

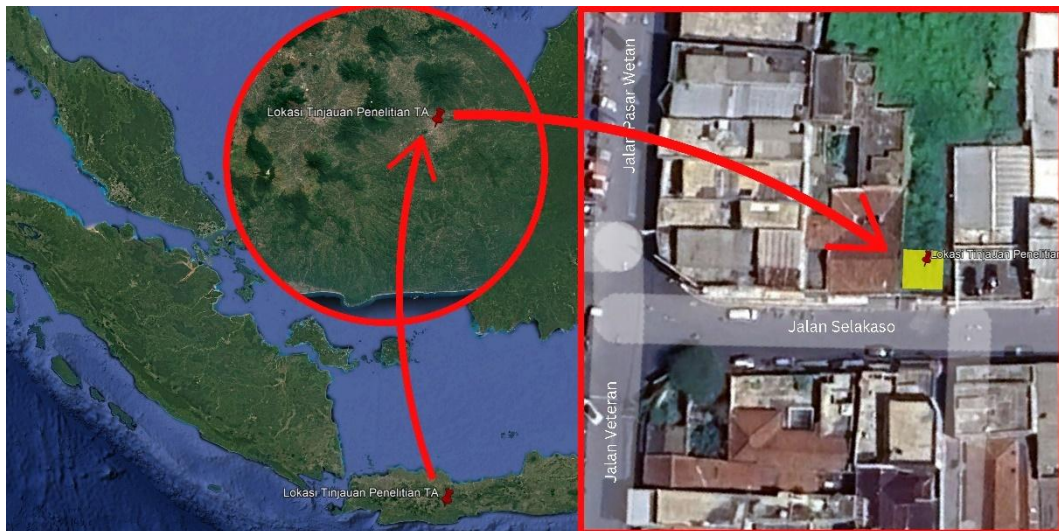
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Pada penelitian ini analisis dilakukan pada struktur portal beton bertulang Gedung Perkantoran 5 lantai ini menggunakan metode elemen hingga melalui SAP2000 dan Abaqus. Metode elemen hingga adalah suatu metode yang dapat menggunakan media sebagai sarana untuk memecahkan permasalahan dalam analisis karena sifatnya yang membagi elemen-elemen yang terhubung. Melalui MS Excel metode yang mengacu pada pendekatan hitungan tradisional yang digunakan secara umum, sedangkan melalui perangkat lunak SAP2000 dan Abaqus yaitu melakukan analisis yang sifatnya lebih kompleks karena pengaruh pemodelan dan penilaian pengaruh beban terhadap kapasitas elemen.

3.2 Lokasi Perencanaan

Lokasi portal beton bertulang yang direncanakan berada di Kecamatan Cihideung, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Secara koordinat terletak pada $7^{\circ}19'46.65''$ Lintang Selatan dan $108^{\circ}13'0.56''$ Bujur Timur. Lokasi tersebut merupakan tanah kosong yang dikelilingi oleh pemukiman warga dan toko, dengan kondisi lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang diambil menggunakan *Google Earth*.



Gambar 3.1 Lokasi Perencanaan Gedung Perkantoran 5 Lantai

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan sumber data pada penelitian ini berdasarkan hal-hal berikut:

3.3.1 Data Primer

Keperluan data perencanaan struktur gedung perkantoran pada penulisan tugas akhir ini tidak menggunakan data primer.

3.3.2 Data Sekunder

Penelitian ini hanya menggunakan data sekunder untuk keperluan perencanaan, yaitu berupa data Respons Spektrum gempa dari halaman resmi Cipta Karya dengan jenis tanah yang digunakan Lunak.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laptop dan *Mouse*

Pada penelitian ini saya menggunakan laptop ASUS A416J dengan *Processor Intel Core i3* Gen. 10, RAM 4GB, dan sistem tipe 64-bit.

2. Perangkat lunak

Software yang digunakan pada analisis pemodelan Gedung Perkantoran 5 lantai ini yaitu SAP2000, Abaqus, MS Word, dan MS Excel.

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Materi terkait perhitungan balok dan kolom beton bertulang.
2. Materi berupa video mengenai panduan analisis struktur dengan program perangkat lunak SAP2000 dan Abaqus.

3.5 Teknik Analisis Data

Metode penelitian ini dilakukan dengan prosedur yang sesuai dengan lokasi penelitian dan kebutuhan perencanaan, sebagai berikut;

3.5.1 Data Teknis

Data teknis yang digunakan merupakan struktur portal dengan pembebanan yang disesuaikan sebagai fungsi bangunan perkantoran dengan material beton bertulang. Jumlah lantai yang direncanakan yaitu 5 lantai dengan ketinggian antar lantainya 3 m dan total tinggi bangunan yaitu 15 m. Sedangkan, penentuan dimensi elemen struktur dilakukan metode *preliminary design* agar mendapatkan desain struktur yang ideal.

3.5.2 Mutu Beton

Mutu beton yang digunakan pada perencanaan portal beton bertulang ini adalah K-350 atau 29,05 MPa untuk seluruh struktur (kolom, balok, dan pelat). Selain nilai elastisitas yang ditentukan, dalam mendefinisikan material beton di *software* Abaqus sifat plastisitas beton perlu dilakukan sebagai parameter *Congcrete Damaged Plasticity* (CDP) sehingga nilai *inelastic strain* dan *cracking strain* dapat diketahui pada kondisi sebelum pembebanan. Sehingga menghasilkan perilaku properti material beton seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 untuk kuat tekan beton, serta Tabel 3.3 untuk kuat tarik beton dengan kurva respons kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

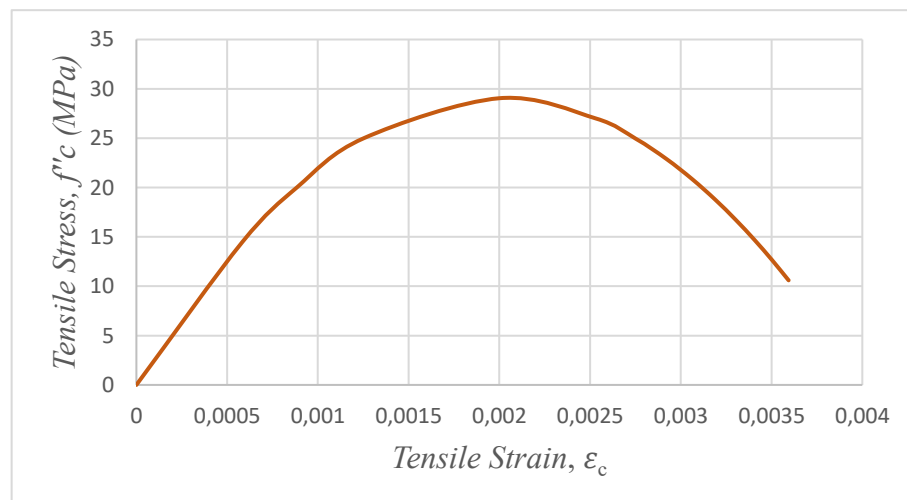
Tabel 3.1 Parameter Elastisitas dan Plastisitas Beton K-350

Mutu Material Beton	K-350 atau $f'c$ 29,05 MPa	Parameter Plastisitas Beton	
		<i>Dilatation Angle</i>	31,00
Parameter Elastisitas Beton		<i>Eccentricity</i>	0,10
<i>Density</i>	2,404 x 10 ⁻⁰⁹ MPa	fb0/fc0	1,16
Modulus, E	25332,08 MPa	K	0,67
Rasio Poisson	0,2	<i>Viscosity</i>	0,01

Pada kondisi sebelum mutu beton yang direncanakan maka nilai keruntuhan atau kerusakan dianggap 0 atau mendekati 0 karena pada mutu beton tersebut kondisi kerusakan yang terjadi sangat kecil.

