan angin desain dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = qGC_p - q_i(GC_{pi})$$

Perhitungan disajikan pada Tabel 3.17 berikut.

Tabel 3.17 Perhitungan Beban Angin

Lantai	Elevasi	Sumbu X		Sumbu Y	
		Angin Datang	Angin Pergi	Angin Datang	Angin Pergi
		P (kN/m ²)	P (kN/m ²)	P (kN/m ²)	P (kN/m ²)
1	4,2	0,258	-0,097	0,258	-0,117
2	7,7	0,306	-0,088	0,306	-0,116
3	11,2	0,341	-0,097	0,341	-0,129
4	14,7	0,369	-0,105	0,369	-0,139
5	18,2	0,392	-0,112	0,392	-0,148
6	21,7	0,412	-0,118	0,412	-0,156
7	25,2	0,430	-0,123	0,430	-0,162
8	28,7	0,446	-0,127	0,446	-0,169
9	32,2	0,461	-0,132	0,461	-0,174
10	35,7	0,475	-0,136	0,475	-0,179
11	39,2	0,488	-0,139	0,488	-0,184
12	42,7	0,500	-0,143	0,500	-0,189
13	46,2	0,511	-0,146	0,511	-0,193
14	49,7	0,522	-0,149	0,522	-0,197
15	53,2	0,532	-0,152	0,532	-0,201

12. Distribusi Beban Angin pada Kolom

Nilai tekanan beban angin yang telah dihitung sebelumnya merupakan beban luasan yang mengenai permukaan dinding. Lalu beban tersebut akan didistribusikan pada permukaan kolom menjadi beban garis (kN/m). Rekapitulasi perhitungan disajikan pada Tabel 3.18 sampai Tabel 3.25 berikut.

Tabel 3.18 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Datang Sumbu X

Elevasi (m)	K1A		K2A		K3A	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	2,5	0,644	5	1,288	5	1,288
7,7	2,5	0,766	5	1,532	5	1,532
11,2	2,5	0,853	5	1,705	5	1,705
14,7	2,5	0,921	5	1,843	5	1,843
18,2	2,5	0,979	5	1,959	5	1,959
21,7	2,5	1,030	5	2,060	5	2,060
25,2	2,5	1,075	5	2,150	5	2,150
28,7	2,5	1,115	5	2,231	5	2,231
32,2	2,5	1,153	5	2,306	5	2,306
35,7	2,5	1,187	5	2,375	5	2,375
39,2	2,5	1,219	5	2,439	5	2,439
42,7	2,5	1,250	5	2,499	5	2,499
46,2	2,5	1,278	5	2,556	5	2,556
49,7	2,5	1,305	5	2,610	5	2,610
53,2	2,5	1,331	5	2,661	5	2,661

Tabel 3.19 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Datang Sumbu X (Lanjutan)

Elevasi (m)	K4A		K5A		K6A	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	5	1,288	5	1,288	2,5	0,644
7,7	5	1,532	5	1,532	2,5	0,766
11,2	5	1,705	5	1,705	2,5	0,853
14,7	5	1,843	5	1,843	2,5	0,921
18,2	5	1,959	5	1,959	2,5	0,979
21,7	5	2,060	5	2,060	2,5	1,030
25,2	5	2,150	5	2,150	2,5	1,075
28,7	5	2,231	5	2,231	2,5	1,115
32,2	5	2,306	5	2,306	2,5	1,153
35,7	5	2,375	5	2,375	2,5	1,187
39,2	5	2,439	5	2,439	2,5	1,219
42,7	5	2,499	5	2,499	2,5	1,250
46,2	5	2,556	5	2,556	2,5	1,278
49,7	5	2,610	5	2,610	2,5	1,305
53,2	5	2,661	5	2,661	2,5	1,331

Tabel 3.20 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Pergi Sumbu X

Elevasi (m)	K1F		K2F		K3F	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	2,5	-0,243	5	-0,487	5	-0,487
7,7	2,5	-0,219	5	-0,438	5	-0,438
11,2	2,5	-0,244	5	-0,487	5	-0,487
14,7	2,5	-0,263	5	-0,527	5	-0,527
18,2	2,5	-0,280	5	-0,560	5	-0,560
21,7	2,5	-0,294	5	-0,588	5	-0,588
25,2	2,5	-0,307	5	-0,614	5	-0,614
28,7	2,5	-0,319	5	-0,637	5	-0,637
32,2	2,5	-0,329	5	-0,659	5	-0,659
35,7	2,5	-0,339	5	-0,678	5	-0,678
39,2	2,5	-0,348	5	-0,697	5	-0,697
42,7	2,5	-0,357	5	-0,714	5	-0,714
46,2	2,5	-0,365	5	-0,730	5	-0,730
49,7	2,5	-0,373	5	-0,746	5	-0,746
53,2	2,5	-0,380	5	-0,760	5	-0,760

