

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi struktur gedung beton bertulang yang direncanakan berada di Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Secara koordinat terletak pada -7,053597 Lintang Selatan dan 110,437915 Bujur Timur. Kondisi lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang diambil menggunakan Google Earth.



Gambar 3.1 Lokasi Perencanaan Gedung Perkantoran 8 Lantai

3.2 Data Teknis

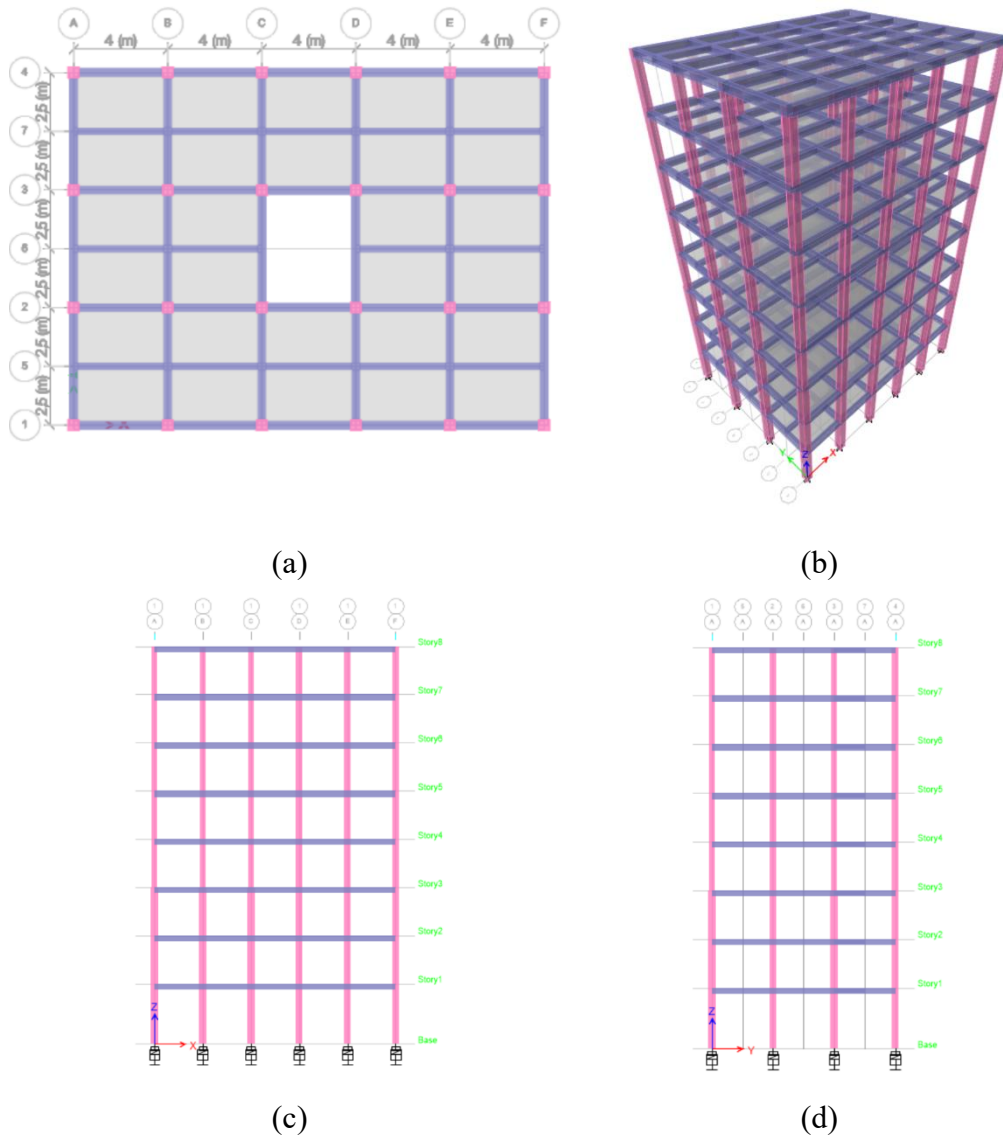
3.2.1 Data Teknis Bangunan

Data teknis yang digunakan merupakan struktur portal dengan pembebanan yang disesuaikan sebagai fungsi bangunan perkuliahan dengan material baja.

Fungsi Bangunan	: Gedung Perkantoran
Jumlah lantai	: 8 lantai
Tinggi tiap lantai	: 4 m
Tinggi Bangunan	: ± 32 m
Material Struktur Utama	: Beton Bertulang
Lokasi Gedung	: Kota Semarang

Zona Gempa : Zona Gempa 3

f_y (tegangan leleh baja) : 410 Mpa (ulir)



Gambar 3.2 Model Rencana Struktur; (a). Denah, (b). Tampak 3D, (c). Tampak Samping (sumbu x-z), dan (d) Tampak Depan (sumbu y-z)

3.2.2 Mutu Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 19.2.1.1 telah diatur untuk kegunaan 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 $f'_c = 27,5$ MPa untuk struktur pelat, balok dan struktur horizontal lainnya. Sedangkan untuk struktur vertikal seperti kolom digunakan mutu beton $f'_c = 30$ 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.

3.2.4 Preliminary Design

Tahapan *preliminary design* merupakan proses awal untuk menentukan dimensi dan konfigurasi elemen struktur utama secara teoritis. Elemen struktur yang direncanakan yaitu dimensi balok, kolom, dan pelat. Proses *preliminary design* mengacu pada SNI 2847:2019.

3.2.4.1 Preliminary Design Balok

Dimensi balok direncanakan seragam pada seluruh lantai bangunan. Penentuan tinggi minimum balok mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1, sedangkan lebar minimum balok ditentukan berdasarkan ketentuan pada Pasal 18.6.2. Tahapan berikutnya merupakan perhitungan dimensi awal balok yang digunakan sebagai dasar perencanaan struktur.