Tabel 3.2 Parameter Plastisitas Kuat Tekan Beton K-350

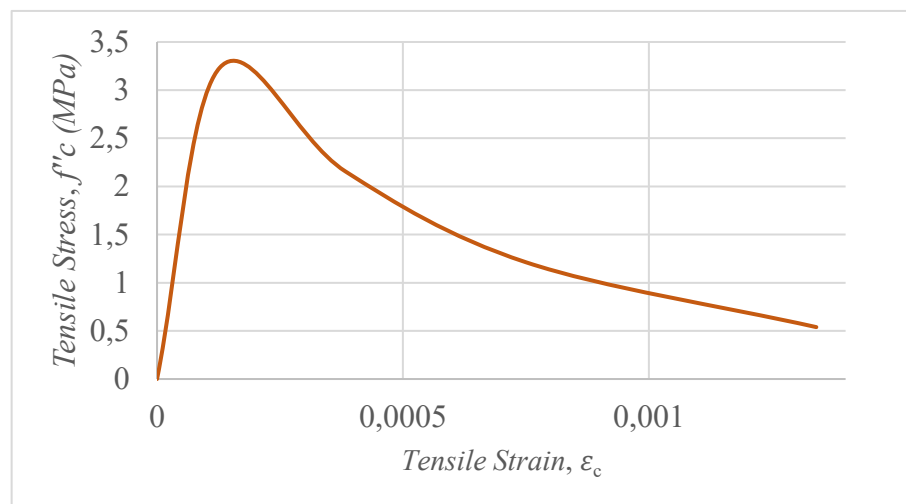
<i>Congcrete Compressive Behavior</i>			<i>Congcrete Compression Damage</i>	
<i>Tensile Stress f'_c (MPa)</i>	<i>Tensile Strain, ϵ_c</i>	<i>Inelastic Strain</i>	<i>Damage Parameter</i>	<i>Inelastic Strain</i>
14,50	0,000585	0,00000	0	0,00000
20,00	0,000884	0,00030	0	0,00030
25,00	0,001253	0,00067	0	0,00067
29,05	0,002	0,00142	0	0,00142
27,00	0,002531	0,00195	0,07057	0,00195
24,95	0,002751	0,00217	0,14114	0,00217
22,90	0,00292	0,00234	0,21170	0,00234
20,85	0,003063	0,00248	0,28227	0,00248
18,80	0,003188	0,00260	0,35284	0,00260
16,75	0,003301	0,00272	0,42341	0,00272
14,70	0,003406	0,00282	0,49398	0,00282
12,65	0,003503	0,00292	0,56454	0,00292
10,60	0,003594	0,00301	0,63511	0,00301



Gambar 3.2 Grafik Respon Beton K-350 Terhadap Kuat Tekan

Tabel 3.3 Parameter Plastisitas Kuat Tarik Beton K-350

<i>Concrete Tensile Behavior</i>			<i>Concrete Tension Damage</i>	
<i>Tensile Stress, f'_c (MPa)</i>	<i>Tensile Strain, ϵ_c</i>	<i>Cracking Strain</i>	<i>Damage Parameter</i>	<i>Cracking Strain</i>
3,23	0,000128	0	0	0
2,16	0,000383	0,00026	0,33333	0,00026
1,21	0,00075	0,00062	0,62500	0,00062
0,54	0,00134	0,00121	0,83333	0,00121



Gambar 3.3 Grafik Respon Beton K-350 Terhadap Kuat Tarik

3.5.3 Mutu Baja Tulangan

Mutu baja tulangan yang digunakan pada perencanaan struktur portal beton bertulang ini disesuaikan dengan SNI 2847:2019 pada Tabel 20.2.2.4a untuk elemen lentur dan gaya aksial mutu maksimal baja tulangan ulir (D) yaitu $f_y = 420$ MPa. Sedangkan untuk tulangan polos diatur pada Tabel 20.2.2.4b dengan nilai mutu sama yaitu $f_y = 420$ MPa.

Pada penelitian ini, mutu baja tulangan yang digunakan untuk tulangan lentur atau utama (D) yaitu BJTS 420, $f_y = 420$ MPa, dan $f_u = 525$ MPa. Selanjutnya, untuk tulangan geser (D) menggunakan BJTS 280 dengan nilai $f_y = 280$ MPa dan $f_u = 350$ MPa. Untuk parameter yang digunakan pada Tulangan dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Parameter Plastisitas Baja Tulangan f_y 280 MPa

Parameter Plastisitas Baja Tulangan	
<i>Yield Stress, f_y (MPa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
230,00	0,00000
240,50	0,00009
265,00	0,00038
280,00	0,00085
270,00	0,00122
260,00	0,00138
255,00	0,00144
250,00	0,00150

Tabel 3.5 Parameter Plastisitas Baja Tulangan f_y 420 MPa

Parameter Plastisitas Baja Tulangan	
<i>Yield Stress, f_y (MPa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
400,00	0,00000
405,00	0,00006
410,00	0,00013
420,00	0,00044
415,00	0,00065
407,00	0,00079
401,00	0,00086
390,00	0,00097

3.5.4 Preliminary Design

Preliminary design adalah suatu tahapan desain awal yang perlu direncanakan sebelum tahap desain detail. Tujuannya untuk memastikan konsep dasar struktur sudah tepat dipilih agar efisien dan ekonomis, sehingga dapat mengidentifikasi potensi masalah sejak awal (Chen & Lui, 2002). Elemen struktur yang direncanakan yaitu dimensi kolom, balok, dan pelat. Proses *preliminary design* mengikuti aturan SNI 2847:2019.

3.5.4.1 Preliminary Design Balok

Dimensi balok direncanakan memiliki dimensi yang sama pada seluruh lantainya, berikut perhitungan desain awal pada balok.