Tabel 3.21 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Pergi Sumbu X (Lanjutan)

Elevasi (m)	K4F		K5F		K6F	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	5	-0,487	5	-0,487	2,5	-0,243
7,7	5	-0,438	5	-0,438	2,5	-0,219
11,2	5	-0,487	5	-0,487	2,5	-0,244
14,7	5	-0,527	5	-0,527	2,5	-0,263
18,2	5	-0,560	5	-0,560	2,5	-0,280
21,7	5	-0,588	5	-0,588	2,5	-0,294
25,2	5	-0,614	5	-0,614	2,5	-0,307
28,7	5	-0,637	5	-0,637	2,5	-0,319
32,2	5	-0,659	5	-0,659	2,5	-0,329
35,7	5	-0,678	5	-0,678	2,5	-0,339
39,2	5	-0,697	5	-0,697	2,5	-0,348
42,7	5	-0,714	5	-0,714	2,5	-0,357
46,2	5	-0,730	5	-0,730	2,5	-0,365
49,7	5	-0,746	5	-0,746	2,5	-0,373
53,2	5	-0,760	5	-0,760	2,5	-0,380

Tabel 3.22 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Datang Sumbu Y

Elevasi (m)	K1A		K1B		K1C	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	3	0,773	6	1,546	6	1,546
7,7	3	0,919	6	1,838	6	1,838
11,2	3	1,023	6	2,046	6	2,046
14,7	3	1,106	6	2,211	6	2,211
18,2	3	1,175	6	2,351	6	2,351
21,7	3	1,236	6	2,472	6	2,472
25,2	3	1,290	6	2,580	6	2,580
28,7	3	1,339	6	2,677	6	2,677
32,2	3	1,383	6	2,767	6	2,767
35,7	3	1,425	6	2,849	6	2,849
39,2	3	1,463	6	2,927	6	2,927
42,7	3	1,500	6	2,999	6	2,999
46,2	3	1,534	6	3,067	6	3,067
49,7	3	1,566	6	3,132	6	3,132
53,2	3	1,597	6	3,193	6	3,193

Tabel 3.23 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Datang Sumbu Y (Lanjutan)

Elevasi (m)	K1D		K1E		K1F	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	6	1,546	6	1,546	3	0,773
7,7	6	1,838	6	1,838	3	0,919
11,2	6	2,046	6	2,046	3	1,023
14,7	6	2,211	6	2,211	3	1,106
18,2	6	2,351	6	2,351	3	1,175
21,7	6	2,472	6	2,472	3	1,236
25,2	6	2,580	6	2,580	3	1,290
28,7	6	2,677	6	2,677	3	1,339
32,2	6	2,767	6	2,767	3	1,383
35,7	6	2,849	6	2,849	3	1,425
39,2	6	2,927	6	2,927	3	1,463
42,7	6	2,999	6	2,999	3	1,500
46,2	6	3,067	6	3,067	3	1,534
49,7	6	3,132	6	3,132	3	1,566
53,2	6	3,193	6	3,193	3	1,597

Tabel 3.24 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Pergi Sumbu Y

Elevasi (m)	K6A		K6B		K6C	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	3	-0,401	6	-0,802	6	-0,802
7,7	3	-0,454	6	-0,907	6	-0,907
11,2	3	-0,505	6	-1,010	6	-1,010
14,7	3	-0,546	6	-1,091	6	-1,091
18,2	3	-0,580	6	-1,160	6	-1,160
21,7	3	-0,610	6	-1,220	6	-1,220
25,2	3	-0,637	6	-1,273	6	-1,273
28,7	3	-0,661	6	-1,321	6	-1,321
32,2	3	-0,683	6	-1,366	6	-1,366
35,7	3	-0,703	6	-1,406	6	-1,406
39,2	3	-0,722	6	-1,444	6	-1,444
42,7	3	-0,740	6	-1,480	6	-1,480
46,2	3	-0,757	6	-1,514	6	-1,514
49,7	3	-0,773	6	-1,546	6	-1,546
53,2	3	-0,788	6	-1,576	6	-1,576