Panjang bentang	= 5000 mm
Asumsi kondisi perletakan	= Perletakan sederhana
Tinggi minimum penampang	= $L/16 = 5000/16 = 312,5$ mm
Tinggi penampang rencana (h)	= 500 mm
Lebar penampang balok harus sekurangngnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm:	
Asumsi lebar balok (b_w) digunakan 350 mm	

$$0,3 h = 0,3 \times 500 = 150 \text{ mm}$$

350 mm > 120 mm dan 250 mm (OK)

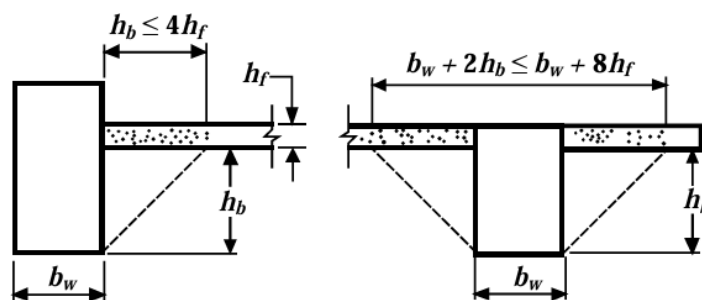
Perhitungan dimensi balok anak dilakukan dengan prosedur yang sama seperti perhitungan *preliminary design* balok induk. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh rekapitulasi dimensi awal balok yang digunakan dalam perencanaan struktur:

Tabel 3.1 Rekapitulasi Dimensi Hasil *Preliminary Design* Balok

Tipe	L (mm)	h _{desain} (mm)	b _{desain} (mm)
Balok Induk 1	5000	500	350
Balok Induk 2	4000	500	350
Balok Anak	4000	400	300

3.2.4.2 Preliminary Design Pelat

Ketebalan pelat dua arah ditentukan mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1. Selanjutnya, penentuan bagian pelat yang diperhitungkan sebagai elemen yang bekerja bersama balok (*effective slab width*) mengacu pada Pasal 8.4.1.8, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagian Pelat yang Dimasukkan ke Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang balok arah x (Lx)} &= 4000 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok arah y (Ly)} &= 5000 \text{ mm} \\
 \text{Rasio jarak terpanjang dan terpendek} &= L_{\max}/L_{\min} \\
 &= Ly/Lx \\
 &= 0,8 < 2, \text{ maka pelat dua arah.}
 \end{aligned}$$

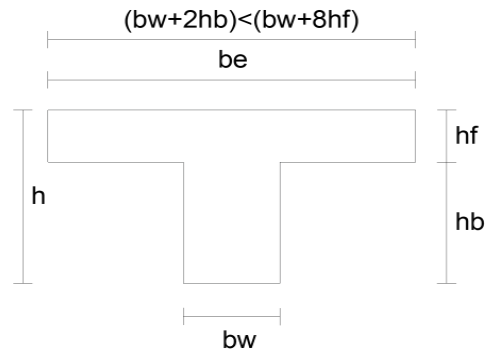
Estimasi Tebal Pelat (h_f) = 120 mm

Perhitungan nilai rasio kekakuan rata rata:

Untuk Balok Induk 1

Lebar penampang balok (b_w) = 350 mm

Tinggi penampang total (h) = 500 mm



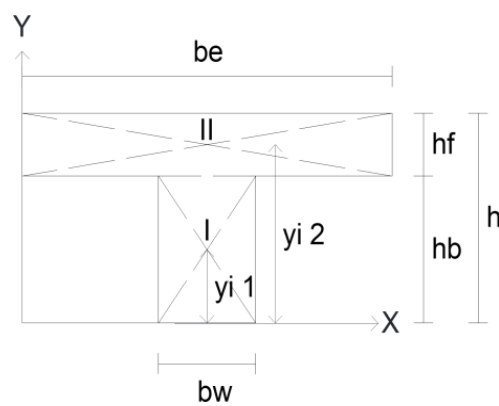
Gambar 3.4 Dimensi Efektif Balok

$$h_b = h - h_f = 380 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 1110 \text{ mm}$$

$$\text{Kontrol} \quad = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$

$$= 1110 \leq 1310 \text{ (Oke)}$$



Gambar 3.5 Titik Berat Penampang Balok

Berdasarkan Gambar 3.5, titik berat penampang balok bisa diketahui melalui perhitungan konvensional dengan nilai yang dibutuhkan yaitu:

Tabel 3.2 Data Nilai Perhitungan Titik Berat

No.	A (mm ²)	yi (m)	Ay (mm ³)
1.	133000	190	25270000
2.	133200	440	58608000
Σ	266200		83878000

Maka, titik berat penampang balok adalah:

$$(\bar{y}) = \frac{(A1 \cdot y_{i1}) + (A2 \cdot y_{i2})}{\Sigma A} = 315,09 \text{ mm}$$

Jarak antara titik berat bidang terhadap titik berat penampang:

$$y_1 = \bar{y} - y_{i1} = 125,09 \text{ mm}$$

$$y_2 = \bar{y} - y_{i2} = 124,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia balok (I}_{b1}) &= \left[\left(\frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_b^3 \right) + (A1 \cdot y_1) \right] + \\ &= \left[\left(\frac{1}{12} \cdot b_e \cdot h_f^3 \right) + (A2 \cdot y_2) \right] \\ &= 1793548315 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia pelat 1 (I}_{s1}) = \frac{1}{12} \cdot L_y \cdot h_f^3 = 720000000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton} \\ \text{balok 1 (E}_{cb1}) &= 4700 \sqrt{f_c'} = 24647,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton} \\ \text{pelat 1 (E}_{cb1}) &= 4700 \sqrt{f_c'} = 24647,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio kekakuan balok 1} \\ \text{terhadap pelat 1 (}\alpha_{f1}\text{)} &= \frac{E_{cb1} \cdot I_{b1}}{E_{cs1} \cdot I_{s1}} = 2,49 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio kekakuan balok 2} &= \frac{E_{cb2} \cdot I_{b2}}{E_{cs2} \cdot I_{s2}} \\
 \text{terhadap pelat 2 } (\alpha_{f2}) &= \frac{24647,01 \times 1793548315}{24647,01 \times 576000000} = 3,11
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio kekakuan balok 3} &= \frac{E_{cb3} \cdot I_{b3}}{E_{cs3} \cdot I_{s3}} \\
 \text{terhadap pelat 3 } (\alpha_{f3}) &= \frac{24647,01 \times 691163076,9}{24647,01 \times 576000000} = 1,2
 \end{aligned}$$

Didapat,

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rasio kekakuan rata –} &= \frac{2,49 + 3,11 + 1,2}{3} = 2,27 \\
 \text{rata } (\alpha_{fm}) &
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal minimum pelat } (h_{min}) &= \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \\
 &= \frac{4000 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9(1,75)} = 85,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan keseragaman akan digunakan pelat dengan tebal 120 mm.