Selimut Beton, t_s	= 40 mm
Tulangan Utama	= D26 (jumlah tulangan awal dianggap 4)
Tulangan Sengkang	= D16 (desain awal jarak sengkang 16 cm)
Panjang Bentang, L	= 6000 mm
Asumsi Perletakan	= Sederhana
Tinggi min. Penampang	= $L/16$
$h_{\min}$	= 375 mm
Rencana Tinggi Penampang, h	= 500 mm
Rasio h/b balok dapat diambil sebesar 1,5 - 2. digunakan 1,5:	
Lebar Penampang, b	= $h/1,5$
b	= 333,33 mm
Rencana Lebar Penampang, b	= 350 mm
Tinggi Efektif Balok	= $h - t_s - \phi - D/2$
d	= $500 - 40 - 16 - (26/2)$
d	= 431 mm

Selanjutnya, melakukan pengecekan syarat batasan geometri:

1. Bentang bersih balok (l_n)

Asumsi dimensi kolom yang digunakan sebagai desain awal yaitu 600x600 mm, dengan bentang bersih balok minimal $4d$. Maka:

$$l_n = 6000 - \left(\frac{600}{2}\right) - \left(\frac{600}{2}\right) = 5400 \text{ mm} \geq (4d = 1768) \text{ (memenuhi)}$$

2. Lebar penampang balok (b)

Nilai b harus lebih besar dari $0,3h$ dan lebar 250 mm, diketahui:

$$b = 350 \text{ mm} \geq (0,3h = 150 \text{ mm}) \text{ dan } 250 \text{ mm (memenuhi)}$$

3. Proyeksi lebar balok

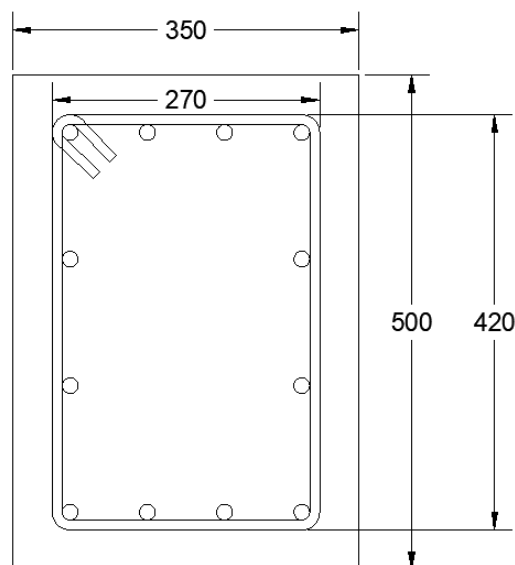
Jika lebar balok melampaui kolom penumpu maka tidak dibolehkan melebihi dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing kolom, diketahui:

$$b = 350 \text{ mm} \leq (c_2 + \min(c_2; 0,75c_1))$$

$$b = 350 \text{ mm} \leq (600 + \min(600; 400))$$

$$b = 350 \text{ mm} \leq 1000 \text{ mm (memenuhi)}$$

Berdasarkan persyaratan tersebut, maka untuk bentang 6 m dengan tinggi penampang (h) yaitu 500 mm dan lebar penampang (b) 350 mm dapat digunakan untuk perencanaan selanjutnya. Desain awal balok dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Dimensi Balok

3.5.4.2 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)

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

2. Beban Mati Tambahan (Super DL)

Penggantung Langit-langit, Baja = $0,10 \text{ kN/m}^2$

Plafond (*Ascoustical Fiberboard*) = $0,05 \text{ kN/m}^2$

Instalasi Listrik = $0,10 \text{ kN/m}^2$

Pipa Air Bersih dan Kotor = $0,10 \text{ kN/m}^2$

Lapisan *Waterproffing* = $0,05 \text{ kN/m}^2$

Keramik *Quarry Tile* (19 mm) = $1,10 \text{ kN/m}^2$

3. Beban Hidup (LL)

Lantai 1 dan Lantai 2-4 = $4,79 \text{ kN/m}^2$ dan $2,40 \text{ kN/m}^2$

Atap (dak) = $0,96 \text{ kN/m}^2$

Partisi = $0,72 \text{ kN/m}^2$

Genangan Air Hujan (1cm) = $9,7 \text{ kN/m}^3 \times 0,01 \text{ m} = 0,1 \text{ kN/m}^2$

Selanjutnya, menentukan dimensi yang dihitung berat per lantainya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6 Distribusi Beban Mati pada Kolom

Komponen Beban	p	l	t	Berat Jenis	Jumlah	Berat
	m	m	m			kN
Lantai Atap						
a) Beban Mati (DL)				kN/m³		
Pelat Lantai	6,00	6,00	0,12	23,54	1	101,68
Balok	6,00	0,35	0,50	23,54	2	49,43
b) Beban Mati Tambahan (Super DL)				kN/m²		
Penggantung langit-langit	6,00	6,00		0,10	1	3,60
Plafond (papan serat akustik)	6,00	6,00		0,05	1	1,80

Komponen Beban	p	l	t	Berat Jenis	Jumlah	Berat
	m	m	m			kN
Instalasi Listrik	6,00	6,00		0,10	1	3,60
Pipa Air Bersih dan Kotor	6,00	6,00		0,10	1	3,60
Lapisan <i>Waterproffing</i>	6,00	6,00		0,05	1	1,80
TOTAL BERAT						165,50
Lantai 1 - 4						
a) Beban Mati (DL)				kN/m ³		
Pelat Lantai	6,00	6,00	0,12	23,536	1	101,68
Balok	6,00	0,35	0,50	23,536	2	49,43
b) Beban Mati Tambahan (Super DL)				kN/m ²		
Penggantung langit-langit (baja)	6,00	6,00		0,10	1	3,60
Plafond (papan serat akustik)	6,00	6,00		0,05	1	1,80
Keramik 1,9 cm	6,00	6,00		1,10	1	39,60
Instalasi Listrik	6,00	6,00		0,10	1	3,60
Pipa Air Bersih dan Kotor	6,00	6,00		0,10	1	3,60
Lapisan <i>Waterproffing</i>	6,00	6,00		0,05	1	1,80
TOTAL BERAT						205,10

Tabel 3.7 Distribusi Beban Hidup pada Kolom

Komponen Beban	p	l	t	Berat Jenis	Jumlah	Berat
	m	m	m			kN
Lantai Atap						
a) Pelat Atap				kN/m ²		
Atap (dak)	6,00	6,00		0,96	1	34,56

Komponen Beban	p	l	t	Berat Jenis	Jumlah	Berat
	m	m	m			kN
				kN/m ³		
Genangan Air Hujan (1cm)	6,00	6,00	0,01	9,70	1	3,49
TOTAL BERAT						38,05
Lantai 1 - 4						
Pelat Lantai				kN/m ²		
Partisi	6,00	6,00		0,72	1	25,92
Lantai 1	6,00	6,00		4,79	1	172,44
Lantai 2 - 4	6,00	6,00		2,40	1	86,40

Sebelum melakukan perhitungan *preliminary design* maka beban yang sudah diketahui harus dilakukan perencanaan pada beberapa keadaan, untuk melihat kondisi struktur maksimal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kombinasi Beban Perlantai