Tabel 3.25 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin Pergi Sumbu Y (Lanjutan)

Elevasi (m)	K6D		K6E		K6F	
	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)	Lk (m)	qWL (kN/m)
4,2	6	-0,703	6	-0,703	3	-0,351
7,7	6	-0,695	6	-0,695	3	-0,347
11,2	6	-0,773	6	-0,773	3	-0,387
14,7	6	-0,836	6	-0,836	3	-0,418
18,2	6	-0,888	6	-0,888	3	-0,444
21,7	6	-0,934	6	-0,934	3	-0,467
25,2	6	-0,975	6	-0,975	3	-0,487
28,7	6	-1,012	6	-1,012	3	-0,506
32,2	6	-1,045	6	-1,045	3	-0,523
35,7	6	-1,077	6	-1,077	3	-0,538
39,2	6	-1,106	6	-1,106	3	-0,553
42,7	6	-1,133	6	-1,133	3	-0,567
46,2	6	-1,159	6	-1,159	3	-0,580
49,7	6	-1,184	6	-1,184	3	-0,592
53,2	6	-1,207	6	-1,207	3	-0,603

3.3.3.5 Beban Gempa Respon Spektrum

Perhitungan beban gempa adalah sebagai berikut.

1. Lokasi Perencanaan

Lokasi gedung berada di Kota Magelang dengan koordinat:

Lintang Selatan (LS) $= -7,442801^\circ$

Bujur Timur (BT) $= 110,227650^\circ$

2. Kategori Resiko Bangunan Dan Faktor Keutamaan Gempa

Ditentukan berdasarkan tingkat bahaya dan fungsi bangunan yang dikategorikan menjadi:

Kategori resiko bangunan $= \text{II}$

Faktor keutamaan gempa (I_e) $= 1$

3. Parameter Percepatan Gempa Batuan Dasar

Penentuan nilai S_s dan S_1 ditentukan melalui program RSA 2021 sebagai berikut:

Percepatan batuan dasar periode 0,2 dt (S_s) $= 0,775 \text{ g}$

Percepatan batuan dasar periode 0,1 dt (S_1) $= 0,381 \text{ g}$

4. Faktor Amplifikasi

a. Klasifikasi Situs

Kelas situs diasumsikan sebagai tanah lunak (SE) berdasarkan spektrum respon tertinggi yang didapatkan melalui program RSA 2021.

b. Koefisien Situs

Koefisien situs periode 0,2 dt (F_a) $= 1,280$

Koefisien situs periode 0,1 dt (F_v) $= 2,475$

5. Percepatan Gempa Maksimum

Parameter respon percepatan periode 0,2 dt,

SMS $= F_a \cdot S_s = 0,992 \text{ g}$

Parameter respon percepatan periode 0,1 dt,

SM1 $= F_v \cdot S_1 = 0,944 \text{ g}$

6. Gempa Desain Struktur

Parameter spectral percepatan periode 0,2 dt,

SDS $= 2/3 \cdot SMS = 0,661 \text{ g}$

Parameter spectral percepatan periode 0,1 dt,

SD1 $= 2/3 \cdot SM1 = 0,629 \text{ g}$

7. Periode Getar Fundamental Struktur

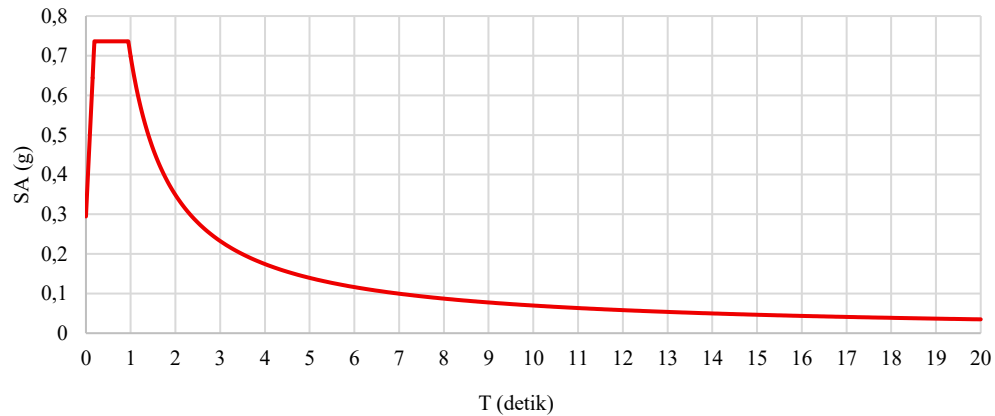
$T_0 = 0,2 (SDD1/SDS) = 0,190 \text{ detik}$

$$T_s = SD1/SDS = 0,951 \text{ detik}$$

$$\text{Periode panjang (TL)} = 20 \text{ detik}$$

8. Spektrum Respon Desain

Grafik respon spektrum lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Grafik Respon Spektrum