3.2.4.3 Preliminary Design Kolom

Pada perencanaan kolom perlu diketahui terlebih dahulu beban yang terdapat pada struktur, untuk nilai pembebanan yang dimasukkan ke elemen ini diambil berdasarkan SNI 1727:2020. Pada desain awal beban yang direncanakan hanya mencakup 3 beban saja yaitu beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup. Sedangkan, untuk analisis struktur selanjutnya akan ditambahkan beban gempa sebagai beban dinamik struktur.

1. Beban Mati (DL)

$$\text{Berat Jenis material beton bertulang} = 23,536 \text{ kN/m}^3$$

2. Beban Mati Tambahan (SDL)

Penggantung Langit-langit, Baja	= 0,10 kN/m ²
Plafond (<i>Ascoustical Fiberboard</i>)	= 0,05 kN/ m ²
Instalasi Listrik	= 0,10 kN/ m ²
Pipa Air Bersih dan Kotor	= 0,10 kN/ m ²
Lapisan <i>Waterproffing</i>	= 0,05 kN/ m ²
Keramik <i>Quarry Tile</i> (19 mm)	= 1,10 kN/ m ²

3. Beban Hidup (LL)

Lantai 1 dan Lantai 2-7	= 4,79 kN/m ² dan 2,40 kN/m ²
Atap (dak)	= 0,96 kN/m ²
Partisi	= 0,72 kN/m ²
Genangan Air Hujan (1cm)	= 9,7 kN/m ³ x 0,01 m = 0,1 kN/m ² .

Kolom yang berada di bawah akan memikul beban lebih besar daripada kolom di atasnya, maka dari itu, dimensi kolom akan diperkecil pada lantai ke-4.

Untuk 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	Berat (kN)
1. Lantai 10 (Atap)					
a. Beban Mati (DL)				(kN/m³)	
Pelat Atap	4,00	5,00	0,12	23,54	56,50
Balok Induk	9,00	0,35	0,50	23,54	37,08
Balok Anak	8,00	0,30	0,40	23,54	22,60
b. Beban Mati Tambahan (SDL)				(kN/m²)	
Penggantung langit-langit (baja)	4,00	5,00		0,10	2,00
Plafond (papan serat akustik)	4,00	5,00		0,05	1,00

Komponen Beban	p (m)	l (m)	t (m)	Berat Jenis	Berat (kN)
Instalasi Listrik	4,00	5,00		0,10	2,00
Pipa Air Bersih dan Kotor	4,00	5,00		0,10	2,00
Lapisan <i>Waterproffing</i>	4,00	5,00		0,05	1,00
Total Berat					124,17
2. Lantai 10 (Atap)					
a. Beban Mati (DL)				(kN/m³)	
Pelat Lantai	4,00	5,00	0,12	23,54	56,50
Balok Induk	9,00	0,35	0,50	23,54	37,08
Balok Anak	8,00	0,30	0,40	23,54	22,60
b. Beban Mati Tambahan (SDL)				(kN/m²)	
Keramik 1,9 cm	4,00	5,00		1,10	22,0
Penggantung langit-langit (baja)	4,00	5,00		0,10	2,00
Plafond (papan serat akustik)	4,00	5,00		0,05	1,00
Instalasi Listrik	4,00	5,00		0,10	2,00
Pipa Air Bersih dan Kotor	4,00	5,00		0,10	2,00
Lapisan <i>Waterproffing</i>	4,00	5,00		0,05	1,00
Total Berat					146,17

Tabel 3.4 Distribusi Beban Hidup yang Ditahan Kolom

Komponen Beban	p (m)	l (m)	t (m)	Berat Jenis (kN/m ²)	Berat (kN)
1. Lantai 10 (Atap)					
Atap (dak)	4,00	5,00		0,96	19,20
Genangan Air Hujan (1cm)	4,00	5,00	0,01	9,70	1,94
Total Berat					21,14
2. Lantai 1					
Partisi	4,00	5,00		0,72	14,40
Ruang Pertemuan / Meeting	4,00	5,00		4,79	95,80
Total Berat					110,20
3. Lantai 2-7					
Partisi	4.00	5.00		0.72	14.40
Ruang Pertemuan / Meeting	4.00	5.00		2.40	48.00
Total Berat					62.40

Beban yang sudah diketahui harus dikumulatitkan untuk melihat kondisi struktur maksimal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Kombinasi Beban Per Lantai

Lantai	DL + SDL (kN)	LL (kN)	Kombinasi Pembebanan (kN)	Kumulatif (kN)
			1,2DL + 1,2SIDL + 1,6LL	
Atap	124,17	21,14	182,83	
7	146,17	62,40	275,24	182,83

Lantai	DL + SDL (kN)	LL (kN)	Kombinasi Pembebanan (kN)	Kumulatif (kN)
			1,2DL + 1,2SIDL + 1,6LL	
6	146,17	62,40	275,24	458,07
5	146,17	62,40	275,24	733,32
4	146,17	62,40	275,24	1008,56
3	146,17	62,40	275,24	1283,80
2	146,17	62,40	275,24	1559,05
1	146,17	110,20	351,72	1834,29
GF	0,00	0,00		2186,02

Kemudian perhitungan *preliminary design* dapat dilakukan seperti pada Tabel 3.9. Pada penelitian ini dimensi kolom dianggap seragam.