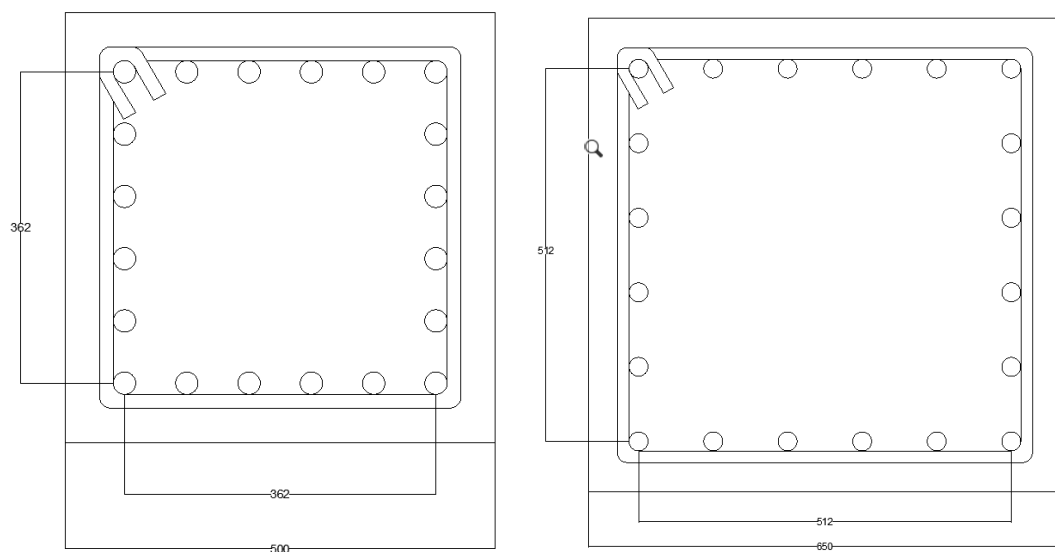
Lantai	DL + SDL	LL	1,2DL + 1,2SDL + 1,6LL	Kumulatif
	kN	kN	kN	kN
Atap	165,50	38,05	259,48	
4	205,10	284,76	701,74	259,48
3	205,10	284,76	701,74	961,22
2	205,10	284,76	701,74	1662,96
1	205,10	284,76	701,74	2364,70
	0,00	0,00	0,00	3066,43

Kemudian perhitungan *preliminary design* dapat dilakukan seperti pada Tabel 3.9 dengan melakukan pengecekan syarat geometri $p,l > 300$ dan $p/l > 0,4$. Pada penelitian ini dimensi kolom dianggap seragam.

Tabel 3.9 Perhitungan *Preliminary Design* Kolom

Lantai	Pu	A (Pu/0,3f'c)	Sisi Kolom Rencana (mm)		Sisi Kolom Aktual (mm)		Kontrol Syarat Geometri
	N	mm ²	p	l	p	l	
5	259484,54	29774,47	172,55	172,55	500	500	p dan l > 300 (OK)
4	961221,89	110295,11	332,11	332,11			
3	1662959,23	190815,75	436,82	436,82			
2	2364696,58	271336,38	520,90	520,90	650	650	p/l > 0,4 (OK)
1	3066433,92	351857,02	593,18	593,18			

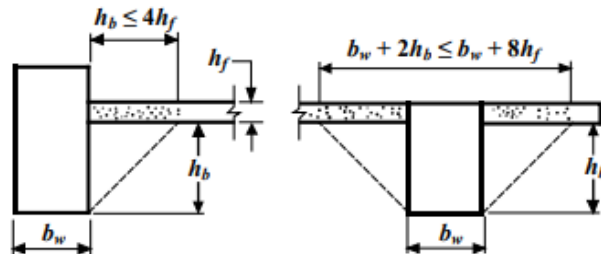
Berdasarkan persyaratan tersebut, maka untuk tinggi kolom 3 m dengan panjang penampang (p) yaitu 500 mm untuk lantai 3-5 dan 650 mm untuk lantai 1 – 2, serta lebar penampang (l) 450 mm untuk lantai 3-5 dan 650 mm untuk lantai 1 – 2 dapat digunakan untuk perencanaan selanjutnya. Desain awal kolom dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.5 Dimensi Kolom

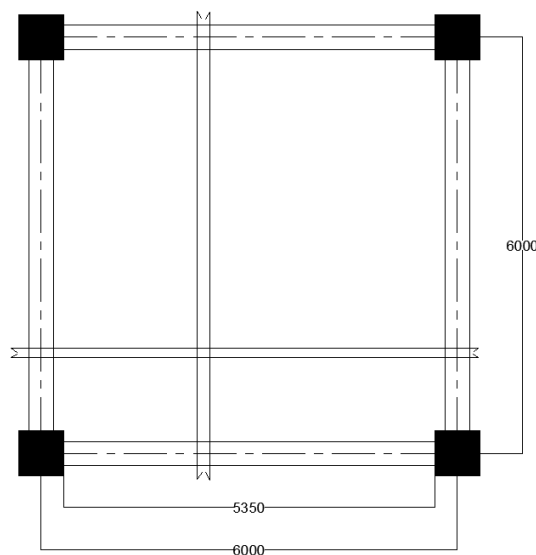
3.5.4.3 Preliminary Design Pelat

Pelat terdapat 2 macam yaitu pelat searah dan pelat 2 arah dengan ketentuan perhitungan yang digunakan sesuai SNI 2847:2019. Pelat dimasukkan ke balok dengan bentuk yang berbeda, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Bagian Pelat yang Dimasukkan ke Balok

Sedangkan, pada perencanaan kali ini menggunakan pelat 2 arah yang artinya seluruh sisi balok menempel pada pelat. Bentuk portal tampak atas ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan perhitungan sebagai berikut:



Gambar 3.7 Potongan 2D Portal Tampak Atas

Tebal Pelat Rencana, h_f = 120 mm

Panjang Bersih Arah X dan Y = $l_x - 0,5 (b + b)$

$l_x = l_y$ = $6000 - 0,5 (700) = 5650$ mm

Rasio Panjang Bersih Pelat, β = $\frac{L_{\max}}{L_{\min}}$

$$\beta = \frac{5650}{5650} = 1 < 2, \text{ maka pelat 2 arah}$$

Rasio perbandingan kekakuan balok terhadap pelat arah Y (α_{f1}):

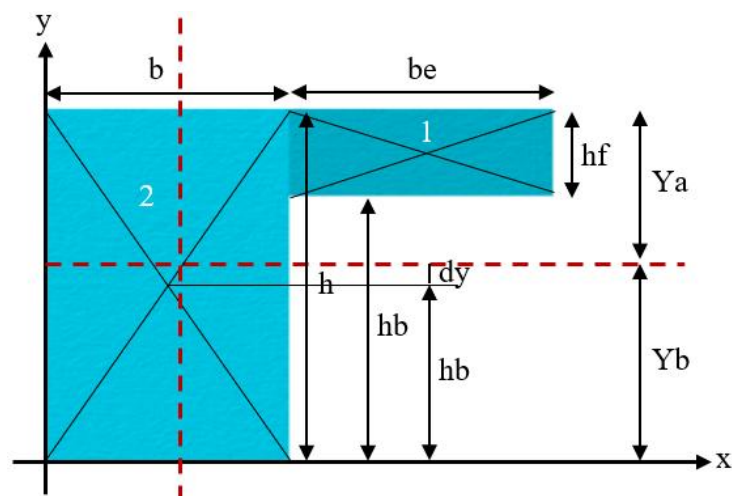
$$\text{Lebar Penampang Balok, } b_w = 350 \text{ mm}$$

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

$$\text{Lebar Efektif, } b_e = h_b \leq 4h_f$$

$$b_e = 380 \leq 4(120) = 480 \text{ mm}$$

Titik berat penampang balok:



Gambar 3.8 Titik Berat Penampang Balok

Pada Gambar 3.8 titik berat diketahui berdasarkan perhitungan konvensional dengan nilai yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.10 Data Nilai Perhitungan Titik Berat