9. Kategori Desain Seismik (KDS)

Kategori desain seismik berdasarkan nilai SDS dan SD1 adalah D.

10. Sistem Struktur Berdasarkan KDS

Berdasarkan Pasal 18.2.1.7 SNI 2847-2019, struktur yang masuk dalam KDS D,E, dan F dapat terkena guncangan tanah yang kuat. Oleh karena itu, sistem strukturnya adalah rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, atau kombinasi keduanya, maka digunakan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus.

$$\text{Koefisien modifikasi respon (R)} = 8$$

$$\text{Faktor kuat lebih sistem} = 3$$

$$\text{Faktor pembebanan defleksi (Cd)} = 5,5$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{g \cdot I}{R} = 1,226 \text{ m/sec}^2$$

3.3.3.6 Beban Gempa *Time History*

Pada penelitian ini digunakan satu rekaman gempa yang memiliki nilai PGA mendekati PGA lokasi penelitian. Hal ini dilakukan karena penelitian difokuskan pada perbandingan respon struktur, bukan evaluasi kinerja seismik secara menyeluruh. Berdasarkan kondisi tektonik wilayah Jawa Tengah, sumber gempa yang paling dominan mempengaruhi wilayah Magelang berasal dari gempa sesar

aktif. Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia (2024), magnitudo dan jarak gempa akibat sesar aktif di wilayah Magelang dapat dilihat pada Tabel 3.26 berikut. Adapun rekaman riwayat gempa diambil dari *website* PEER Gound Motion Database.

Tabel 3.26 Magnitudo dan Jarak pada Lokasi Penelitian

Sumber	Magnitudo	Jarak (km)
	0.2 detik	0.2 detik
Shallow Crustal	5,8-6	30-40

3.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan merupakan desain kekuatan ultimit. Kombinasi pembebanan untuk desain kekuatan ultimit mengacu pada SNI 1727:2020 pasal 2.3. Kombinasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.27.

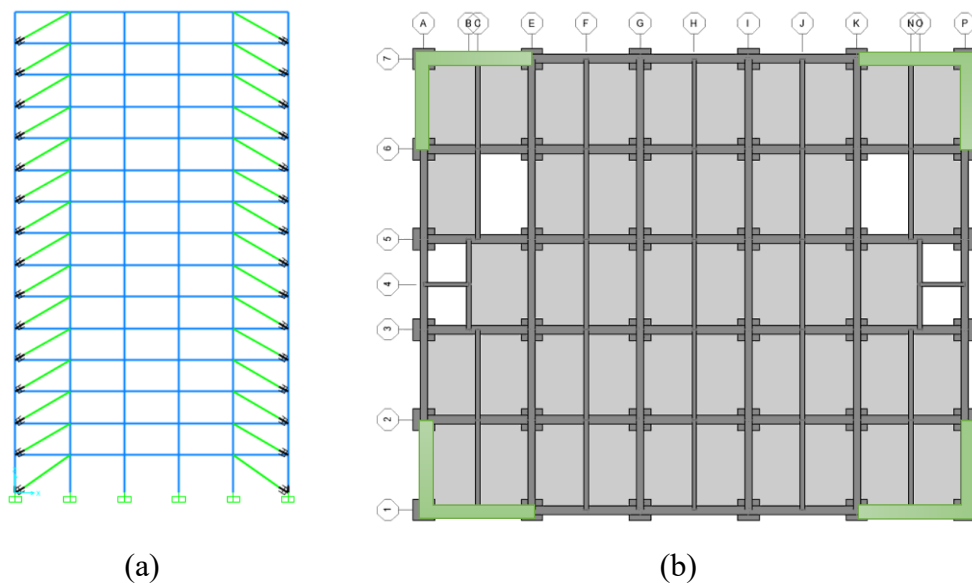
Tabel 3.27 Kombinasi Pembebanan untuk Desain Kekuatan Ultimit