Tabel 3.6 Perhitungan *Preliminary design* Kolom

Lantai	Pu (N)	A (Pu/0,3f'c) (mm ²)	Sisi Kolom Rencana (mm)		Sisi Kolom Aktual (mm)	
			p	l	p	l
8	182827,88	20314,21	142,53	142,53	500	500
7	458071,76	50896,86	225,60	225,60		
6	733315,64	81479,52	285,45	285,45		
5	1008559,52	112062,17	334,76	334,76		
4	1283803,40	142644,82	377,68	377,68		
3	1559047,28	173227,48	416,21	416,21	600	600
2	1834291,16	203810,13	451,45	451,45		
1	2186015,04	242890,56	492,84	492,84		

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa satu unit laptop dengan spesifikasi prosesor AMD Ryzen 5-5500U, RAM 8 GB, sistem operasi 64-bit, serta perangkat lunak ETABS v19, MS Word, dan MS Excel.

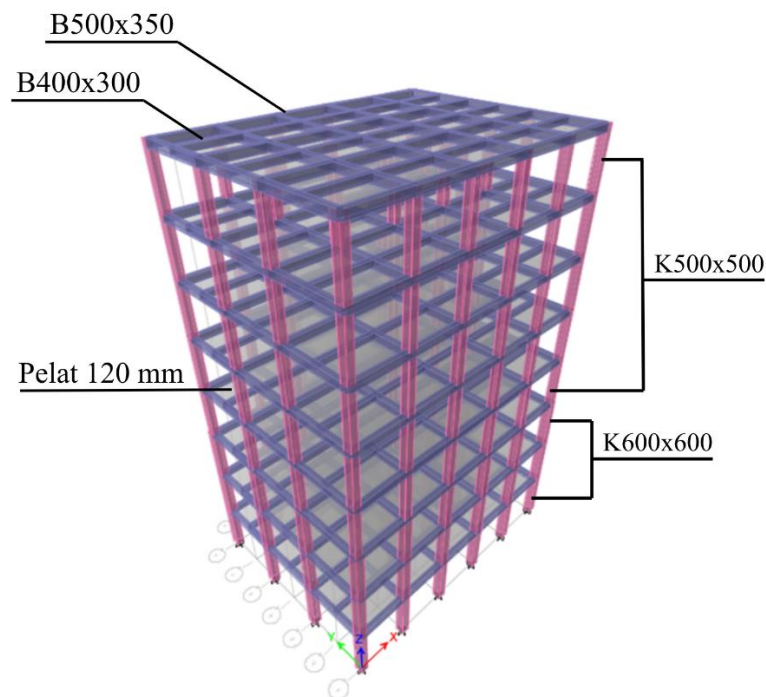
Bahan penelitian berupa referensi teknis yang mendukung perhitungan dan analisis struktur yang mengacu pada SNI 1727-2020, SNI 1726 2019, dan SNI 2847-2019. Selain itu, bahan penelitian juga mencakup manual dan panduan teknis resmi dari *Computers and Structures, Inc. (CSI)* mengenai penggunaan perangkat lunak ETABS versi 18.

3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Pemodelan Struktur *Fixed-Base* pada *Software* ETABS

Pemodelan ini menggunakan sistem perletakan jepit, tujuannya untuk perencanaan beban gempa sesuai dengan aturan SNI 1726:2019 pasal 7.7.1. Perletakan jepit adalah perletakan yang menciptakan kondisi kaku / monolit. Perletakan ini mempunyai beberapa sifat yaitu mampu menahan momen, gaya horizontal dan gaya vertikal sehingga tidak dapat bergerak ke arah horizontal, vertikal dan juga tidak berputar. Pemodelan elemen pelat, balok, dan kolom *fixed-base* ini disusun berdasarkan tahap *preliminary design*.

Pemodelan struktur *fixed-base* bertujuan untuk mendapatkan berat total bangunan dan beban aksial yang dimiliki oleh satu titik kolom bangunan yang berguna untuk perencanaan dimensi *base isolator*. Model struktur *fixed-base* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Model 3D Struktur *Fixed-Base* pada ETABS

3.5.2 Pembebanan Struktur

Berat sendiri elemen struktur akan dihitung secara otomatis oleh *software* ETABS, dengan berat jenis material beton bertulang 23,536 kN/m³.

3.5.2.1 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan mengacu pada SNI 1727:2020. Beban mati tambahan yang akan diinputkan pada struktur pelat lantai dan atap adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Beban Mati Tambahan per m² pada Pelat Lantai 1-7

No.	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1.	<i>Finishing</i> (keramik), 1,9 cm diatas mortar 2,5 mm	1,10
2.	Penggantung langit-langit (material baja)	0,10
3.	Plafond (papan serat akustik)	0,05
4.	Instalasi Listrik	0,10
5.	Pipa Air Bersih dan Kotor	0,10
6.	<i>Ducting</i> mekanikal (ventilasi udara)	0,19
Total		1,64

Tabel 3.8 Beban Mati Tambahan per m² pada Pelat Atap

No.	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1.	Penggantung langit-langit (material baja)	0,10
2.	Plafond (papan serat akustik)	0,05
3.	Instalasi Listrik	0,10
4.	Pipa Air Bersih dan Kotor	0,10
5.	<i>Ducting</i> mekanikal (ventilasi udara)	0,19
6.	Lapisan <i>Waterproffing</i>	0,05
Total		0,59

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

Beban dinding $\frac{1}{2}$ bata = 1,87 kN/m² (SNI 1727:2020 Lampiran C3.1)

Karena akan menggunakan hebel, maka diasumsikan beban hebel merupakan setengah dari beban $\frac{1}{2}$ bata.

Beban dinding hebel = 0,94 kN/m²

Plesteran di kedua sisi = 0,48 kN/m² (SNI 1727:2020 Lampiran C3.1)

Berat *curtain wall* kaca = 0,38 kN/m² (SNI 1727:2020 Lampiran C3.1)

Dengan tinggi antar lantai (h) sebesar 4 m, didapat:

Beban dinding pada balok induk:

Tinggi balok = 0,5 m

Tinggi dinding = 3,5 m

Beban dinding = $(0,94 + 0,48) \times 3,5 = 4,97$ kN/m²

Beban *curtain wall* = $0,38 \times 3,5 = 1,33$ kN/m

Selanjutnya beban lift akan diinputkan pada balok penggantung dalam bentuk beban terpusat. Lift yang direncanakan adalah merek Sigma type IRIS dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.9 Spesifikasi Lift

Speed (m/sec)	Capacity (person/kg)		Reaction Static Load			
	Person	Load	R1	R2	R3	R4
1	11	750	4550	2900	5200	3750