No.	A (mm ³)	x (mm)	y (mm)	Ax (mm ³)	Ay (mm ³)
1	45600	540	440	24624000	20064000
2	175000	175	250	30625000	43750000
jumlah	220600			55249000	63814000

$$\text{Jarak titik berat terhadap sumbu X, } Y_b = \sum Ay / \sum A$$

$$= 63814000 / 220600$$

$$Y_b = 289,27 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak titik berat ke ujung pelat, } Y_a &= h - Y_b \\ &= 500 - 289,27\end{aligned}$$

$$Y_a = 210,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak titik berat terhadap sumbu Y, } X_b &= \sum A_x / \sum A \\ &= 55249000 / 220600\end{aligned}$$

$$X_b = 250,45 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak titik berat ke ujung pelat, } X_a &= (b + b_e) - X_b \\ &= (350 + 380) - 250,45\end{aligned}$$

$$X_a = 479,55 \text{ mm}$$

Momen Inersia di titik berat terhadap sumbu X penampang balok:

$$d_{y1} = Y_a - (0,5hf) = 150,73 \text{ mm}$$

$$d_{y2} = Y_b - y_2 = 114,27 \text{ mm}$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12} \times b_e \times hf^3 = 54720000 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = 365833333 \text{ mm}^4$$

$$I_b = (\sum I_{x1} + A.d^2) + (\sum I_{x2} + A.d^2) = 7021773302 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia di titik berat terhadap sumbu Y penampang balok:

$$d_{x1} = X_a - (0,5hf) = 289,55 \text{ mm}$$

$$d_{x2} = X_b - x_2 = 75,45 \text{ mm}$$

$$I_{y1} = \frac{1}{12} \times hf \times b_e^3 = 548720000 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \frac{1}{12} \times h \times b^3 = 1786458333 \text{ mm}^4$$

$$I_p = (\sum I_{y1} + A.d^2) + (\sum I_{y2} + A.d^2) = 7154468905 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi, rasio perbandingan kekakuan, } \alpha_{f1} &= \frac{E_b \times I_b}{E_s \times I_p} \\ &= 7021773302 / 7154468905 \\ &= 0,98\end{aligned}$$

Karena seluruh balok mempunyai bentang yang sama maka, nilai perbandingan kekakuan α_{fm} adalah 0,98. Dapat diketahui bahwa $\alpha_{fm} \leq 2$, maka nilai h_{min} pelat dihitung berdasarkan . Sehingga, berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.10.2.7 untuk panel dengan balok antar tumpuan pada semua sisi menggunakan nilai α_{fm} sebagai berikut:

$$\alpha_{fm} = 0,02 \leq (\alpha_{f1} \cdot l_2^2) / (\alpha_{f2} \cdot l_1^2) \leq 5,0, \text{ maka } \alpha_{fm} = 0,02 \leq 1 \leq 5,0$$

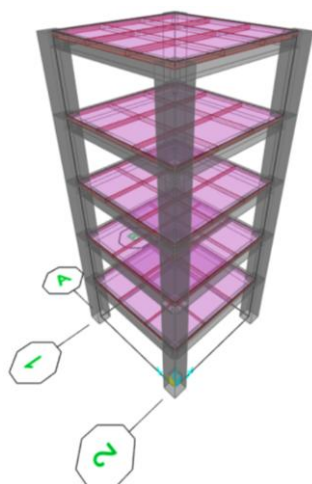
Perhitungan ketebalan minimum pelat $f_y = 420$ MPa dengan keterangan tanpa drop panel dan balok tepi berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1 yaitu

$$H_{min} = l_n / 33 = 6000 / 33 = 181,82 \text{ mm} > 90 \text{ mm}.$$

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

3.5.5 Pemodelan Struktur pada *Software* SAP2000 dan Abaqus

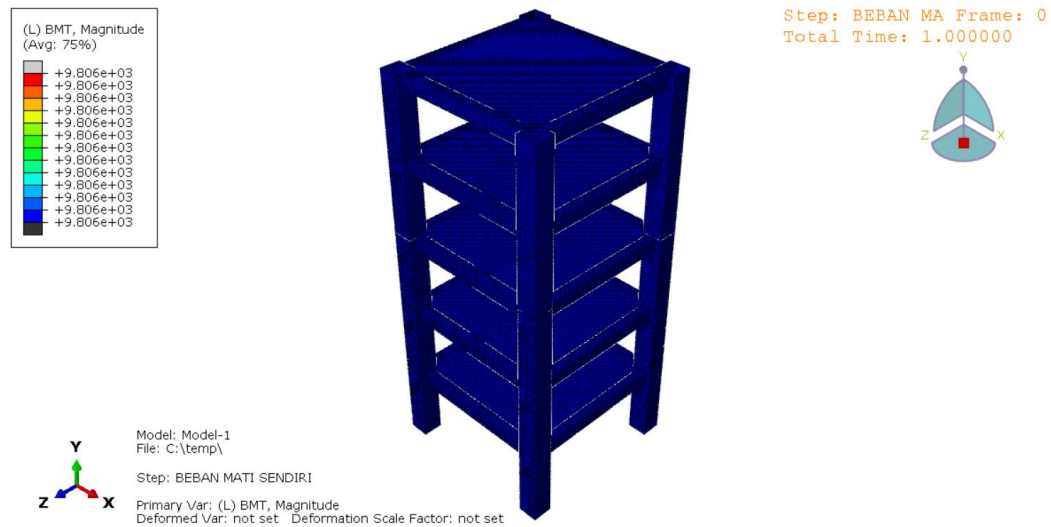
Pada pemodelan elemen struktur dengan kondisi perletakan struktur menggunakan sistem jepit, tujuannya untuk perencanaan beban gempa sesuai dengan aturan SNI 1726:2019 pasal 7.7.1. Seperti perencanaan yang dilakukan di SAP2000 ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan perbandingan di Abaqus dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11. Untuk Gambar 3.12 menunjukkan tulangan pada seluruh elemen struktur portal beton bertulang.



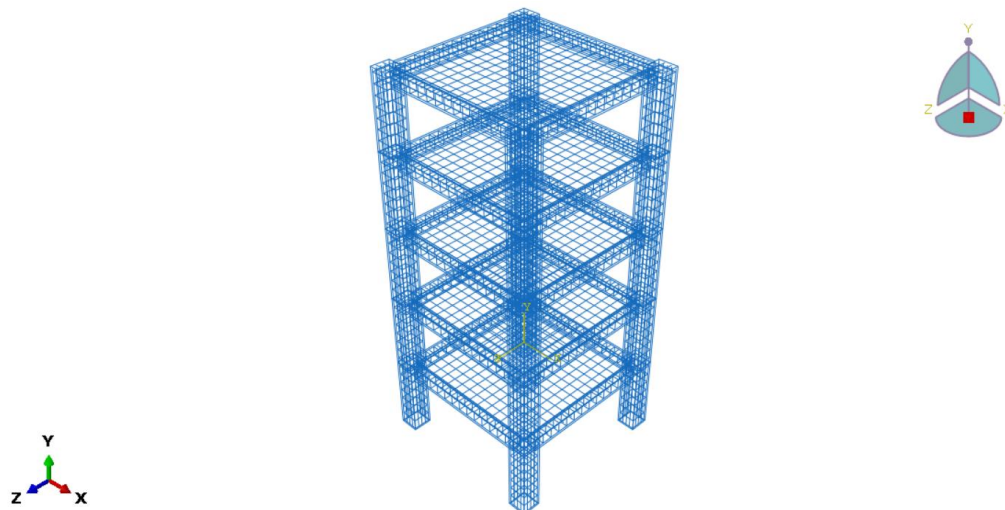
Gambar 3.9 Model 3D Portal 5 Lantai (SAP2000)



Gambar 3.10 Model 3D Portal 5 Lantai (Abaqus-Mesh)



Gambar 3.11 Model 3D Kolom Persegi di Abaqus



Gambar 3.12 Model 3D Tulangan pada Struktur Portal di Abaqus

3.5.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur atas ini hanya menggunakan kombinasi ultimit atau metode LRFD. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.2.2, kombinasi ini meliputi pembebanan dasar (poin 1-5) dan akibat pengaruh beban seismik (poin 6 dan 7). Kombinasi pembebanan ini dipengaruhi oleh nilai redundansi dan juga nilai S_{DS} , dengan ketentuan pemilihan nilai redundansi (ρ) disesuaikan dengan syarat SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.