Persamaan	DL	SDL	LL	Lr	R	W _x	W _y	Ex	Ey
1	1,40	1,40							
2	1,20	1,20	1,60	0,50					
	1,20	1,20	1,60		0,50				
3	1,20	1,20	1,00	1,60					
	1,20	1,20		1,60		0,50			
	1,20	1,20		1,60			0,50		
	1,20	1,20		1,60		0,38	0,38		
	1,20	1,20	1,00		1,60				
	1,20	1,20			1,60	0,50			
	1,20	1,20			1,60		0,50		
	1,20	1,20			1,60	0,38	0,38		
4	1,20	1,20	1,00	0,50		1,00			
	1,20	1,20	1,00	0,50			1,00		
	1,20	1,20	1,00	0,50		0,75	0,75		
	1,20	1,20	1,00		0,50	1,00			
	1,20	1,20	1,00		0,50		1,00		
	1,20	1,20	1,00		0,50	0,75	0,75		
5	0,90	0,90				1,00			
	0,90	0,90					1,00		
	0,90	0,90				0,75	0,75		
6	1,33	1,33	1,00					1,30	0,39
	1,33	1,33	1,00					1,30	-0,39

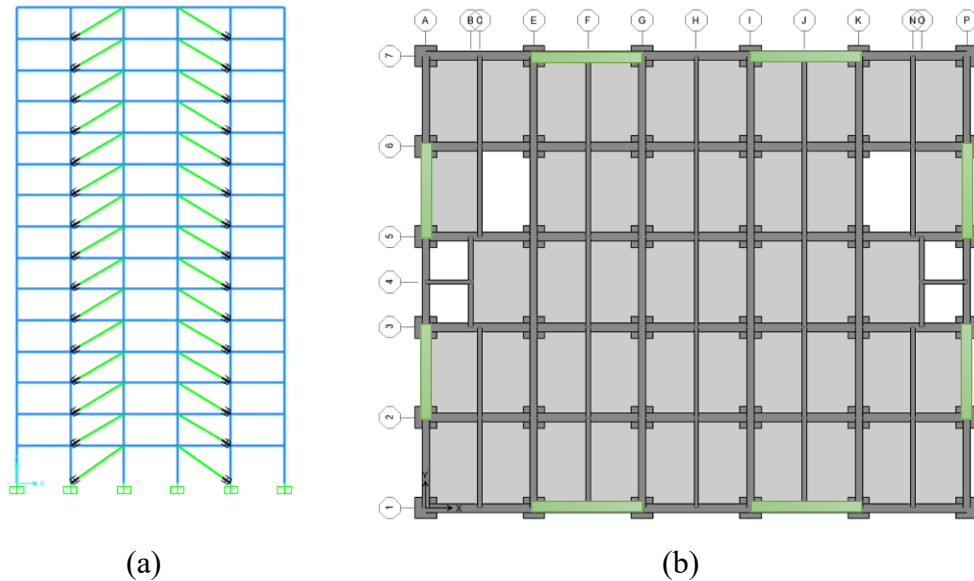
Persamaan	DL	SDL	LL	Lr	R	W _x	W _y	E _x	E _y
	1,33	1,33	1,00					-1,30	0,39
	1,33	1,33	1,00					-1,30	-0,39
	1,33	1,33	1,00					0,39	1,30
	1,33	1,33	1,00					-0,39	1,30
	1,33	1,33	1,00					0,39	-1,30
	1,33	1,33	1,00					-0,39	-1,30
7	0,77	0,77						1,30	0,39
	0,77	0,77						1,30	-0,39
	0,77	0,77						-1,30	0,39
	0,77	0,77						-1,30	-0,39
	0,77	0,77						0,39	1,30
	0,77	0,77						-0,39	1,30
	0,77	0,77						0,39	-1,30
	0,77	0,77						-0,39	-1,30

3.3.5 Penambahan *Fluid Viscous Damper* pada Struktur

Dilakukan pemodelan struktur gedung dengan FVD pada *software* SAP2000. Dibuat dua pemodelan struktur dengan spesifikasi identik: Model 1 dengan penempatan FVD di kedua tepi gedung dan Model 2 dengan penempatan FVD di tengah gedung. Terdapat 6 kolom pada setiap sisi gedung dengan jarak antar kolom 6 m pada sumbu x dan 5 m pada sumbu y. Pemodelan struktur dengan FVD dapat dilihat dalam Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.11 Modeling Penempatan FVD Model 1: (a) Tampak Samping dan (b) Tampak Atas