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.6.3, beban mesin pada perencanaan struktur harus diperhitungkan dengan faktor penambahan akibat impak. Untuk mesin dengan gerakan maju–mundur atau unit bertenaga motor, termasuk sistem lift, beban kerja dinaikkan sebesar 50% dari berat mesin untuk mengakomodasi efek dinamis selama operasi. Maka, perhitungan pembebanan pada balok penggantung untuk beban lift sebagai berikut:

$$\text{Panjang balok penggantung (L)} = 2,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R_a &= R_1 \times 150\% \\ &= 4550 \times 150\% \\ &= 6825 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= R_2 \times 150\% \\ &= 2900 \times 150\% \\ &= 4350 \text{ kg} \end{aligned}$$

Lift yang direncanakan berjumlah 2 buah dengan posisi berdampingan dengan ukuran *lift* yang seragam. Maka beban yang akan diinput pada balok penggantung merupakan beban titik.

$$\Sigma M_b = 0$$

$$0 = 2,5 \cdot 6825 - P_u \cdot x$$

$$P_u = \frac{17062,5}{x}$$

$$\Sigma M_a = 0$$

$$0 = 2,5 \cdot 4350 - P_u \cdot (2,5 - x)$$

$$0 = 10875 - \frac{17062,5}{x} \cdot (2,5 - x)$$

$$x = 1,53 \text{ m}$$

$$P_u = \frac{17062,5}{1,53} = 11152 \text{ kg} = 109,4 \text{ kN}$$

3.5.2.2 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 tabel 4.3.1 adalah sebagai berikut.

Tabel 3.10 Beban Hidup per m² pada Pelat

No.	Jenis Beban	Berat kN/m ²
1.	Lantai 1	4,79
2.	Lantai 2 - 7	2,40
3.	Atap (dak)	0,96
4.	Partisi	0,72
5.	Genangan air hujan (1 cm)	0,10

Kemudian beban lift akan diinputkan pada balok dalam bentuk beban terpusat, dengan berat sebagai berikut:

$$\text{Elevator machine room} = 7,18 \text{ kN/m}^2 \text{ (SNI 1727-2020 Tabel 4.3-1)}$$

$$\text{Dudukan mesin elevator} = 1,33 \text{ kN (SNI 1727-2020 Tabel 4.3-1)}$$

$$\text{Kapasitas lift (perkantoran)} = 7,36 \text{ kN (SNI 6573-2001 Tabel 4.4.3:B)}$$

Beban lift pada balok penggantung:

$$\text{Panjang balok penggantung lift 1} = 5 \text{ m}$$

Karena lift yang digunakan berjumlah 3, maka:

$$1/3 \text{ Panjang balok penggantung} = 1/3 \cdot 5 = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Maka beban terpusat mesin lift (P)} = 7,18 \times 1,67 \times 1,4 = 16,78 \text{ kN}$$

$$\text{Beban total (P}_{\text{total}}\text{) untuk 1 lift} = 1,33 + 7,36 + 16,78 = 25,48 \text{ kN}$$

3.5.2.3 Beban Angin

Ketentuan beban minimum yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya mengacu pada SNI 1727:2020. Adapun perhitungan beban angin dilakukan 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

Mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 26.7.2 dan Pasal 26.7.3, kondisi lingkungan bangunan diklasifikasikan sebagai kategori kekasaran permukaan B karena berada di kawasan perkotaan, sehingga eksposur angin yang digunakan adalah 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 ketertutupan bangunan yaitu bangunan gedung tertutup sebesar:

Untuk angin arah datang

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

Untuk angin arah pergi

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

8. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

Berdasarkan SNI 1727-2020, Tabel 26.10-1, digunakan interpolasi untuk menghitung nilai ini pada masing masing lantai, sebagai berikut:

Tabel 3.11 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Lantai	Elevasi (m)	K _z
1	5	0,583
2	9	0,697
3	13	0,773
4	17	0,836
5	21	0,886
6	25	0,936
7	29	0,975
8	33	1,010

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 berikut.

Tabel 3.12 Perhitungan Tekanan Kecepatan

Lantai	Elevasi (m)	q _z (kN/m ²)
1	5	0,475
2	9	0,486
3	13	0,581
4	17	0,645
5	21	0,697
6	25	0,739
7	29	0,780
8	33	0,813

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 berikut.

Tabel 3.13 Perhitungan Beban Angin

Lantai	Elevasi (m)	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	5	0,256	-0,091	0,256	-0,132
2	9	0,306	-0,109	0,306	-0,158
3	13	0,340	-0,121	0,340	-0,175
4	17	0,367	-0,130	0,367	-0,190
5	21	0,389	-0,138	0,389	-0,201
6	25	0,411	-0,146	0,411	-0,212
7	29	0,428	-0,152	0,428	-0,221
8	33	0,444	-0,157	0,444	-0,229

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 berikut.

Tabel 3.14 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin pada Kolom di Sisi Angin
Datang Sumbu x

Elevasi (m)	K1A		K2A		K3A		K4A	
	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)
5	2,5	0,640	5	1,281	5	1,281	2,5	0,640
9	2,5	0,766	5	1,531	5	1,531	2,5	0,766
13	2,5	0,849	5	1,698	5	1,698	2,5	0,849
17	2,5	0,918	5	1,836	5	1,836	2,5	0,918
21	2,5	0,973	5	1,946	5	1,946	2,5	0,973
25	2,5	1,028	5	2,056	5	2,056	2,5	1,028
29	2,5	1,071	5	2,142	5	2,142	2,5	1,071
33	2,5	1,109	5	2,219	5	2,219	2,5	1,109

Tabel 3.15 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin pada Kolom di Sisi Angin
Pergi Sumbu x

Elevasi (m)	K1F		K2F		K3F		K4F	
	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)
5	2,5	-0,227	5	-0,454	5	-0,454	2,5	-0,227
9	2,5	-0,272	5	-0,543	5	-0,543	2,5	-0,272
13	2,5	-0,301	5	-0,603	5	-0,603	2,5	-0,301
17	2,5	-0,326	5	-0,652	5	-0,652	2,5	-0,326
21	2,5	-0,345	5	-0,691	5	-0,691	2,5	-0,345
25	2,5	-0,365	5	-0,730	5	-0,730	2,5	-0,365
29	2,5	-0,380	5	-0,760	5	-0,760	2,5	-0,380
33	2,5	-0,394	5	-0,787	5	-0,787	2,5	-0,394