3.5.7 Kontrol Periode Fundamental Struktur

Periode struktur dapat menunjukkan apabila beberapa kondisi suatu pemodelan tidak benar dengan hasil periode yang tidak normal. Adanya kekakuan dan massa struktur tanpa gaya luar maka akan menimbulkan getaran alami struktur, sehingga diketahui semakin besar periode getar maka semakin kecil gaya gempa yang diterima. Persamaan periode getar dapat dikontrol dengan rumus umum yaitu:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{f} \quad (3.1)$$

3.5.8 Penerapan Kekakuan pada *Software Abaqus*

Kekakuan portal beton bertulang ditentukan oleh nilai modulus elastisitas (E) dan momen inersia (I). Berikut merupakan ketentuan yang digunakan pada analisis:

1. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas dimasukkan pada *mechanical property* yang terdapat Ketika memasukkan jenis material yang digunakan. Nilai modulus elastisitas yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E_{K-350} = 4700 \sqrt{f'c} = 25332.08 \text{ MPa}$$

$$E_{fy420} = 200.000 \text{ MPa}$$

2. Momen Inersia

Nilai I_g dan A_g yang diizinkan untuk analisis elastis pada beban terfaktor terdapat dalam SNI 2847-2019; Pasal 6.6.3.1.1. seperti terlihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan

Bagian dan Kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		0,7 I_g	1,0 A_g
Dinding	Tidak Retak	0,7 I_g	
	Retak	0,35 I_g	
Balok		0,35 I_g	
Pelat datar dan slab datar		0,25 I_g	

3.5.9 Kontrol Perilaku Struktur

3.5.9.1 Partisipasi Massa

Partisipasi massa didapatkan berdasarkan distribusi massa dan mode getar pada struktur yang dihasilkan dari analisis modal. Massa yang terlibat pada mode getar ini disebut partisipasi massa efektif. Semakin besar partisipasi massa efektif, maka semakin signifikan pengaruh mode getar tersebut terhadap respons struktur.

Menurut SNI 1726:2019 partisipasi massa harus dihitung untuk memastikan bahwa mode getar yang dominan telah dipertimbangkan dalam analisis dinamik. Pada analisis merekomendasikan bahwa total partisipasi massa efektif untuk semua mode getar yang dianalisis harus mencapai minimal 90% dari total massa struktur dan massa ragam terkombinasi sebesar 100% massa struktur.

3.5.9.2 Karakteristik Respons Dinamik Struktur

Respons dinamik struktur didefinisikan sebagai respons yang dihasilkan oleh struktur ketika mengalami beban dinamis. Beban dinamis ini dapat menyebabkan struktur bergetar atau mengalami deformasi (Xu et al., 2024). Analisis respons dinamik bertujuan untuk memastikan struktur dapat menahan beban dinamis tanpa mengalami kerusakan dengan pola gerak dinamik dominan translasi, translasi dan rotasi. Gerakan yang dihasilkan akan terlihat pola gerak dinamik yang dapat dilihat pada *software* SAP2000 dan Abaqus.

3.5.9.3 Penskalaan Gaya

Menurut SNI 1726:2019 beban dinamik tidak boleh kurang dari beban gempa statik, dan jika tidak terpenuhi maka beban dinamik gempa perlu dikalikan dengan faktor skala. Satuan faktor skala yaitu m/sec^2 Persamaan yang digunakan yaitu;

$$\text{Faktor Skala} = \frac{g}{R} I_e \quad (3.2)$$

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \quad (3.3)$$

$$\text{Sehingga, Faktor Skala} = \frac{g}{R} I_e \left(\frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \right) \quad (3.4)$$

Keterangan:

g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

R = koefisien modifikasi respon

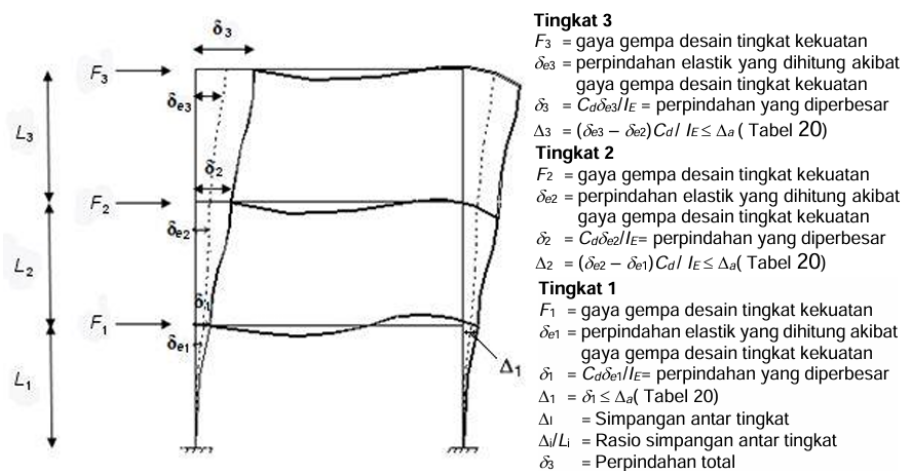
I_e = faktor keutamaan gempa

3.5.10 Kontrol Gaya Geser Pada Struktur

Pada elemen pemikul gaya lateral menurut SNI 1726:2019 Tabel 15 tentang persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar, syarat yang perlu ditinjau yaitu apabila sambungan balok-kolom kehilangan tahanan momen di kedua ujung suatu balok tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33%.

3.5.11 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat berdasarkan SNI 1726-2019; Pasal 7.8.6 harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau seperti pada Gambar 3.13. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Simpangan pusat massa di tingkat- x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.5 dan tidak boleh melebihi simpangan izin (Δ_a).