Gambar 3.12 Modeling Penempatan FVD Model 2: (a) Tampak Samping dan (b) Tampak Atas

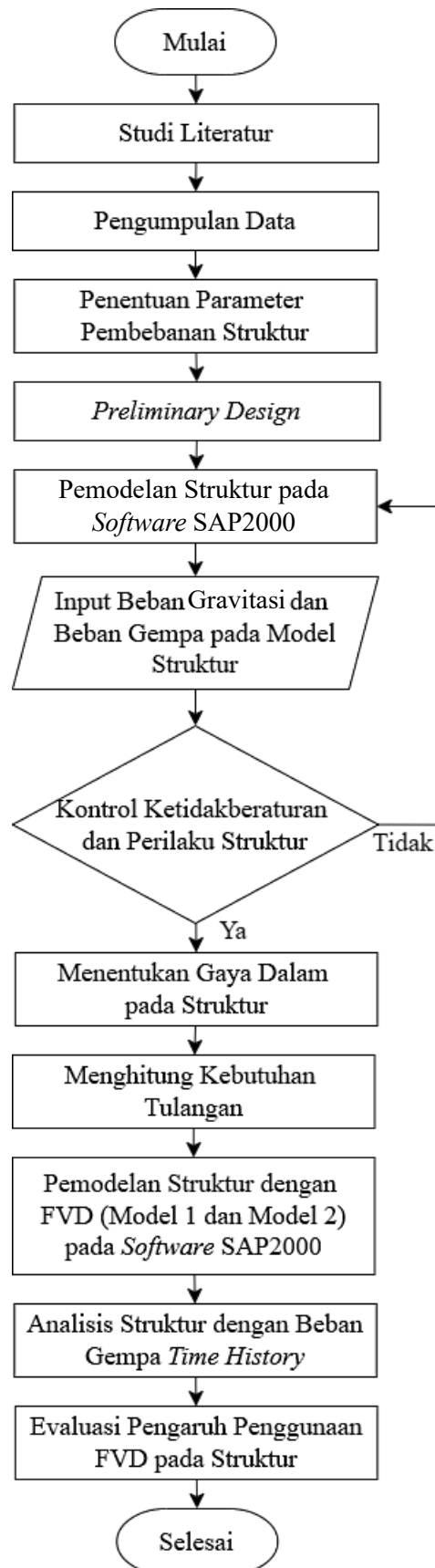
3.4 Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data yang relevan dengan topik penelitian. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa respon spektra pada Lokasi penelitian yang diperoleh dari situs RSA Cipta Karya. Selanjutnya dilakukan penentuan parameter pembebanan struktur berupa beban gravitasi (beban hidup, beban mati, beban kombinasi) dan beban gempa (respon spektra) yang mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019.

Setelah pembebanan ditentukan, dilakukan *preliminary design* elemen struktur berupa balok, pelat, dan kolom sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019. Pemodelan struktur gedung tanpa FVD dilakukan dengan *software* SAP2000 *Student Version*. Setelah menginput beban gravitasi dan beban gempa, dilakukan *run analysis* pada *software*. Hasil *running* tersebut kemudian dicek terhadap ketidakberaturan dan perilaku struktur berdasarkan SNI 1726:2019.

Apabila terdapat ketidaksesuaian, penelitian diulang kembali pada tahap pemodelan struktur dengan *software*. Setelah struktur dinyatakan memenuhi ketentuan, penelitian dilanjutkan dengan penentuan gaya dalam struktur dan perhitungan kebutuhan tulangan.

Tahap selanjutnya adalah pemodelan struktur dengan penambahan FVD pada *software* SAP2000. Pemodelan ini dibagi menjadi dua variasi, yaitu Model 1 dengan penempatan FVD pada kedua tepi gedung dan Model 2 dengan penempatan FVD di tengah gedung. Kedua model tersebut kemudian dianalisis menggunakan pembebanan gempa *time history* dengan metode *Linear Time History Analysis* (LTHA). Selanjutnya dilakukan evaluasi pengaruh penggunaan FVD terhadap respons struktur pada Model 1 dan Model 2. Diagram alir penelitian secara keseluruhan disajikan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Bagan Alir Penelitian