Tabel 3.16 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin pada Kolom di Sisi Angin
Datang Sumbu y

Elevasi (m)	K1A		K1B		K1C	
	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)
5	2	0,512	4	1,025	4	1,025
9	2	0,612	4	1,225	4	1,225
13	2	0,679	4	1,358	4	1,358
17	2	0,735	4	1,469	4	1,469
21	2	0,779	4	1,557	4	1,557
25	2	0,822	4	1,645	4	1,645
29	2	0,857	4	1,713	4	1,713
33	2	0,887	4	1,775	4	1,775

Tabel 3.17 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin pada Kolom di Sisi Angin
Datang Sumbu y (Lanjutan)

Elevasi (m)	K1D		K1E		K1F	
	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)
5	4	1,025	4	1,025	2	0,512
9	4	1,225	4	1,225	2	0,612
13	4	1,358	4	1,358	2	0,679
17	4	1,469	4	1,469	2	0,735
21	4	1,557	4	1,557	2	0,779
25	4	1,645	4	1,645	2	0,822
29	4	1,713	4	1,713	2	0,857
33	4	1,775	4	1,775	2	0,887

Tabel 3.18 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin pada Kolom di Sisi Angin
Pergi Sumbu y

Elevasi (m)	K4A		K4B		K4C	
	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)
5	2	-0,264	4	-0,529	4	-0,529
9	2	-0,316	4	-0,632	4	-0,632
13	2	-0,351	4	-0,701	4	-0,701
17	2	-0,379	4	-0,758	4	-0,758
21	2	-0,402	4	-0,804	4	-0,804
25	2	-0,424	4	-0,849	4	-0,849
29	2	-0,442	4	-0,884	4	-0,884
33	2	-0,458	4	-0,916	4	-0,916

Tabel 3.19 Rekapitulasi Distribusi Beban Angin pada Kolom di Sisi Angin
Pergi Sumbu y (Lanjutan)

Elevasi (m)	K4D		K4E		K4F	
	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)	L _k (m)	q _{WL} (kN/m)
5	4	-0,529	4	-0,529	2	-0,264
9	4	-0,632	4	-0,632	2	-0,316
13	4	-0,701	4	-0,701	2	-0,351
17	4	-0,758	4	-0,758	2	-0,379
21	4	-0,804	4	-0,804	2	-0,402
25	4	-0,849	4	-0,849	2	-0,424
29	4	-0,884	4	-0,884	2	-0,442
33	4	-0,916	4	-0,916	2	-0,458

3.5.2.4 Beban Gempa Respon Spektrum

1. Lokasi Perencanaan

Lokasi gedung berada di Tembalang, Kota Semarang dengan koordinat:

$$\text{Lintang Selatan (LS)} = -7,053597$$

$$\text{Bujur Timur (BT)} = 110,437915$$

2. Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan

Ditentukan berdasarkan tingkat bahaya dan fungsi bangunan yang dikategorikan menjadi:

$$\text{Kategori resiko bangunan} = \text{II}$$

$$\text{Faktor keutamaan gempa (I}_e\text{)} = 1$$

3. Parameter Percepatan Gempa Batuan Dasar

$$\text{Percepatan Batuan Dasar Periode 0,2 dt (Ss)} = 0,8896 \text{ g}$$

$$\text{Percepatan Batuan Dasar Periode 1,0 dt (S1)} = 0,3799 \text{ g}$$

4. Faktor Amplifikasi

$$\text{Jenis Tanah} = \text{Tanah Lunak}$$

$$\text{Koefisien Situs Periode 0,2 dt (Fa)} = 1,19 \text{ g}$$

$$\text{Koefisien Situs Periode 1,0 dt (Fv)} = 2,48 \text{ g}$$

Hasil koefisien tersebut didapat berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan garis dengan variabel pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 dengan penentuan nilai sebelum dan sesudah sesuai dengan nilai Ss.

5. Percepatan Gempa Maksimum

Parameter Respon Percepatan pada Saat Periode 0,2 dt:

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,19 \times 0,8896 \\ &= 1,06 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter Respon Percepatan pada Saat Periode 1,0 dt:

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S1 \\ &= 2,48 \times 0,3799 \\ &= 0,94 \text{ g} \end{aligned}$$

6. Gempa Desain Struktur

Periode Ulang Gempa = $\frac{2}{3}$ dari 2500 tahun

Parameter Spektral Percepatan pada Saat Perioda 0,2 dt:

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \times S_{MS} \\ &= 2/3 \times 1,06 \\ &= 0,71 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter Spektral Percepatan pada Saat Perioda 1,0 dt:

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 2/3 \times S_{M1} \\ &= 2/3 \times 0,94 \\ &= 0,63 \text{ g} \end{aligned}$$