Gambar 3.13 Penentuan Simpangan Antar Lantai

$$\delta = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.5)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_x = simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa

Tabel 3.12 Simpangan Izin Antar Lantai

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

Catatan : hsx = tinggi tingkat dibawah tingkat-x

3.5.12 Kontrol Pengaruh P-delta

Menurut SNI 1726:2019 efek P-delta merupakan efek sekunder berupa gaya momen dan geser pada elemen-elemen struktur, yang disebabkan karena aksi beban vertikal yang dihasilkan dari berbagai kondisi pembebanan dan dipicu oleh

perpindahan horizontal struktur. Bentuk pergerakan efek P-delta dapat dilihat pada Gambar 3.14

Syarat pengaruh P-delta pada pasal 7.8.7 pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya dapat dilihat dua kondisi berikut:

1. koefisien stabilitas $\theta \leq 0,10$ (boleh tidak diperhitungkan)

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.6)$$

Keterangan:

- P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0. Maka, beban yang digunakan (DL + SIDL + LL)
- Δ = simpangan antar tingkat terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
- I_e = faktor keutamaan gempa
- V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x – 1 (kN)
- h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)
- C_d = faktor pembesaran defleksi

2. Koefisien stabilitas tidak boleh melebihi θ_{max} ($\theta < \theta_{max}$)

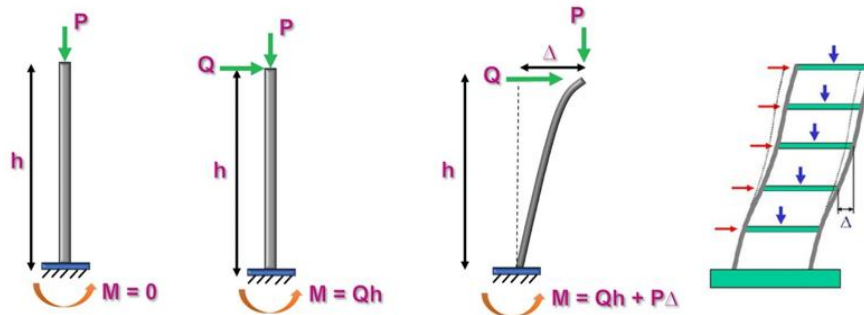
$$\theta = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.7)$$

Keterangan:

- B = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x – 1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

3. Jika koefisien stabilitas $0,10 < \theta \leq \theta_{max}$, faktor peningkatan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$. Namun, jika $\theta > \theta_{max}$, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

4. Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, persamaan (3.7) tetap harus dipenuhi, akan tetapi, nilai θ yang dihitung dari persamaan (3.6) menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum diperiksa dengan persamaan (3.7)



Gambar 3.14 Ilustrasi Efek P-delta

3.5.13 Perhitungan Tulangan

Setiap elemen struktur akan dibagi menjadi beberapa grup untuk pendetailan tulangan dengan bantuan *software* Abaqus. *Output* gaya dalam akan digunakan untuk desain penulangan sesuai dengan SNI 2847-2019.

3.5.14 Evaluasi Penggunaan *Software* Abaqus

Setiap *software* memiliki keunggulannya tersendiri, untuk mengetahui keefektivitasan penggunaan *software* Abaqus ini diperlukan perencanaan terlebih dahulu. Sehingga, penulis dapat mengetahui cara optimalisasi penggunaan Abaqus.

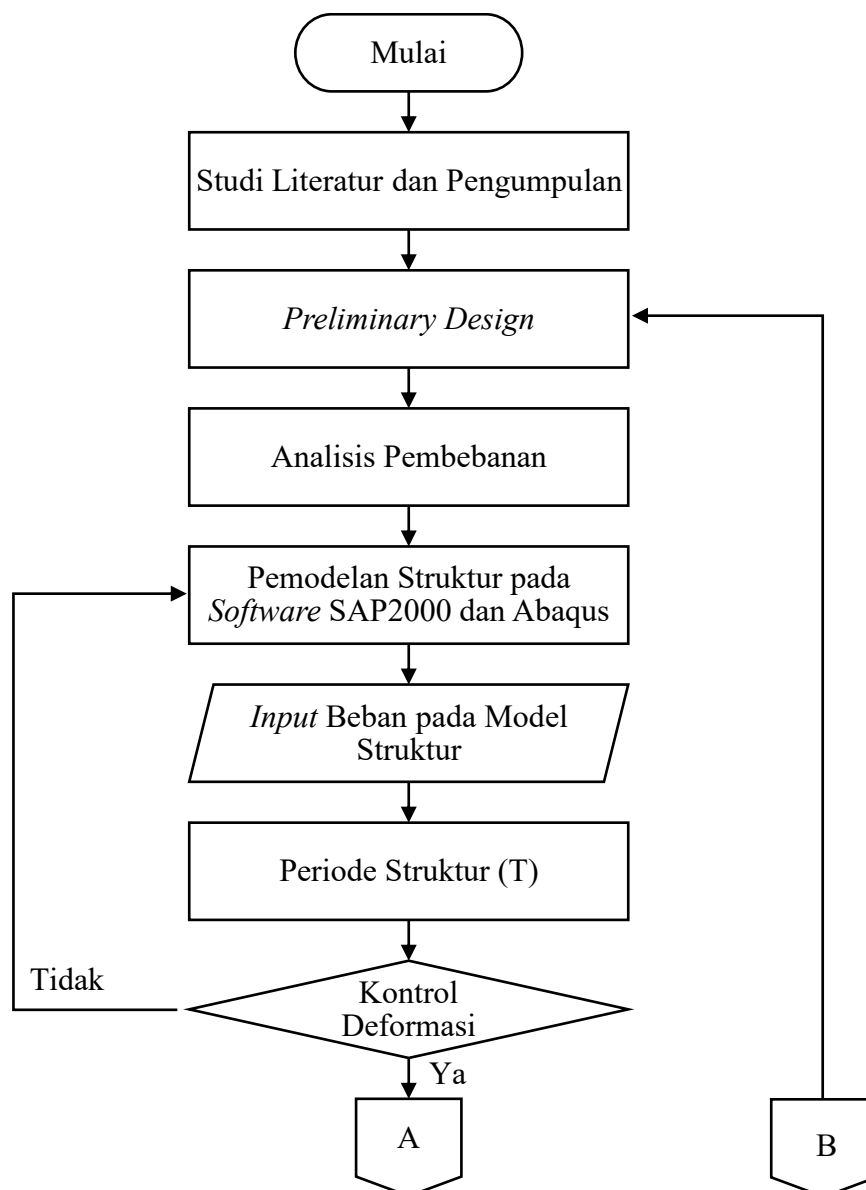
3.6 Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)

Berdasarkan teknik analisis data sebelumnya maka untuk memudahkan alur pengerjaan penelitian ini dibuat rancangan bagan alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15 untuk seluruh alur pengerjaan penelitian dan Gambar 3.17 untuk alur pengerjaan *software* Abaqus.

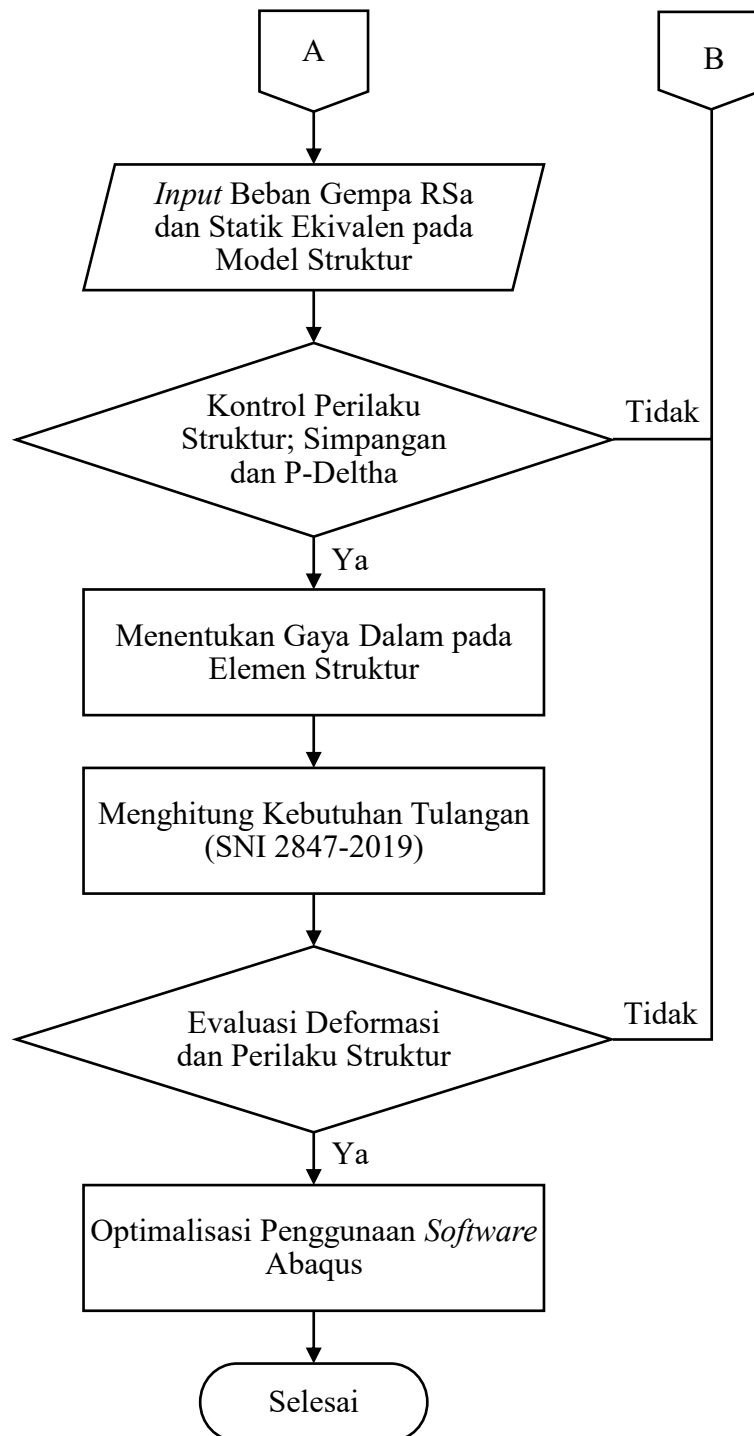
Penjelasan mengenai kelanjutan penelitian dan tidaknya berdasarkan bagan alir yaitu:

1. Kontrol deformasi dapat dikatakan tidak aman jika hasil yang dimunculkan pada *frame* SAP2000 menunjukkan warna merah atau melewati batas aman, jika muncul warna jingga, hijau, biru maka penelitian dapat dilanjutkan.

2. Kontrol simpangan dikatakan tidak lanjut jika hasil simpangan (*story drift*) tidak melewati batas *drift*, maka sebaliknya jika hasil kurang dari *drift limit* penelitian dapat dilanjutkan. Sedangkan, P-Delta dikontrol dengan nilai koefisien stabilitasnya, jika $\theta < \theta_{\max}$ maka struktur dapat dikatakan aman dan gaya dalam dapat digunakan untuk pengecekan tulangan.
3. Evaluasi deformasi dilakukan kembali setelah pengecekan tulangan, hal ini diperlukan untuk melihat kondisi struktur setelah adanya penyesuaian tulangan. Jika kondisi *frame* masih menunjukkan warna selain merah maka penelitian menggunakan Abaqus dapat dilanjutkan.

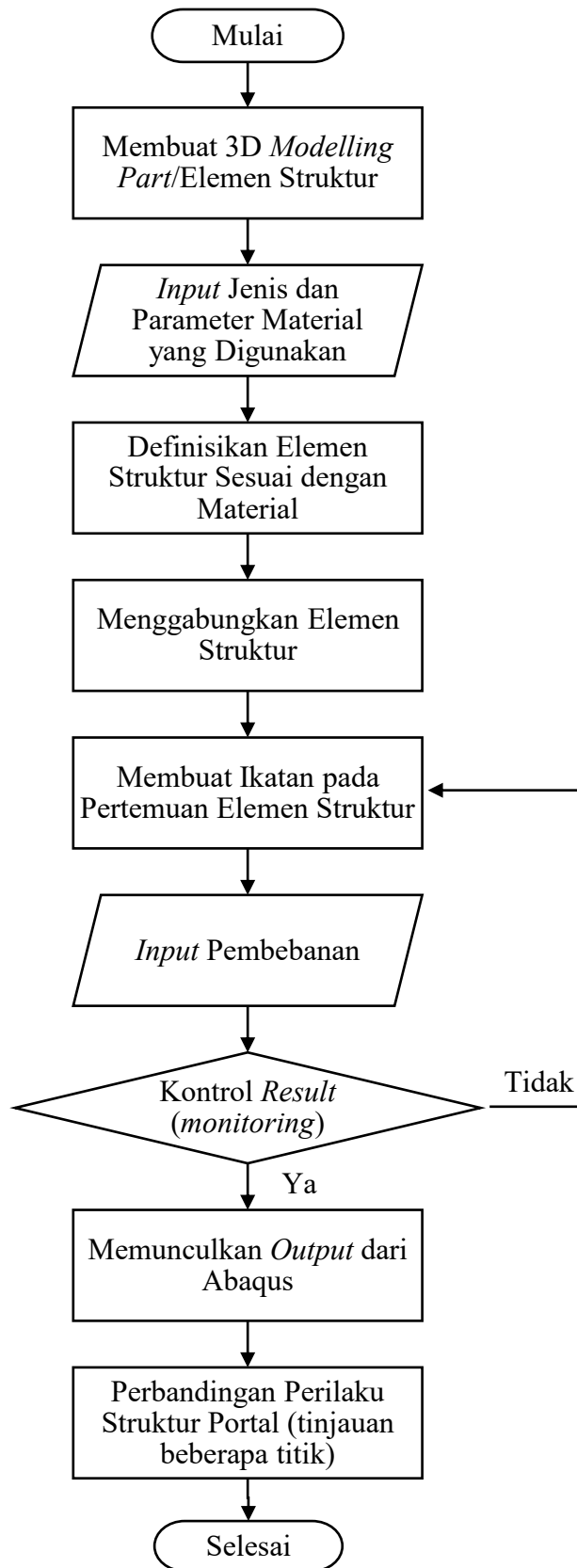


Gambar 3.15 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.16 Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)

Berdasarkan Gambar 3.17 kontrol hasil dilakukan untuk melihat suatu pemodelan terdapat kesalahan *input* parameter atau tidak, selain itu umumnya kesalahan terdapat ikatan elemen. Jika tampilan *job* hasil muncul dengan keterangan “*completed*” maka perbandingan gaya dalam dapat dilakukan.



Gambar 3.17 Bagan Alir Analisis Perencanaan di *Software* Abaqus