7. Periode Getar Fundamental Struktur

$$T_0 = 0,2 (S_{D1}/S_{DS}) = 0,2 (0,63/0,71) = 0,18 \text{ detik}$$

$$T_S = S_{D1}/S_{DS} = 0,63/0,71 = 0,89 \text{ detik}$$

$$\text{Periode Panjang } (T_L) = 20 \text{ detik}$$

8. Spektrum Respons Desain

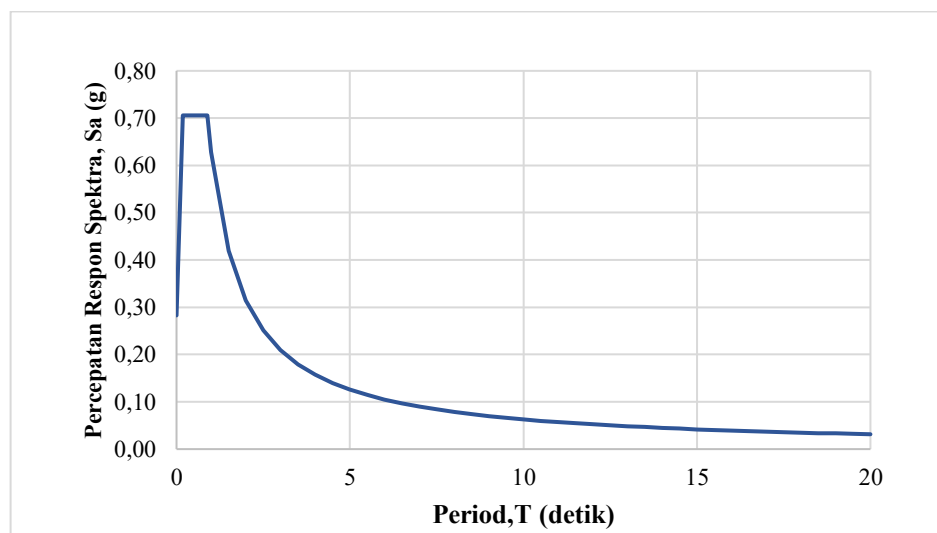
Nilai selanjutnya ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{untuk } T < T_0 \quad S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6(T/T_0))$$

$$\text{untuk } T = T_0 \quad S_a = S_{DS}$$

$$\text{untuk } T_S < T \leq T_L \quad S_a = S_{D1}/T$$

$$\text{untuk } T > T_L \quad S_a = (S_{D1} \cdot T_L) / T^2$$



Gambar 3.7 Kurva Percepatan Respon Spektrum (S_a)

Berdasarkan nilai yang sudah ditentukan maka menghasilkan bentuk grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dengan nilai dan bentuk grafik yang sama seperti dari halaman resmi Cipta Karya.

9. Kategori Desain Seismik (K_{DS})

Kategori Desain Seismik berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yaitu keduanya termasuk kategori D.

Sistem Struktur Berdasarkan K_{DS}

Berdasarkan Pasal 18.2.1.7 SNI 2847-2019, struktur yang masuk dalam KDS D,E, atau 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.

Koefisien modifikasi respon (R)	= 8
Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)	= 3
Faktor pembesaran defklesi (C_d)	= 5,5
Faktor skala ($(g.I)/R$)	= 1225,83 mm/det ²

3.5.2.5 Beban Gempa *Time History*

Berdasarkan SNI 1726:2019, analisis riwayat waktu percepatan memerlukan sedikitnya tiga data rekaman atau simulasi yang dipilih dari kejadian gempa dengan karakteristik magnitudo dan jarak sumber yang serupa dengan lokasi yang ditinjau. Untuk wilayah Semarang, gempa dominan merupakan sumber Shallow Crustal (Partono et al., 2025). Rentang magnitudo dan jarak sumber gempa diperoleh dari Buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa. Adapun rentang nilai yang digunakan adalah sebagai berikut.

Sumber	Magnitudo	Jarak (km)
	0.2 detik	0.2 detik
Shallow Crustal	6,4 – 6,8	20 - 30
Benioff	7,2 - 7,4	150 - 200
Megathrust	8,6 - 8,8	150 - 200

Rekaman riwayat gempa tipe *shallow crustal* diperoleh dari basis data PEER Ground Motion Database, sedangkan rekaman gempa subduksi diambil dari Natural Hazards Risk and Resiliency Research Center (NHR3). Selanjutnya, proses

pencocokan rekaman gempa terhadap respons spektrum lokasi bangunan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Seismomatch 2024 Student Version.

3.5.3 Kombinasi Pembebanan

Untuk kombinasi pembebanan yang digunakan menggunakan desain kekuatan ultimit. Kombinasi pembebanan untuk desain kekuatan ultimit mengacu pada SNI 1727:2020 pasal 2.3. Kombinasi pembebanan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.20 Kombinasi Pembebanan Untuk Desain Kekuatan Ultimit

Persamaan	DL	SIDL	LL	Lr	Wx	Wy	Ex	Ey	Ket.
1	1.40	1.40							Beban Kombinasi Dasar
2	1.20	1.20	1.60	0.50					
3	1.20	1.20	1.00	1.60					
	1.20	1.20			0,50				
	1.20	1.20				0,50			
	1.20	1.20			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			
5	0.90	0.90			1,00				
	0.90	0.90				1,00			
	0.90	0.90			0,75	0,75			
6	1.34	1.34	1.00				1.00	0.30	Pengaruh Beban Seismik
	1.34	1.34	1.00				1.00	-0.30	
	1.34	1.34	1.00				-1.00	0.30	
	1.34	1.34	1.00				-1.00	-0.30	
	1.34	1.34	1.00				0.30	1.00	
	1.34	1.34	1.00				0.30	-1.00	
	1.34	1.34	1.00				-0.30	1.00	
	1.34	1.34	1.00				-0.30	-1.00	
7	0.76	0.76					1.00	0.30	
	0.76	0.76					1.00	-0.30	
	0.76	0.76					-1.00	0.30	
	0.76	0.76					-1.00	-0.30	
	0.76	0.76					0.30	1.00	
	0.76	0.76					0.30	-1.00	
	0.76	0.76					-0.30	1.00	
	0.76	0.76					-0.30	-1.00	

3.5.4 Kontrol Struktur

1. Kontrol Periode Fundamental Struktur

Periode struktur perlu diperiksa sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.

2. Ketidakberaturan Struktur

Ketidakteraturan struktur diperiksa berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.2.

3. Kontrol Perilaku Struktur

Partisipasi massa diperiksa berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 dan Faktor Skala Gaya diperiksa berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.

4. Kontrol Simpangan

Kontrol simpangan antar lantai diperiksa berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.1.

5. Kontrol Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta diatur dalam SNI 1726:2019 pasal 7.8.7.

6. Kontrol Lendutan

3.5.5 Desain Dimensi *Base isolator*

Dengan diperolehnya *output* saat analisis *fixed-base*, maka dimensi dari base isolator tipe *Lead Rubber Bearing* dapat ditentukan. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Menentukan berat dan reaksi pada struktur dengan program bantu analisa struktur.
2. Menentukan ketebalan *rubber*.
3. Menentukan kekakuan horizontal aktual *rubber* dengan rumus :

$$K_H = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{L} \quad (3.1)$$

Dimana

K_H = Kekakuan horizontal *rubber*

m = Reaksi tumpuan kolom

T = Periode rencana

L = Panjang bentang

4. Menentukan luasan *Rubber* dengan rumus lain kekakuan :

$$K_H = \frac{G A}{t_r} \quad (3.2)$$

Dimana

G = Modulus geser

A = Luas penampang

t_r = Tebal karet

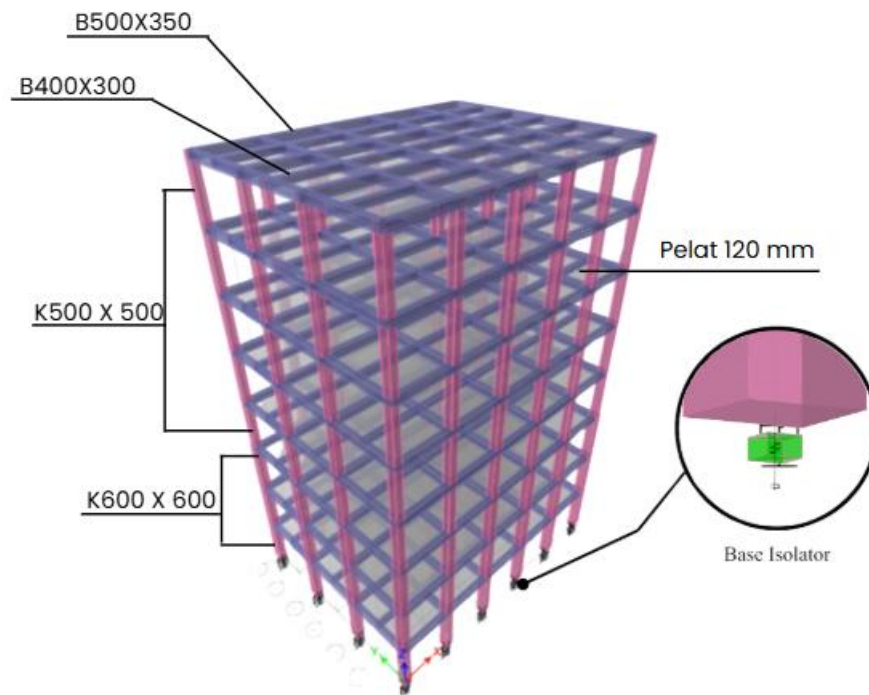
5. Menentukan diameter *Rubber* (D) dengan rumus:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3.3)$$

6. Menentukan data-data yang berkaitan dengan properti dimensi *rubber* yang dapat dilihat dari brosur yang digunakan.

3.5.6 Pemodelan Struktur *Base-Isolated*

Bangunan dimodelkan secara 3D dan memodelkan struktur secara utuh untuk membuat perlakuan struktur secara realistis. *Base isolator* akan ditempatkan pada kolom dengan menggunakan menu link / *support properties* pada ETABS. Serta memasukan data – data sesuai dengan brosur *base isolation* yang ada. Pemodelan sistem isolasi ini berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 12.5.4.2.



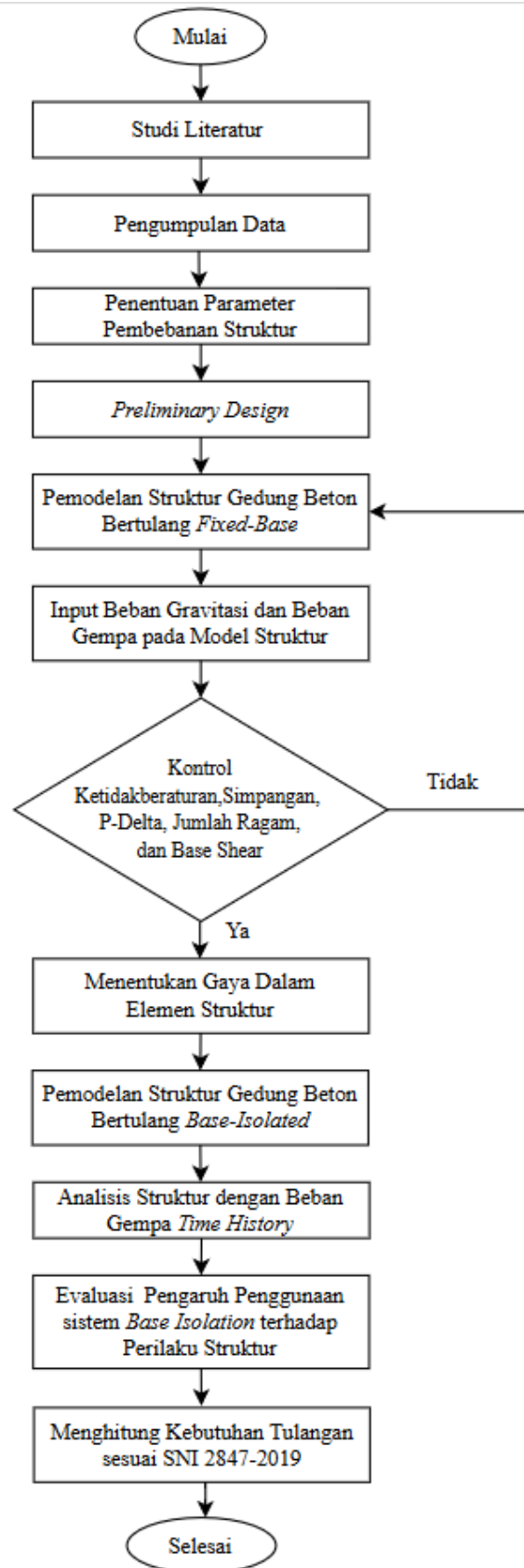
Gambar 3.8 Pemodelan Struktur *Base-Isolated* pada ETABS

3.5.7 Perhitungan Tulangan

Output gaya dalam hasil analisis ETABS digunakan sebagai dasar perencanaan penulangan sesuai SNI 2847:2019. Setiap elemen struktur dikelompokkan untuk keperluan pendetailan tulangan.

3.5.8 Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan teknik analisis data sebelumnya, maka untuk memudahkan alur pengerjaan penelitian ini dibuat rancangan bagan alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian