

3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini berlokasi di Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Citra satelit lokasi penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Citra Satelit Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth Pro V.7.3.6.10201, 14 Januari 2025)

3.2 Data Penelitian

Berdasarkan cara memperolehnya, data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai jenis sumber data, seperti studi yang telah dilakukan sebelumnya, arsip atau dokumen yang dikeluarkan oleh instansi yang berwenang, dan lain sebagainya untuk kepentingan studi yang bersangkutan. Dengan demikian, individu atau suatu organisasi/kelompok tidak secara langsung melakukan observasi terhadap objek yang diteliti. Data sekunder pada penelitian ini adalah data penyelidikan tanah.

3.2.1.1 Data Penyelidikan Tanah

Data penyelidikan tanah lapangan berupa data hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT). Data ini digunakan untuk analisis beban gempa linier dinamik *response spectrum*.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

Jenis Tanah	Kedalaman		n_i	d_i	$\frac{d_i}{n_i}$
	<i>From</i>	<i>To</i>			
	(m)	(m)		(m)	
Lempung, Kaku	0	5	9	5	0,56
Lempung, Sangat Kaku	5	9	29	4	0,14
Lempung Tuffan, Kaku	9	12	12	3	0,25
Tuff Halus, Kaku	12	15	14	3	0,21
Tuff Halus, Sangat Kaku	15	19,5	23	4,5	0,20
Tuff Halus, Keras	19,5	30,45	60	10,95	0,18
Σ				30,45	1,54
$\bar{N} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{n_i}}$				19,83	

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pada Tugas Akhir ini data sekunder beserta cara memperoleh dan penggunaannya disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Penelitian Yang Diperoleh Melalui Studi Dokumen

No.	Data	Sumber Data	Keterangan
1	Data penyelidikan tanah	Penyedia jasa konsultan spesialis survey bawah tanah	Analisis beban seismik linier dinamik <i>response spectrum</i>

3.4 Analisis Penelitian

3.4.1 Pembebanan

3.4.1.1 Beban Mati

1. Berat mati sendiri (DL)

Berat sendiri elemen struktur seperti pelat, balok, kolom, dan lainnya akan dihitung secara otomatis oleh *software* CSI ETABS.

2. Beban mati tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan minimum yang bekerja pada elemen pelat lantai, pelat atap, dan balok mengacu pada Tabel 2.2. Pada Tugas Akhir ini beban mati tambahan yang digunakan tercantum pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 SIDL Yang Digunakan Dalam Perencanaan (kN/m²)

Beban Mati Tambahan	kN/m ²
Beban Mati Tambahan Pelat Lantai	
1. Pengisi lantai 1 cm (pasir)	0,15
2. Keramik 19 mm dengan pengikat (mortar) 25 mm	1,10
3. <i>Plafond (fiberboard</i> akustik)	0,05
4. Penggantung langit-langit (baja)	0,10
5. <i>Mechanical ducting</i>	0,19
Beban Mati Tambahan Pelat Atap	
1. Lapisan <i>waterproof</i> (bitumen, <i>smooth surface</i>)	0,07
2. <i>Plafond (fiberboard</i> akustik)	0,05
3. Penggantung langit-langit (baja)	0,10
4. <i>Mechanical ducting</i>	0,19

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

Berdasarkan Pasal 4.5.3.2 SNI Nomor 8900 Tahun 2020, diketahui beban dinding bata beton berongga tidak digrout dengan tebal dinding 150 mm adalah 1,45 kN/m². Beban tersebut perlu dikali dengan tinggi dinding untuk mendapatkan beban garis dalam kN/m yang kemudian disalurkan pada balok.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban dinding pada balok} &= q \times h_{\text{dinding}} \\
 &= 1,45 \times 3,5 \\
 &= 5,08 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Jadi, SIDL yang disalurkan pada balok adalah sebesar 5,08 kN/m.

3.4.1.2 Beban Hidup

Beban hidup minimum yang bekerja pada elemen pelat lantai dan pelat atap mengacu pada Tabel 2.3. Pada Tugas Akhir ini beban hidup yang digunakan pada pelat lantai dan pelat atap tercantum pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Beban Hidup (LL) Yang Digunakan Dalam Perencanaan (kN/m^2)

Beban Hidup	kN/m^2
Beban Hidup Pelat Lantai	
1. Ruang pasien	1,92
2. Koridor di atas lantai pertama	3,83
3. WC	1,92
4. Lobi	4,79
5. Ruang administrasi	4,79
Beban Hidup Pelat Atap	
1. Atap datar tidak dihuni	0,96
Beban Hidup Pelat Tangga	4,79

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2020)

3.4.1.3 Parameter Beban Gempa

1. Kategori risiko bangunan

Bangunan yang direncanakan pada Tugas Akhir ini adalah gedung rumah sakit. Berdasarkan Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dapat diketahui nilai kategori risiko gedung dan faktor keutamaan gempa.

Kategori risiko gedung = IV

Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,50

2. Parameter percepatan batuan dasar

Berdasarkan Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 dapat diketahui parameter percepatan batuan dasar pada lokasi penelitian sebagai berikut:

Periode pendek (S_s) = 0,95

Periode 1 detik (S_1) = 0,40

3. Kelas situs dan koefisien situs

Berdasarkan data penyelidikan tanah lapangan dapat diketahui kelas situs tanah pada lokasi penelitian Tugas Akhir ini adalah tanah sedang ($15 < \bar{N} < 50$). Berdasarkan kelas situs dan nilai S_s serta S_1 dapat ditentukan koefisien situs untuk lokasi penelitian ini dengan mengacu pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12.

$$\text{Periode pendek } (F_a) = 1,10$$

$$\text{Periode 1 detik } (F_v) = 1,90$$

4. Parameter *response spectral*

Parameter *response spectral* pada lokasi penelitian dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.14) dan Persamaan (2.15).

$$\begin{aligned} \text{Periode pendek } (S_{MS}) &= F_a \times S_s \\ &= 0,9 \times 1,1 \\ &= 1,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode 1 detik } (S_{M1}) &= F_v \times S_1 \\ &= 0,4 \times 1,9 \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

5. Parameter percepatan *spectral* desain

Parameter percepatan *spectral* desain pada lokasi penelitian dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.16) dan Persamaan (2.17).

$$\begin{aligned} \text{Periode pendek } (S_{DS}) &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,05 \\ &= 0,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode 1 detik } (S_{D1}) &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,76 \\ &= 0,51 \end{aligned}$$

6. Periode fundamental struktur

Berdasarkan Gambar 2.6 dapat diketahui nilai periode panjang (T_L) untuk lokasi penelitian ini sebesar 6 detik. Selain itu, nilai T_0 dan T_s dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_0 &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \times 0,2 \\
 &= \frac{0,51}{0,70} \times 0,2 \\
 &= 0,15 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,51}{0,70} \\
 &= 0,73 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

7. Kategori desain seismik

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} dapat diketahui kategori desain seismik untuk lokasi penelitian ini termasuk ke dalam kategori desain D.

8. Parameter sistem pemikul gaya seismik

Pada Tugas Akhir ini terdapat dua jenis sistem pemikul gaya seismik yaitu sistem ganda dan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Hal ini diakibatkan oleh pemisahan struktur sehingga terdapat pemodelan yang memiliki *shear wall* pada strukturnya dan terdapat pemodelan yang tidak memiliki *shear wall* pada strukturnya.

Koefisien modifikasi <i>response</i> , R (SRPMK)	= 8
Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 (SRPMK)	= 3
Faktor pembesaran defleksi, C_d (SRPMK)	= 5,50
Koefisien modifikasi <i>response</i> , R (sistem ganda)	= 7
Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 (sistem ganda)	= 2,50
Faktor pembesaran defleksi, C_d (sistem ganda)	= 5,50

9. Faktor skala beban gempa

Faktor skala beban gempa dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Faktor skala (SRPMK beton bertulang)} = \frac{I_e g}{R}$$

$$= \frac{1,5 \times 9806,67}{8}$$

$$= 1838,75$$

$$\text{Faktor skala (sistem ganda)} = \frac{I_e g}{R}$$

$$= \frac{1,5 \times 9806,67}{7}$$

$$= 2101,43$$

3.4.1.4 Beban Angin

1. Kecepatan angin dasar

Disebutkan oleh Pasal 26.5.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 kecepatan angin dasar untuk perhitungan beban angin ditentukan dari Buku Peta Angin Indonesia. Namun, pada saat dilakukan penyusunan Tugas Akhir ini tidak ada informasi yang pasti mengenai Buku Peta Angin Indonesia. Kecepatan angin dasar yang digunakan mengacu pada standar beban angin desain untuk wilayah Asia Pasifik yang dikeluarkan oleh Australia (HB 212-2002). Berdasarkan standar tersebut nilai kecepatan angin untuk wilayah Indonesia diketahui sebesar 32,10 m/s untuk periode ulang 50 tahunan dan 39,90 m/s untuk periode ulang 500 tahunan.

2. Faktor arah angin

Dari Tabel 2.4 diketahui nilai faktor arah angin (K_d) untuk struktur Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) sebesar 0,85.

3. Kategori eksposur

Lokasi penelitian Tugas Akhir ini berada di wilayah perkotaan atau pinggiran kota. Berdasarkan Pasal 26.7 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 wilayah perkotaan atau pinggiran kota termasuk ke dalam kategori eksposur B.

4. Faktor topografi

Dikarenakan keadaan dan lokasi situs penelitian Tugas Akhir ini tidak memenuhi kondisi yang disebutkan dalam Pasal 26.8.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020, maka nilai faktor topografi (K_{zt}) ditentukan besarnya adalah 1.

5. Faktor elevasi permukaan tanah

Diketahui lokasi penelitian Tugas Akhir ini berada pada ketinggian 210 meter di atas permukaan laut. Faktor elevasi permukaan tanah dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

$$\begin{aligned} K_e &= e^{-0,000119Z_g} \\ &= e^{-0,000119(210)} \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

6. Koefisien eksposur tekanan kecepatan

Koefisien eksposur tekanan kecepatan dihitung menggunakan Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5) dengan nilai Z_g dan α diketahui untuk kategori eksposur B sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_g &= 365,76 \text{ meter} \\ \alpha &= 7 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan koefisien eksposur tekanan kecepatan untuk setiap lantai di ketinggiannya masing-masing tercantum pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Hasil Perhitungan Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Lantai Ke-	Z_g	K_z
1	3,50	0,58
2	7	0,65
3	10,50	0,73
4	14	0,79
5	17,50	0,84
6	21	0,89
7	24,50	0,93
8	28	0,96
9	31,50	1,00
10	35	1,03

Koefisien tekanan kecepatan pada tinggi atap rata-rata (K_h) dihitung menggunakan persamaan yang sama untuk menghitung nilai K_z . Pada tinggi atap rata rata ($h = 35$ meter) diperoleh nilai K_h sebesar 1,03.

7. Tekanan kecepatan

Tekanan kecepatan dihitung menggunakan Persamaan (2.6). Hasil perhitungan tekanan kecepatan tercantum pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Hasil Perhitungan Tekanan Kecepatan Setiap Lantai (N/m^2)

Lantai Ke-	q_z
1	468,12
2	527,79
3	592,61
4	643,38
5	685,73
6	722,40
7	754,93
8	784,29
9	811,13
10	835,92

Tekanan kecepatan pada tinggi atap rata-rata (q_h) dihitung menggunakan persamaan yang sama untuk menghitung nilai q_z . Pada tinggi atap rata-rata ($h = 35$ meter) diperoleh q_h sebesar 835,92 N/m^2 .

8. Efek hembusan angin

Disebutkan dalam Pasal 26.11 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 faktor efek hembusan angin dapat ditentukan berdasarkan kategori kekakuan bangunan. Bangunan dikategorikan sebagai struktur yang kaku jika memiliki frekuensi alami sama dengan atau lebih besar dari 1 Hz.

Sistem penahan gaya lateral = Beton Sistem Rangka Penahan Momen (SRPM)

$$\begin{aligned}
 \text{Frekuensi alami pendekatan, } n_a &= \frac{43,5}{h^{0,9}} \\
 &= \frac{43,5}{35^{0,9}} \\
 &= 1,77 \text{ Hz} > 1 \text{ Hz (Kaku)}
 \end{aligned}$$

Suatu bangunan gedung atau struktur lain yang kaku faktor efek hembusan angin dapat diambil sebesar 0,85.

9. Koefisien tekanan internal

Disebutkan dalam Pasal 26.12 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 koefisien tekanan internal dapat ditentukan berdasarkan klasifikasi ketertutupan gedung.

$$\begin{aligned}
 \text{Klasifikasi ketertutupan gedung} &= \text{Gedung Tertutup} \\
 \text{Koefisien tekanan internal positif} &= 0,18 \\
 \text{Koefisien tekanan internal negatif} &= -0,18
 \end{aligned}$$

10. Koefisien tekanan eksternal

a. Arah angin tegak lurus sumbu X

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi horizontal gedung tegak lurus arah angin, B} &= 84 \text{ meter} \\
 \text{Dimensi horizontal gedung sejajar arah angin, L} &= 35 \text{ meter} \\
 L/B &= 0,42
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2.7 dapat diketahui koefisien tekanan eksternal untuk arah angin tegak lurus sumbu X sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Dinding di sisi angin datang} &= 0,8 \\
 \text{Dinding di sisi angin pergi} &= -0,5
 \end{aligned}$$

b. Arah angin tegak lurus sumbu Y

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi horizontal gedung tegak lurus arah angin, B} &= 35 \text{ meter} \\
 \text{Dimensi horizontal gedung sejajar arah angin, L} &= 84 \text{ meter} \\
 L/B &= 2,4
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2.7 dapat diketahui koefisien tekanan eksternal untuk arah angin tegak lurus sumbu Y sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Dinding di sisi angin datang} &= 0,8 \\
 \text{Dinding di sisi angin pergi} &= -0,28
 \end{aligned}$$

11. Tekanan angin desain

Tekanan angin desain dihitung menggunakan Persamaan (2.8) dengan ketentuan:

- Nilai $q = q_z$ untuk dinding di sisi angin datang dan $q = q_h$ untuk dinding di sisi angin pergi dan dinding tepi.
- Nilai $q_i = q_h$ untuk dinding di sisi angin datang, dinding di sisi angin pergi, dan dinding tepi.

Hasil perhitungan tekanan angin desain untuk setiap lantai di ketinggian masing-masing tercantum pada Tabel 3.7 sampai dengan Tabel 3.9.

Tabel 3.7 Tekanan Angin Desain Dinding Di Sisi Angin Datang Untuk Arah Angin Tegak Lurus Sumbu X Dan Sumbu Y (N/m^2)

Lantai Ke-	q	G	C_p	q_i	GC_{pi}	p
1	468,12	0,85	0,80	835,92	-0,18	468,79
2	527,79	0,85	0,80	835,92	-0,18	509,36
3	592,61	0,85	0,80	835,92	-0,18	553,44
4	643,38	0,85	0,80	835,92	-0,18	587,96
5	685,73	0,85	0,80	835,92	-0,18	616,76
6	722,40	0,85	0,80	835,92	-0,18	641,70
7	754,93	0,85	0,80	835,92	-0,18	663,82
8	784,29	0,85	0,80	835,92	-0,18	683,78
9	811,13	0,85	0,80	835,92	-0,18	702,03
10	835,92	0,85	0,80	835,92	-0,18	718,89

Tabel 3.8 Tekanan Angin Desain Dinding Di Sisi Angin Pergi Untuk Arah Angin Tegak Lurus Sumbu X (N/m^2)

Lantai Ke-	q	G	C_p	q_i	GC_{pi}	p
1	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
2	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
3	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80

Lantai Ke-	q	G	C _p	q _i	GC _{pi}	p
4	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
5	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
6	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
7	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
8	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
9	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80
10	835,92	0,85	-0,50	835,92	-0,18	204,80

Tabel 3.9 Tekanan Angin Desain Dinding Di Sisi Angin Pergi Untuk Arah Angin Tegak Lurus Sumbu Y (N/m²)

Lantai Ke-	q	G	C _p	q _i	GC _{pi}	p
1	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
2	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
3	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
4	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
5	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
6	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
7	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
8	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
9	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48
10	835,92	0,85	-0,28	835,92	-0,18	48,48

12. Distribusi tekanan angin desain ke permukaan kolom

Tekanan angin desain yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya adalah tekanan angin desain pada dinding (per satuan luas). Beban merata per satuan luas tersebut kemudian didistribusikan ke permukaan kolom menjadi beban merata per satuan panjang dengan cara dikalikan dengan jarak antar kolom (panjang bentang kolom). Hasil perhitungan distribusi tekanan angin desain ke permukaan kolom tercantum pada Tabel 3.10 dan Tabel 3.11.

Tabel 3.10 Tekanan Angin Desain Pada Permukaan Kolom Untuk Arah Angin
Tegak Lurus Sumbu X (kN/m)

Lantai Ke-	Sisi Datang		Sisi Pergi	
	Bentang (m)	p (kN/m)	Bentang (m)	p (kN/m)
1	3,50	1,64	3,50	0,72
2	3,50	1,78	3,50	0,72
3	3,50	1,94	3,50	0,72
4	3,50	2,06	3,50	0,72
5	3,50	2,16	3,50	0,72
6	3,50	2,25	3,50	0,72
7	3,50	2,32	3,50	0,72
8	3,50	2,39	3,50	0,72
9	3,50	2,46	3,50	0,72
10	3,50	2,52	3,50	0,72

Tabel 3.11 Tekanan Angin Desain Pada Permukaan Kolom Untuk Arah Angin
Tegak Lurus Sumbu Y (kN/m)

Lantai Ke-	Sisi Datang		Sisi Pergi	
	Bentang (m)	p (kN/m)	Bentang (m)	p (kN/m)
1	6	2,81	6	0,29
2	6	3,06	6	0,29
3	6	3,32	6	0,29
4	6	3,53	6	0,29
5	6	3,70	6	0,29
6	6	3,85	6	0,29
7	6	3,98	6	0,29
8	6	4,10	6	0,29
9	6	4,21	6	0,29
10	6	4,31	6	0,29

3.4.1.5 Kombinasi Pembebanan

1. Kombinasi dasar

Tabel 3.12 Kombinasi Pembebanan Dasar Untuk Metode Ultimit

Jenis Kombinasi	Beban Mati		Beban Hidup	
	DL	SIDL	LL	LR
Kombinasi Dasar 1	1,4	1,4	-	-
Kombinasi Dasar 2	1,2	1,2	1,6	0,5
Kombinasi Dasar 3a	1,2	1,2	1,0	1,6

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

2. Kombinasi dasar dengan beban angin

Berdasarkan Gambar 2.2 SPGAU bangunan gedung harus didesain untuk kasus beban angin yaitu:

a. Kasus 1

Pada kasus 1, tekanan angin desain tegak lurus sumbu X dan tegak lurus sumbu Y bekerja secara terpisah. Kombinasi pembebanan untuk beban angin kasus 1 dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Kombinasi Pembebanan Dasar Dengan Beban Angin Untuk Metode Ultimit

Jenis Kombinasi	Beban Mati		Beban Hidup		Beban Angin	
	DL	SIDL	LL	LR	WX	WY
Kombinasi Dasar 3b-2	1,2	1,2	-	1,6	0,5	-
Kombinasi Dasar 3b-3	1,2	1,2	-	1,6	-	0,5
Kombinasi Dasar 4a-2	1,2	1,2	1,0	0,5	1,0	
Kombinasi Dasar 4a-3	1,2	1,2	1,0	0,5	-	1,0
Kombinasi Dasar 5b	0,9	0,9	-	-	1,0	-
Kombinasi Dasar 5c	0,9	0,9	-	-	-	1,0

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

b. Kasus 3

Pada kasus 3, sebesar 75% tekanan angin desain yang tegak lurus sumbu X bekerja bersamaan dengan 75% tekanan angin desain yang tegak lurus sumbu Y. Kombinasi pembebanan untuk beban angin kasus 3 dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Kombinasi Pembebanan Dasar Dengan Beban Angin Untuk Metode Ultimit (Lanjutan)

Jenis Kombinasi	Beban Mati		Beban Hidup		Beban Angin	
	DL	SIDL	LL	LR	WX	WY
Kombinasi Dasar 3b-1	1,2	1,2	-	1,6	0,375	0,375
Kombinasi Dasar 4a-1	1,2	1,2	1,0	0,5	0,75	0,75
Kombinasi Dasar 5a	0,9	0,9	-	-	0,75	0,75

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

3. Kombinasi beban gempa

Berdasarkan Pasal 4.2.2.3 SNI Nomor 1726 Tahun 2019 kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

- $1,2D + L + E_v + E_h$
- $0,9D - E_v + E_h$

Nilai E_v dan E_h ditentukan sebagai berikut:

$$E_h = 0,2S_{DS}D$$

$$E_h = 0,2 \times 0,7 \times D$$

$$E_h = 0,14D \text{ (D adalah pengaruh beban mati)}$$

$$E_v = \rho Q_e$$

$$E_v = 1,3Q_e \text{ (}\rho \text{ adalah faktor redundansi, untuk kategori desain seismik D nilainya dapat diambil sebesar 1,3)}$$

Untuk pengaruh beban gempa vertikal (E_v), Q_e merupakan hasil dari penerapan gaya gempa horizontal secara serentak dalam dua arah *orthogonal* (100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus nya). Kombinasi pembebanan dengan beban seismik dapat dilihat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Kombinasi Beban Seismik Untuk Metode Ultimit

Jenis Kombinasi	Beban Mati		Beban Hidup		E_v	
	DL	SIDL	LL	LR	X	Y
Kombinasi 6a-1 (X)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	1,3	0,39
Kombinasi 6a-2 (X)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	1,3	-0,39

Jenis Kombinasi	Beban Mati		Beban Hidup		E _v	
	DL	SIDL	LL	LR	X	Y
Kombinasi 6a-3 (X)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	-1,3	0,39
Kombinasi 6a-4 (X)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	-1,3	-0,39
Kombinasi 6b-1 (Y)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	0,39	1,3
Kombinasi 6b-2 (Y)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	-0,39	1,3
Kombinasi 6b-3 (Y)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	0,39	-1,3
Kombinasi 6b-4 (Y)	1,2+0,14	1,2+0,14	1,0	-	-0,39	-1,3
Kombinasi 7a-1 (X)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	1,3	0,39
Kombinasi 7a-2 (X)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	1,3	-0,39
Kombinasi 7a-3 (X)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	-1,3	0,39
Kombinasi 7a-4 (X)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	-1,3	-0,39
Kombinasi 7b-1 (Y)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	0,39	1,3
Kombinasi 7b-2 (Y)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	-0,39	1,3
Kombinasi 7b-3 (Y)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	0,39	-1,3
Kombinasi 7b-4 (Y)	0,9+0,14	0,9+0,14	-	-	-0,39	-1,3

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019a)

3.4.2 Preliminary Design

3.4.2.1 Data Teknis Gedung

Data teknis bangunan yang direncanakan pada Tugas Akhir ini meliputi:

Fungsi Bangunan	: Gedung Rawat Inap Rumah Sakit
Jumlah Lantai	: 10 Lantai
Tinggi Lantai	: 3,5 meter
Lebar Bangunan	: 35 meter
Panjang Bangunan	: 84 meter
Tinggi Bangunan	: 35 meter
Jenis Struktur	: Struktur beton bertulang
Jenis Atap	: Atap datar tidak dihuni

3.4.2.2 Material Konstruksi

1. Beton

Berdasarkan Pasal 19.2.1.1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 mutu beton yang digunakan untuk sistem rangka pemikul momen khusus sekurangnya adalah 21 MPa. Pada Tugas Akhir ini direncanakan beton sebagai berikut:

Jenis beton	=	Beton normal
f'_c	=	30 MPa $\geq$ 21 MPa (memenuhi)
Modulus elastisitas (E_c)	=	$4700\sqrt{f'_c}$
	=	$4700\sqrt{30}$
	=	25742,96 MPa
Faktor modifikasi (λ)	=	1

2. Baja tulangan

Berdasarkan Pasal 20.2.2.5 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 baja tulangan ulir nonprategang yang digunakan untuk menahan momen akibat beban seismik, gaya aksial atau kombinasi momen dan gaya aksial pada sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, dan semua komponen dari dinding struktural khusus harus mengacu ke salah satu dari:

- ASTM A706M mutu 420
- ASTM A615M mutu 280
- ASTM A615M mutu 420

Berdasarkan Tabel 2 ASTM A706/A706M-22a dapat diketahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan 420 sebagai berikut:

Kuat tarik minimum	=	550 MPa
Kuat leleh minimum ($f_{y,min}$)	=	420 MPa
Kuat leleh maksimum ($f_{y,max}$)	=	540 MPa

Baja tulangan yang direncanakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Type tulangan	=	Baja tulangan ulir (BjTS)
Mutu	=	420

Kuat leleh rencana (f_y, f_{yt})	=	420 MPa $\leq$ 420 MPa (memenuhi Pasal 20.2.2.4 SNI Nomor 2847 Tahun 2019)
Modulus elastisitas (E_s)	=	200000 MPa (Pasal 20.2.2.2 SNI Nomor 2847 Tahun 2019)
Diameter tulangan longitudinal	=	D13, D19, D22, D25, dan D32
Diameter tulangan transversal	=	D13

3.4.2.3 Balok Induk

1. Data perencanaan

Jenis beton	=	Beton normal
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	=	420 MPa
Bentang balok terpanjang, l	=	6000 mm

2. Tinggi balok

Berdasarkan Pasal 9.3.1.1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 tinggi minimum balok dimana material yang digunakan adalah beton normal dan baja tulangan memiliki kuat leleh $\leq$ 420 MPa adalah sebagai berikut:

- a. $h_{\text{minimum}} = \frac{l}{18,5}$ (untuk balok dengan perletakan menerus satu sisi).
- b. $h_{\text{minimum}} = \frac{l}{21}$ (untuk balok dengan perletakan menerus dua sisi).

Pada Tugas Akhir ini terdapat balok dengan perletakan menerus satu sisi dan menerus dua sisi, maka tinggi minimum yang digunakan adalah nilai terbesar, yaitu:

$$\begin{aligned}
 h_{\text{minimum}} &= \frac{l}{21} \\
 h_{\text{minimum}} &= \frac{6000}{21} \\
 h_{\text{minimum}} &= 285,71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Atau,

$$h_{\text{minimum}} = \frac{l}{18,5}$$

$$h_{\text{minimum}} = \frac{6000}{18,5}$$

$$h_{\text{minimum}} = 324,32 \text{ mm}$$

Maka, tinggi balok induk yang direncanakan sekurangnya adalah 324,32 mm. Pada Tugas Akhir ini direncanakan tinggi balok induk adalah 600 mm.

3. Lebar balok

Berdasarkan Pasal 18.6.2 .1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 lebar minimum balok adalah nilai terbesar dari $0,3h$ dan 250 mm.

$$b_{\text{minimum}} = 0,3 \times h$$

$$b_{\text{minimum}} = 0,3 \times 600$$

$$b_{\text{minimum}} = 180 \text{ mm}$$

Atau,

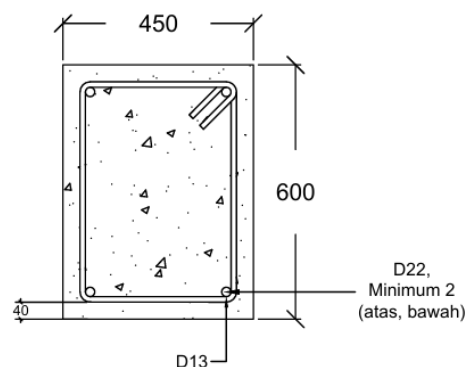
$$b_{\text{minimum}} = 250 \text{ mm}$$

Maka, lebar balok induk yang direncanakan sekurangnya adalah 250 mm. Pada Tugas Akhir ini direncanakan lebar balok induk adalah 450 mm.

4. Rekapitulasi dimensi balok rencana

Tabel 3.16 *Preliminary Design* Balok Induk

Jenis Balok	h_{min}	b_{min}	h_{pakai}	b_{pakai}
Balok Induk (B_I)	324,32	250	600	450



Gambar 3.2 *Preliminary Design* Balok Induk (B_I)

3.4.2.4 Balok Bordes

1. Data perencanaan

Jenis beton = Beton normal

Kuat leleh baja tulangan (f_y) = 420 MPa

Bentang balok terpanjang, l = 3500 mm

2. Tinggi balok

Pada Tugas Akhir ini balok bordes diasumsikan menggunakan perletakan sederhana (tidak menerus pada kedua sisinya), maka berdasarkan Pasal 9.3.1.1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 tinggi minimum balok dimana material yang digunakan adalah beton normal dan baja tulangan memiliki kuat leleh ≤ 420 MPa adalah sebagai berikut:

$$h_{\text{minimum}} = \frac{l}{16}$$

$$h_{\text{minimum}} = \frac{3500}{16}$$

$$h_{\text{minimum}} = 218,75 \text{ mm}$$

Maka, tinggi balok bordes yang direncanakan sekurangnya adalah 218,75 mm. Pada Tugas Akhir ini direncanakan tinggi balok bordes adalah 450 mm.

3. Lebar balok

Berdasarkan Pasal 18.6.2 .1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 lebar minimum balok adalah nilai terbesar dari $0,3h$ dan 250 mm.

$$b_{\text{minimum}} = 0,3 \times h$$

$$b_{\text{minimum}} = 0,3 \times 450$$

$$b_{\text{minimum}} = 135 \text{ mm}$$

Atau,

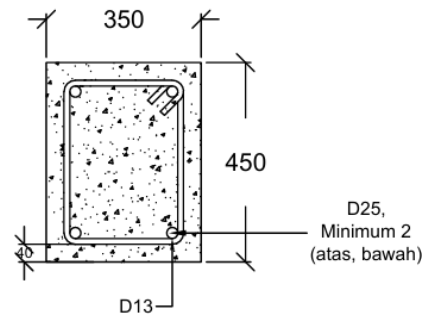
$$b_{\text{minimum}} = 250 \text{ mm}$$

Maka, lebar balok bordes yang direncanakan sekurangnya adalah 250 mm. Pada Tugas Akhir ini direncanakan lebar balok bordes adalah 350 mm.

4. Rekapitulasi dimensi balok rencana

Tabel 3.17 *Preliminary Design* Balok Bordes (mm)

Jenis Balok	$h_{\min}$	$b_{\min}$	h_{pakai}	b_{pakai}
Balok Anak (B_A)	218,75	250	450	350

Gambar 3.3 *Preliminary Design* Balok Bordes (B_B)

3.4.2.5 Pelat

1. Data perencanaan

Jenis beton	=	Beton normal
Kuat mutu beton	=	30 MPa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	=	420 MPa
Bentang panjang pelat	=	6000 mm
Bentang pendek pelat	=	3500 mm
Tinggi balok induk	=	600 mm
Lebar balok induk	=	450 mm
Tebal pelat rencana	=	150 mm

2. Tebal pelat

a. Perbandingan dimensi pelat

Bentang bersih pelat sumbu panjang:

$$l_n = l - \frac{b_{\text{balok}}}{2} - \frac{b_{\text{balok}}}{2}$$

$$l_n = 6000 - \frac{450}{2} - \frac{450}{2}$$

$$l_n = 5550 \text{ mm}$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek:

$$l_n = l - \frac{b_{\text{balok}}}{2} - \frac{b_{\text{balok}}}{2}$$

$$l_n = 3500 - \frac{450}{2} - \frac{450}{2}$$

$$l_n = 3050 \text{ mm}$$

Nilai β :

$$\beta = \frac{l_{n,\text{panjang}}}{l_{n,\text{pendek}}}$$

$$\beta = \frac{5550}{3050}$$

$$\beta = 1,82$$

b. Mencari lebar efektif balok

Berdasarkan Pasal 8.4.1.8 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 suatu balok mencakup bagian pelat yang ditentukan sebagai berikut:

$$h_b = h - h_f$$

$$h_b = 600 - 150$$

$$h_b = 450 \text{ mm}$$

Nilai terkecil dari:

$$b_e = b + 2h_b$$

$$b_e = 450 + 2 \times 450$$

$$b_e = 1350 \text{ mm}$$

Atau,

$$b_e = b + 8h_f$$

$$b_e = 450 + 8 \times 150$$

$$b_e = 1650 \text{ mm}$$

Maka, lebar efektif balok induk yang mencakup bagian pelat adalah 1350 mm.

c. Mencari faktor modifikasi k

Faktor modifikasi k dapat dihitung sebagai berikut (Resita & Muhammadiyah, 2017):

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{1350}{450} - 1\right) \left(\frac{150}{600}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{150}{600}\right) + 4 \left(\frac{150}{600}\right)^2 + \left(\frac{1350}{450} - 1\right) \left(\frac{150}{600}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{1350}{450} - 1\right) \left(\frac{150}{600}\right)}$$

$$k = 1,59$$

d. Momen inersia

Momen inersia balok dihitung:

$$I_{BI} = \frac{1}{12} b h^3 k$$

$$I_{BI} = \frac{1}{12} \times 450 \times 600^3 \times 1,59$$

$$I_{BI} = 12909375000,00 \text{ mm}^4$$

Momen inersia pelat bentang 6000 mm dihitung:

$$I_{P1} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_{P1} = \frac{1}{12} \times 6000 \times 150^3$$

$$I_{P1} = 1687500000,00 \text{ mm}^4$$

Momen inersia pelat bentang 3500 mm dihitung:

$$I_{P2} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_{P2} = \frac{1}{12} \times 3500 \times 150^3$$

$$I_{P2} = 984375000,00 \text{ mm}^4$$

e. Modulus elastisitas beton

Berdasarkan Pasal 19.2.2.1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 modulus elastisitas beton normal dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 4700\sqrt{30}$$

$$E_c = 25742,96 \text{ MPa}$$

f. Nilai a_{fm}

Balok induk bentang 6000, a_1 :

$$a_1 = \frac{E_c I_{BI}}{E_c I_{P1}}$$

$$a_1 = \frac{25742,96 \times 12909375000,00}{25742,96 \times 1687500000,00}$$

$$a_1 = 7,65$$

Balok induk bentang 3500, a_2 :

$$a_2 = \frac{E_c I_{BI}}{E_c I_{P2}}$$

$$a_2 = \frac{25742,96 \times 12909375000,00}{25742,96 \times 984375000,00}$$

$$a_2 = 13,11$$

Nilai a_{fm} :

$$a_{fm} = \frac{2a_1 + 2a_2}{4}$$

$$a_{fm} = \frac{2 \times 7,65 + 2 \times 13,11}{4}$$

$$a_{fm} = 10,38$$

g. Tebal minimum pelat

Berdasarkan Pasal 8.3.1.2 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 tebal minimum pelat nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya dan nilai $a_{fm} > 2$ adalah terbesar dari:

$$h_{f,\text{minimum}} = 90 \text{ mm}$$

Atau,

$$h_{f,\text{minimum}} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$h_{f,\text{minimum}} = \frac{5550 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1,82}$$

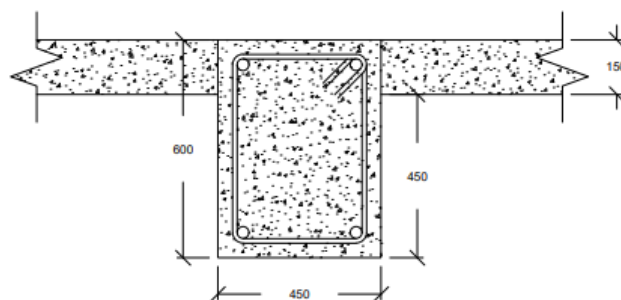
$$h_{f,\text{minimum}} = 116,56 \text{ mm}$$

Maka, tebal pelat yang direncanakan sekurangnya adalah 116,56 mm.

3. Rekapitulasi perencanaan dimensi pelat

Tabel 3.18 *Preliminary Design Pelat* (mm)

Jenis Pelat	$h_{f,\text{min}}$	$h_{f,\text{pakai}}$	$h_{f,\text{pakai}} \geq h_{f,\text{min}}$
Pelat lantai (S_1)	116,56	150	Memenuhi
Pelat atap (S_2)	116,56	150	Memenuhi



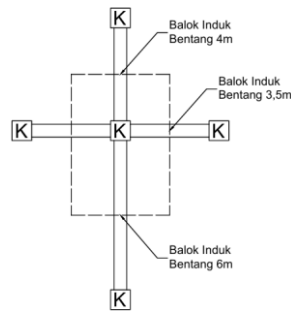
Gambar 3.4 *Preliminary Design Pelat*

3.4.2.6 Kolom

Dimensi awal kolom dapat ditentukan mengikuti langkah-langkah berikut:

1. Perhitungan beban tiap lantai

Perhitungan beban tiap lantai dilakukan dengan meninjau kolom K seperti yang tercantum pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kolom Yang Ditinjau Untuk Perencanaan Dimensi

a. Beban mati akibat berat sendiri struktur

Berdasarkan Gambar 3.5 berat elemen struktur yang dipikul oleh kolom tercantum pada Tabel 3.19 dan Tabel 3.20. Karena tebal pelat lantai sama dengan tebal pelat atap, maka beban sendiri elemen struktur yang dipikul oleh kolom dari lantai 1 sampai dengan lantai atap sama besar yaitu 115,82 kN.

b. Beban mati tambahan

Berdasarkan Gambar 3.5 beban mati tambahan lantai 1 sampai lantai 9 yang dipikul oleh kolom tercantum pada Tabel 3.21 dan beban mati tambahan atap yang dipikul oleh kolom tercantum pada Tabel 3.22.

c. Beban hidup

Beban hidup yang dipikul oleh kolom tercantum pada Tabel 3.23 dan Tabel 3.24.

Tabel 3.19 Beban Mati Sendiri (DL) Balok Yang Dipikul Kolom (kN)

Jenis Elemen	l (m)	b (m)	h (m)	Bj (Kn/m ³)	P (Kn)
Balok Induk	3,00	0,45	0,60	23,54	19,07
	2,00	0,45	0,60	23,54	12,71
	1,75	0,45	0,60	23,54	11,12
	1,75	0,45	0,60	23,54	11,12

Tabel 3.20 Beban Mati Sendiri (DL) Pelat Yang Dipikul Kolom (kN)

Jenis Elemen	P (m)	l (m)	h (m)	Bj (Kn/m ³)	P (Kn)
Pelat Lantai & Pelat Atap	2,00	1,75	0,150	23,54	12,36
	2,00	1,75	0,150	23,54	12,36

Jenis Elemen	P (m)	l (m)	h (m)	Bj (Kn/m ³)	P (Kn)
	3,00	1,75	0,150	23,54	18,54
	3,00	1,75	0,150	23,54	18,54

Tabel 3.21 SIDL Lantai 1 Sampai Lantai 9 Yang Dipikul Kolom (kN)

Jenis Beban	P (m)	l (m)	q (kN/m ²)	P (kN)
Pengisi lantai 1 cm (pasir)	5,00	3,50	0,15	2,63
Keramik 19 mm dengan pengikat (<i>mortar</i>) 25 mm	5,00	3,50	1,10	19,25
Plafond (<i>fiberboard acoutic</i>)	5,00	3,50	0,05	0,88
Penggantung langit-langit (baja)	5,00	3,50	0,10	1,75
<i>Mechanical ducting</i>	5,00	3,50	0,19	3,33
Dinding bata beton tidak berongga 150 mm	3,00	3,50	1,45	15,23
Dinding bata beton tidak berongga 150 mm	1,75	3,50	1,45	8,88
Dinding bata beton tidak berongga 150 mm	1,75	3,50	1,45	8,88

Tabel 3.22 SIDL Atap Yang Dipikul Kolom (kN)

Jenis Beban	P (m)	l (m)	q (kN/m ²)	P (kN)
Lapisan <i>waterproof</i> (<i>bitumen, smooth surface</i>)	5,00	3,50	0,07	1,23
Plafond (<i>fiberboard acoutic</i>)	5,00	3,50	0,05	0,88
Penggantung langit-langit (baja)	5,00	3,50	0,10	1,75
<i>Mechanical ducting</i>	5,00	3,50	0,19	3,33

Tabel 3.23 LL Lantai 1 Sampai Lantai 9 Yang Dipikul Kolom (kN)

Jenis Beban	P (m)	l (m)	q (kN/m ²)	P (kN)
Ruang pasien	3,50	3,00	1,92	20,16

Jenis Beban	P (m)	l (m)	q (kN/m ²)	P (kN)
Koridor di atas lantai pertama	3,50	2,00	3,83	26,81

Tabel 3.24 LL Atap Yang Dipikul Kolom (kN)

Jenis Beban	P (m)	l (m)	q (kN/m ²)	P (kN)
Atap datar tidak dihuni	5,00	3,50	0,96	16,80

2. Perhitungan beban aksial ultimit

Beban aksial ultimit yang dipikul oleh kolom dihitung dengan menggunakan kombinasi beban 1,4DL + 1,6LL. Dari perhitungan beban aksial yang tercantum pada Tabel 3.25 dapat diketahui P_u dipikul oleh kolom lantai 1 yaitu sebesar 3101230N.

3. Perencanaan dimensi kolom

Berdasarkan Pasal 10.5.2.1 SNI Nomor 8900 Tahun 2020 luas penampang kolom (A_g) dapat direncanakan sebagai berikut:

$$A_g = \frac{2P_u}{f'_c}$$

$$A_g = \frac{2 \times 3101230}{30}$$

$$A_g = 206748,67 \text{ mm}^2$$

Direncanakan kolom dengan $h = b$, maka:

$$h, b = \sqrt{A_g}$$

$$h, b = \sqrt{206748,67}$$

$$h, b = 454,67 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi kolom (b dan h) sekurangnya adalah 454,67 mm. Pada Tugas Akhir ini direncanakan kolom sebagai berikut:

$$b = 700 \text{ mm} (> 454,67 \text{ mm})$$

$$h = 700 \text{ mm} (> 454,67 \text{ mm})$$

Tabel 3.25 Perhitungan Beban Aksial Ultimit Kolom (kN)

Lantai	Beban Mati		Beban Hidup	Kombinasi	Beban Aksial
	DL	SIDL	LL	1,4D + 1,6L	P
Lantai 1	115,82	60,83	46,97	322,46	3101,23
Lantai 2	115,82	60,83	46,97	322,46	2778,77
Lantai 3	115,82	60,83	46,97	322,46	2456,31
Lantai 4	115,82	60,83	46,97	322,46	2133,85
Lantai 5	115,82	60,83	46,97	322,46	1811,39
Lantai 6	115,82	60,83	46,97	322,46	1488,93
Lantai 7	115,82	60,83	46,97	322,46	1166,47
Lantai 8	115,82	60,83	46,97	322,46	844,01
Lantai 9	115,82	60,83	46,97	322,46	521,55
Atap	115,82	7,19	16,80	199,09	199,09

4. Pengecekan dimensi kolom rencana

Berdasarkan Pasal 18.7.2.1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 kolom harus memenuhi ketentuan berikut:

a. Dimensi penampang terkecil

Dimensi penampang terkecil kolom harus lebih dari 300 mm.

$$b, h = 700 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

b. Perbandingan dimensi penampang

Perbandingan dimensi penampang terkecil dengan dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

$$\frac{b}{h} = \frac{700}{700}$$

$$\frac{b}{h} = 1 > 0,4 \text{ (memenuhi)}$$

c. Bentang bersih balok

Bentang bersih balok harus lebih dari 4d.

$$l_n = 1 - \frac{b_{\text{kolom}}}{2} - \frac{b_{\text{kolom}}}{2}$$

$$l_n = 3000 - \frac{700}{2} - \frac{700}{2}$$

$$l_n = 2300 \text{ mm}$$

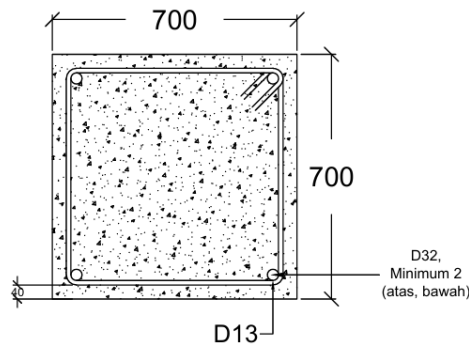
$$4d = 4(h_{\text{balok}} - d_s - d_b \text{ transversal} - 0,5d_b \text{ longitudinal})$$

$$4d = 4(600 - 40 - 13 - 0,5 \times 32)$$

$$4d = 2124 \text{ mm}$$

$$l_n \geq 4d = 2300 \geq 2124 \text{ (memenuhi)}$$

Karena semua persyaratan yang disebutkan di dalam terpenuhi maka dimensi kolom 700 mm × 700 mm dapat digunakan.



Gambar 3.6 *Preliminary Design* Kolom

3.4.2.7 *Shear Wall*

Berikut merupakan *preliminary design shear wall* pada Tugas Akhir ini:

1. Data perencanaan

$$\text{Panjang tidak tertumpu} = 4500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi tidak tertumpu} = 3500 \text{ mm}$$

2. Tebal minimum dinding

Panjang dinding tidak tertumpu lebih kecil dari tinggi dinding tidak tertumpu, maka nilai yang digunakan untuk perhitungan tebal minimum adalah nilai panjang dinding tidak tertumpu. Berdasarkan Pasal 11.3.1.1 SNI Nomor 2847 Tahun 2019 tebal minimum dinding geser adalah nilai terbesar dari:

$$h_{\text{minimum}} = \frac{1}{25} \times 3500$$

$$h_{\text{minimum}} = 140 \text{ mm}$$

Atau,

$$h_{\text{minimum}} = 100 \text{ mm}$$

Maka, tebal dinding geser yang direncanakan sekurangnya adalah 140 mm. Pada Tugas Akhir ini direncanakan tebal dinding geser adalah 350 mm.

3.4.2.8 Tangga

Berikut merupakan *preliminary design* tangga pada Tugas Akhir ini:

1. Data perencanaan

$$\text{Tinggi antar lantai (h)} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Panjang ruangan (P)} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar ruangan (L)} = 3,5 \text{ m}$$

2. Tinggi tanjakan dan lebar injakan

Tinggi tanjakan awal (t) yang digunakan adalah 18 cm dan 1 langkah (2t + i) sebesar 65 cm. Lebar injakan (i) dapat dihitung sebagai berikut:

$$2t + i = 65 \text{ cm}$$

$$i = 65 - 2t$$

$$= 65 - 2 \times 18$$

$$= 29 \text{ cm} \geq 24 \text{ cm (memenuhi)}$$

3. Kemiringan tangga

Kemiringan tangga (α) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\alpha = \cot\left(\frac{t}{i}\right)$$

$$= \cot\left(\frac{18}{29}\right)$$

$$= 31,8^\circ \text{ (memenuhi } 25^\circ - 40^\circ \text{)}$$

4. Jumlah tanjakan dan injakan

$$\text{Posisi bordes} = \frac{h}{2}$$

$$= \frac{350}{2}$$

$$= 175 \text{ cm}$$

$$n_t \text{ sebelum bordes} = \frac{175}{2}$$

$$= 9,72 \text{ buah (dibulatkan menjadi 10 buah)}$$

$$n_t \text{ setelah bordes} = n_t \text{ sebelum bordes}$$

$$= 10 \text{ buah}$$

$$n_t \text{ keseluruhan} = 20 \text{ buah}$$

$$n_i \text{ sebelum bordes} = n_t - 1$$

$$= 10 - 1$$

$$= 9 \text{ buah}$$

$$n_i \text{ setelah bordes} = n_i \text{ sebelum bordes}$$

$$= 9 \text{ buah}$$

5. Kontrol perancangan tangga

Nilai tanjakan dan kemiringan tangga yang baru dapat dihitung sebagai berikut:

$$t = \frac{h}{n_t}$$

$$= \frac{350}{20}$$

$$= 17,5 \text{ cm (memenuhi } 16,5 - 19 \text{ cm)}$$

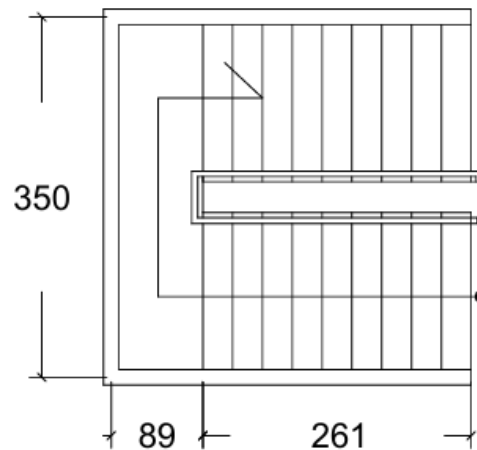
$$\alpha = \cot\left(\frac{t}{i}\right)$$

$$= \cot\left(\frac{17,5}{29}\right)$$

$$= 31,1^\circ \text{ (memenuhi } 25 - 40^\circ)$$

6. Panjang dan lebar tangga

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bordes} &= L - n_i \times i \\
 &= 3500 - 9 \times 29 \\
 &= 89 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.7 *Preliminary Design Tangga*

3.4.3 Pemodelan Struktur pada *Software*

3.4.3.1 Material

1. Beton normal f'_c 30 MPa

Pemodelan material beton pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.8.

2. Baja tulangan ulir (BjTS 420)

Pemodelan material baja tulangan pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.9.

3.4.3.2 Elemen Struktur

1. Pelat

Pemodelan elemen pelat pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.10.

2. Kolom

Pemodelan elemen kolom pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.12.

3. *Shear Wall*

Pemodelan elemen *shear wall* pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.11.

4. Balok Induk

Pemodelan elemen balok induk pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.13.

5. Balok Bordes

Pemodelan elemen balok bordes pada *software* CSI ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.14.

3.4.3.3 2D Design

1. Pemodelan tanpa dilatasi

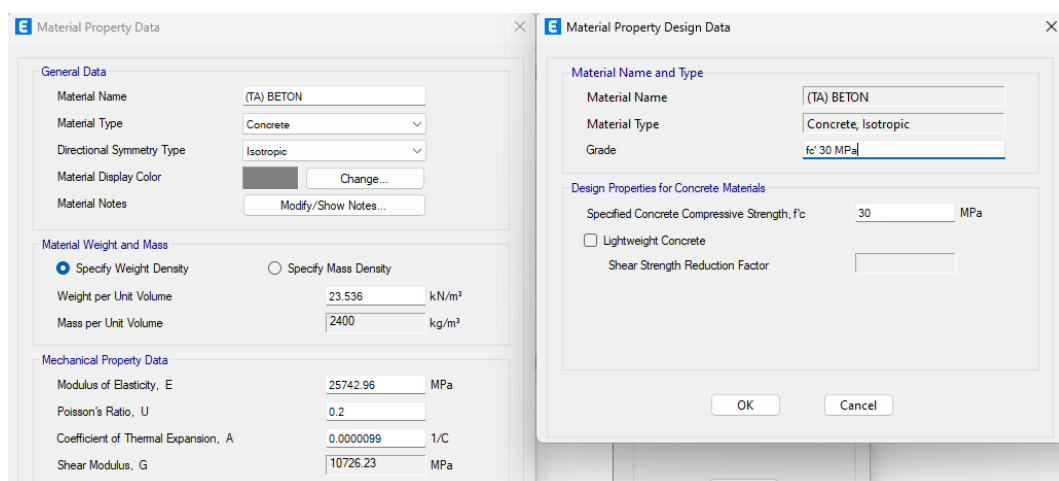
Desain 2D gedung tanpa sistem dilatasi dapat dilihat pada Gambar 3.15.

2. Pemodelan dengan dilatasi dua kolom

Desain 2D gedung dengan sistem dilatasi dua kolom dapat dilihat pada Gambar 3.16.

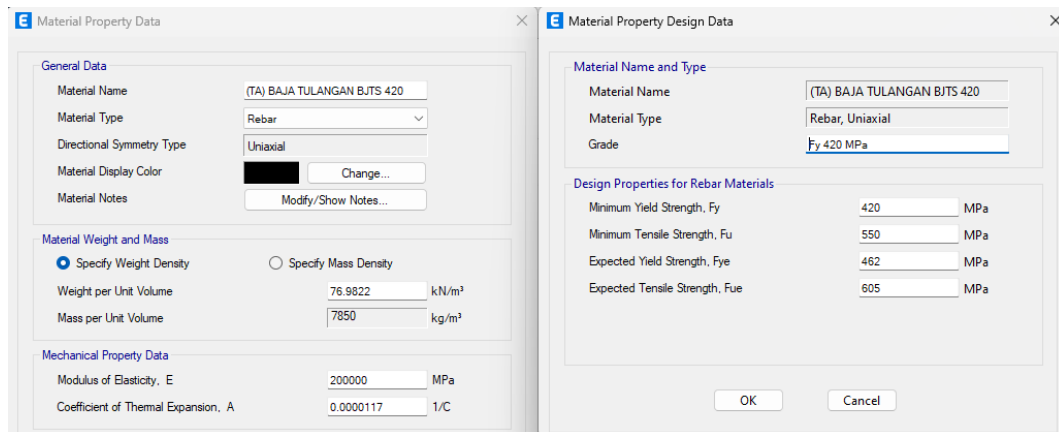
3. Pemodelan dengan dilatasi balok kantilever

Desain 2D gedung dengan sistem dilatasi balok kantilever dapat dilihat pada Gambar 3.17.

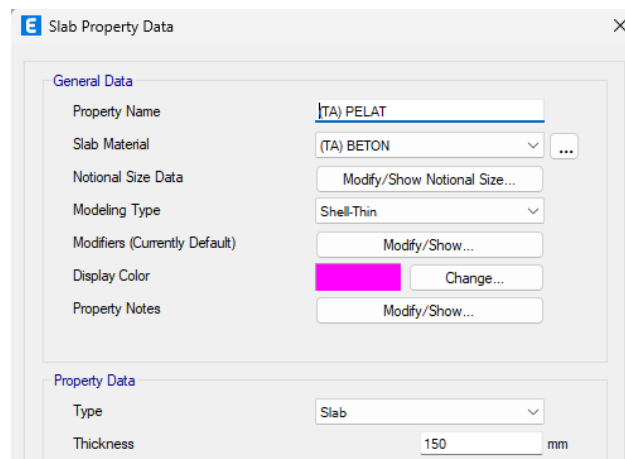


Gambar 3.8 Pemodelan Material Beton Pada *Software* CSI ETABS

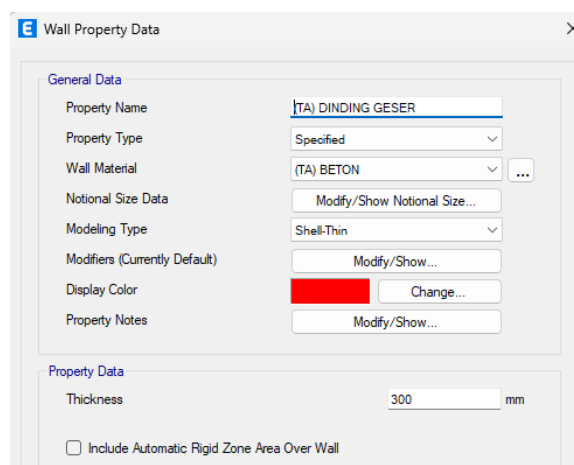
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)



Gambar 3.9 Pemodelan Material Baja Tulangan Pada *Software* CSI ETABS
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)



Gambar 3.10 Pemodelan Pelat Pada *Software* CSI ETABS
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)



Gambar 3.11 Pemodelan Dinding Geser Pada *Software* CSI ETABS
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: (TA) KOLOM 700X700

Material: (TA) BETON

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm

Width: 700 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

OK Cancel

(a)

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☒ P-M2-M3 Design (Column)

☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: (TA) BAJA TULANGAN BJTS 4: ...

Confinement Bars (Ties): (TA) BAJA TULANGAN BJTS 4: ...

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spirals

Check/Design

☐ Reinforcement to be Checked

☒ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 4

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 4

Longitudinal Bar Size and Area: 32 mm² ... 804 mm²

Corner Bar Size and Area: 32 mm² ... 804 mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: D13 ... 133 mm²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 150 mm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 6

Number of Confinement Bars in 2-dir: 6

OK Cancel

(b)

Gambar 3.12 (a) Pemodelan Penampang Kolom Pada *Software* CSI ETABS, (b) Pemodelan Tulangan Kolom Pada *Software* CSI ETABS
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: (TA) BALOK INDUK 600X450

Material: (TA) BETON

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 600 mm

Width: 450 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

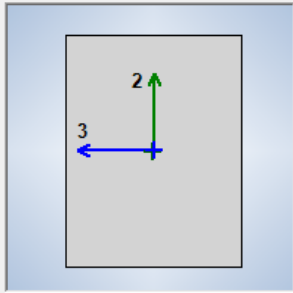
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel



(a)

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: (TA) BAJA TULANGAN BJTS 4: ...

Confinement Bars (Ties): (TA) BAJA TULANGAN BJTS 4: ...

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 64 mm

Bottom Bars: 64 mm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 mm²

Top Bars at J-End: 0 mm²

Bottom Bars at I-End: 0 mm²

Bottom Bars at J-End: 0 mm²

OK
Cancel

(b)

Gambar 3.13 (a) Pemodelan Penampang Balok Induk Pada *Software* CSI ETABS,
 (b) Pemodelan Tulangan Balok Induk Pada *Software* CSI ETABS
 (Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: (TA) BALOK BORDES 450X300

Material: (TA) BETON

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 450 mm

Width: 300 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Show Section Properties...

(a)

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: (TA) BAJA TULANGAN BJTS 4:

Confinement Bars (Ties): (TA) BAJA TULANGAN BJTS 4:

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 65.5 mm

Bottom Bars: 65.5 mm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 mm²

Top Bars at J-End: 0 mm²

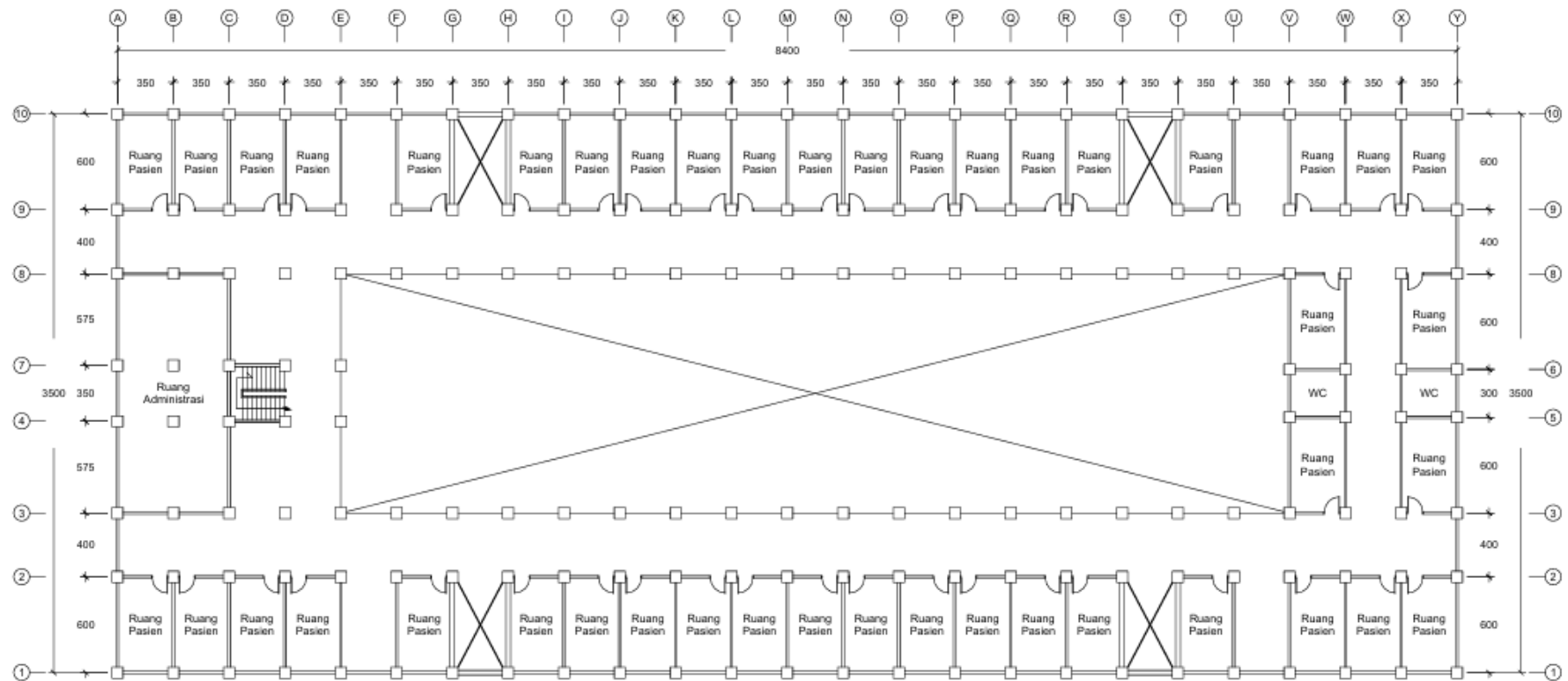
Bottom Bars at I-End: 0 mm²

Bottom Bars at J-End: 0 mm²

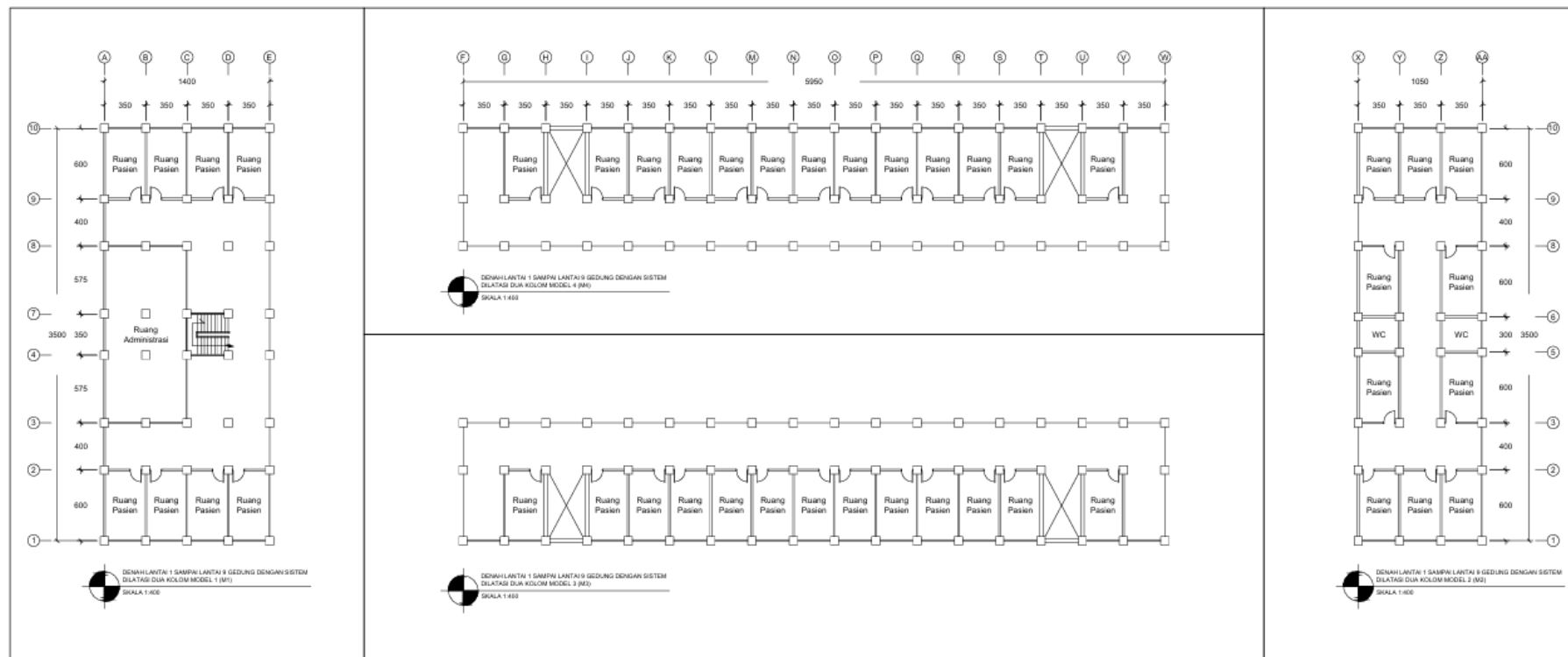
OK Cancel

(b)

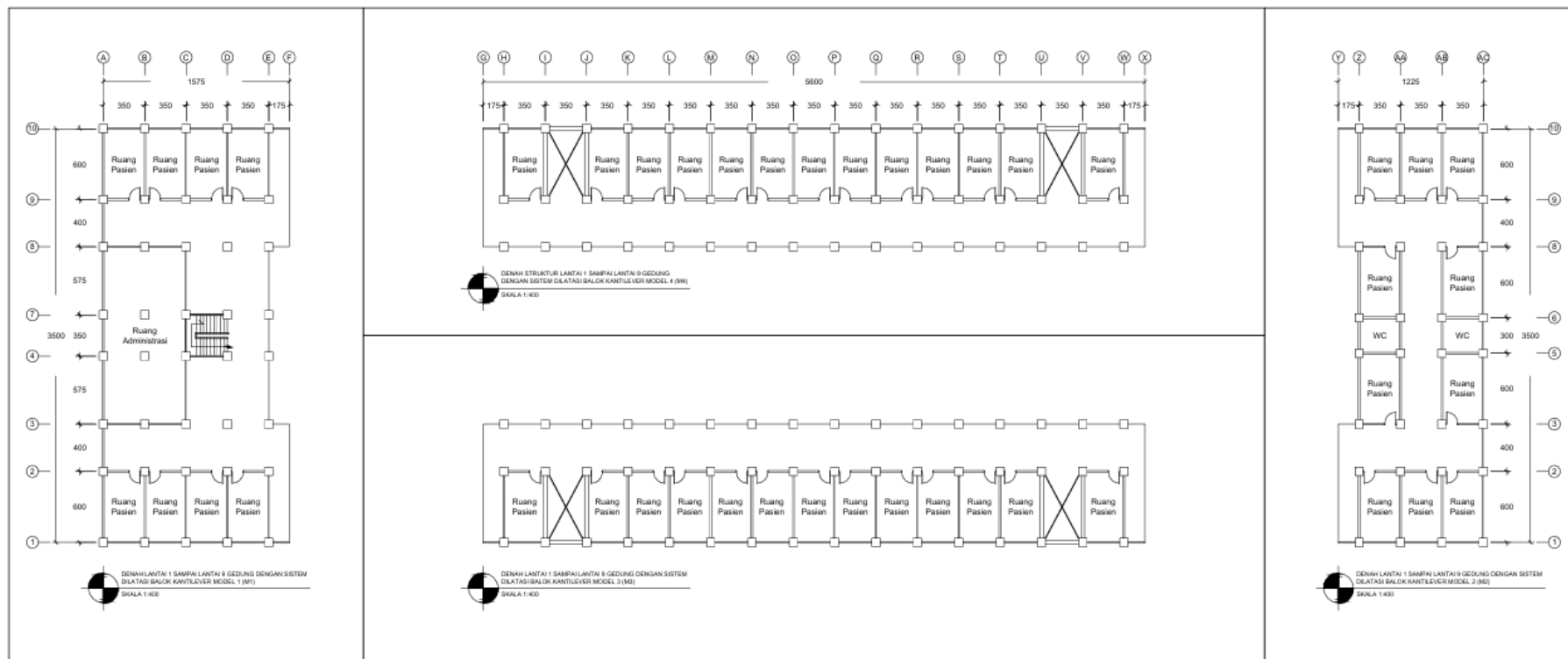
Gambar 3.14 (a) Pemodelan Penampang Balok Bordes Pada *Software* CSI ETABS, (b) Pemodelan Tulangan Balok Bordes Pada *Software* CSI ETABS
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)



Gambar 3.15 2D *Design* Gedung Tanpa Sistem Dilatasi
(Sumber: Autodesk AutoCAD *Student Version* 2017)



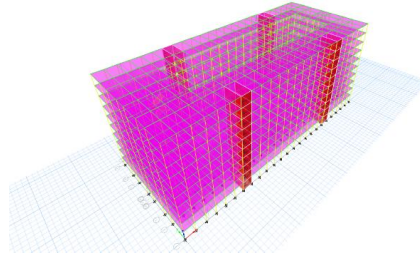
Gambar 3.16 2D Design Gedung Dengan Sistem Dilatasi Dua Kolom
(Sumber: Autodesk AutoCAD Student Version 2017)



Gambar 3.17 2D *Design* Gedung Dengan Sistem Dilatasi Balok Kantilever
(Sumber: Autodesk AutoCAD *Student Version* 2017)

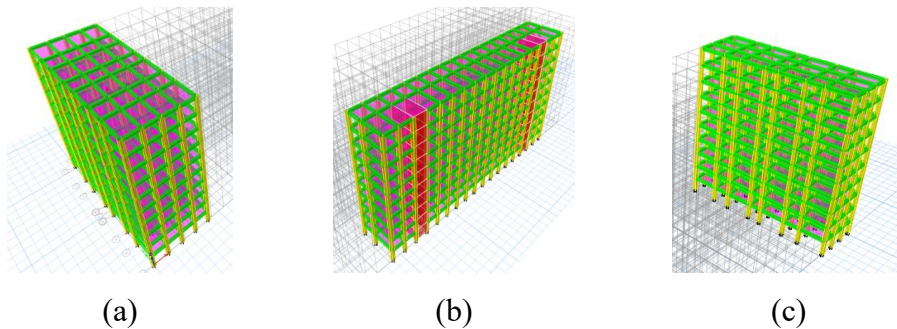
3.4.3.4 3D Design

1. Pemodelan tanpa dilatasi



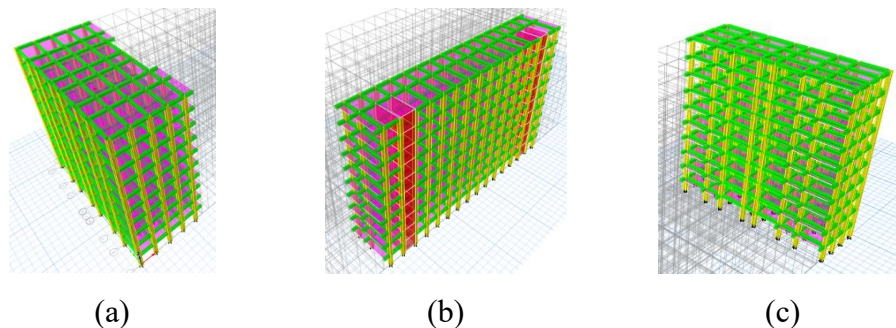
Gambar 3.18 Pemodelan Gedung Tanpa Dilatasi Pada *Software* ETABS
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)

2. Pemodelan dengan dilatasi dua kolom



Gambar 3.19 Pemodelan Gedung Dilatasi Dua Kolom Pada *Software* ETABS:
(a) M1, (b) M3 & M4, (c) M2
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)

3. Pemodelan dengan dilatasi balok kantilever



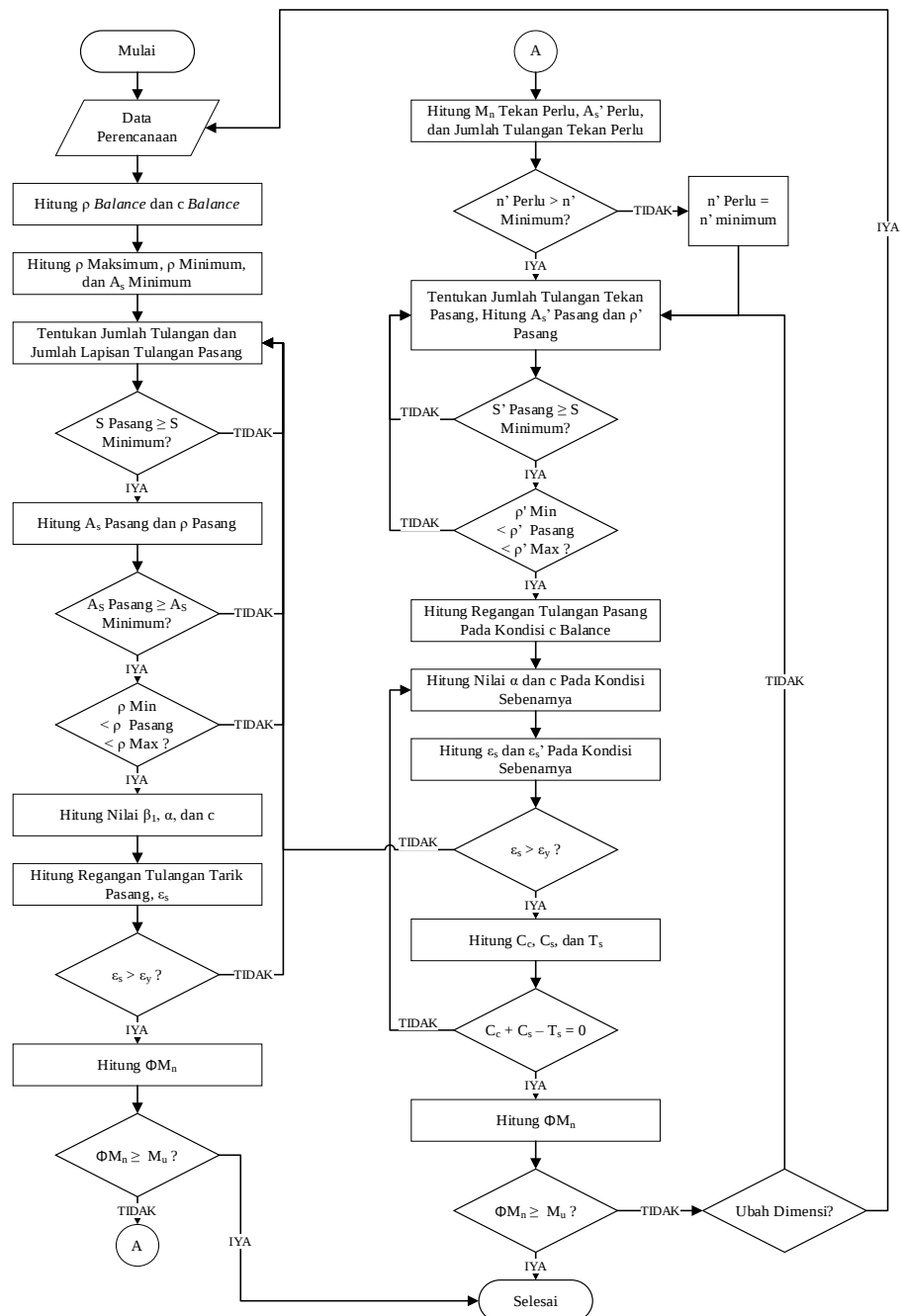
Gambar 3.20 Pemodelan Gedung Dilatasi Balok Kantilever Pada *Software* ETABS:
(a) M1, (b) M3 & M4, (c) M2
(Sumber: CSI ETABS V.22 *Trial License*, 2025)

3.4.4 Perencanaan Struktur Atas

3.4.4.1 Balok

1. Tulangan longitudinal

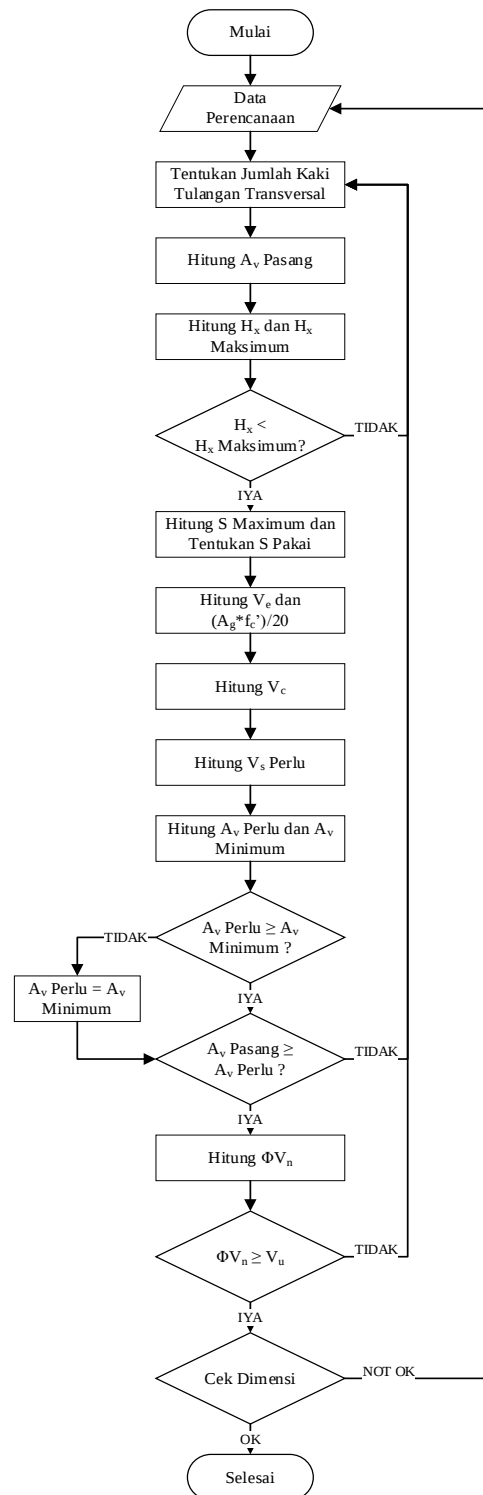
Perencanaan tulangan longitudinal balok dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Perencanaan Tulangan Longitudinal Balok

2. Tulangan transversal

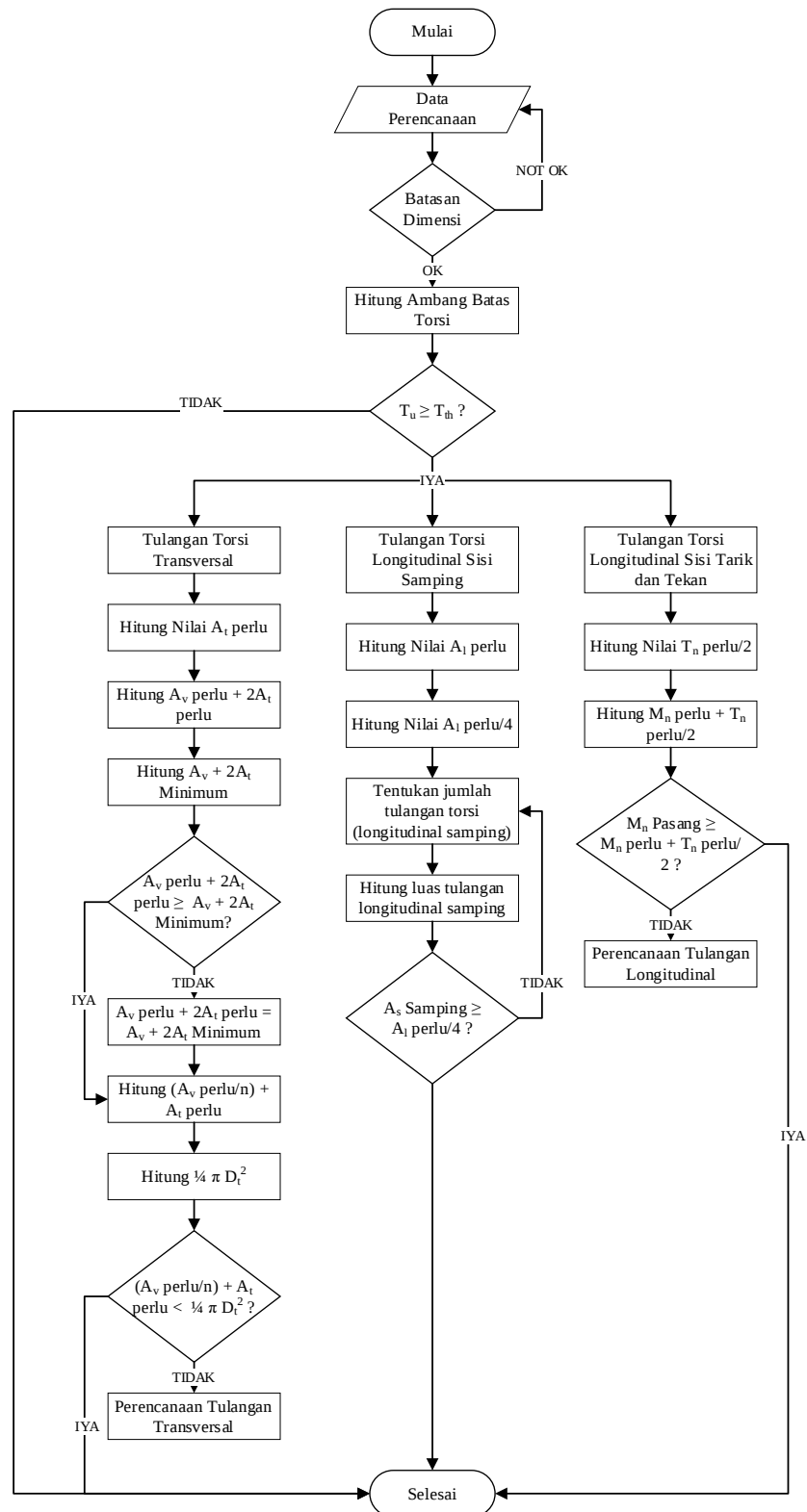
Perencanaan tulangan transversal balok dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Perencanaan Tulangan Transversal Balok

3. Tulangan Torsi

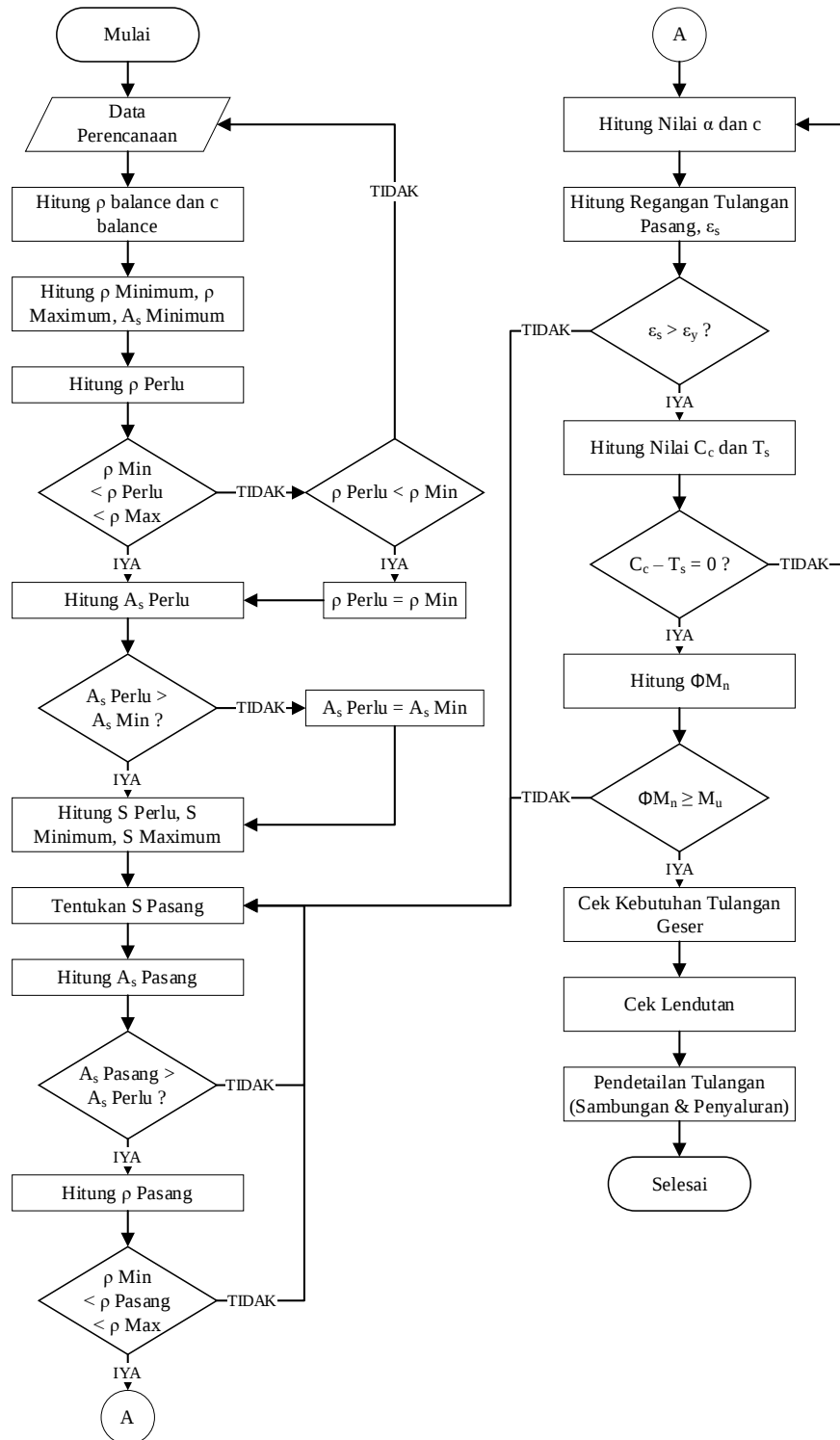
Perencanaan tulangan torsi balok dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Perencanaan Tulangan Torsi Balok

3.4.4.2 Pelat

Perencanaan tulangan pelat lantai, pelat atap, dan pelat tangga dapat dilihat pada Gambar 3.24.

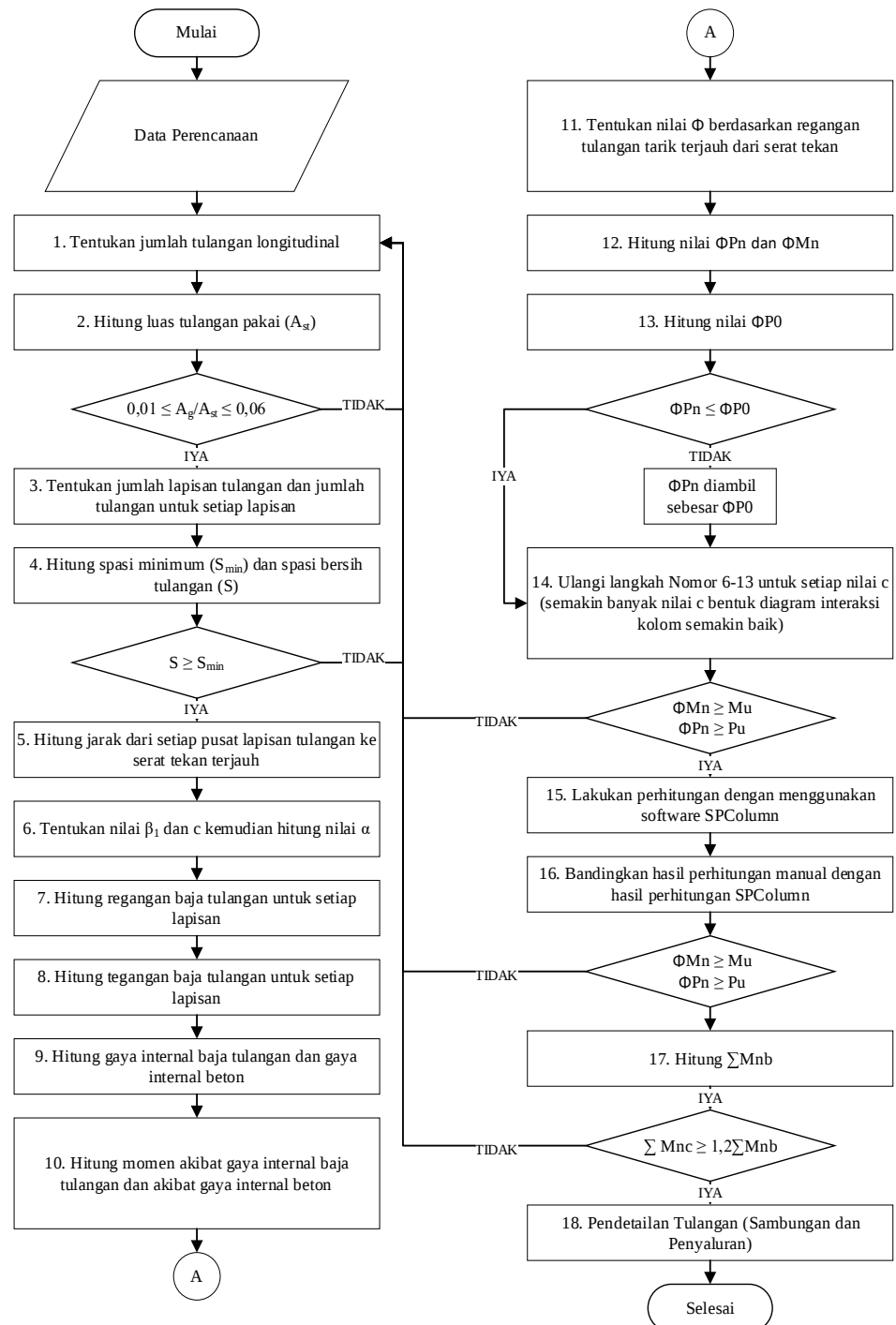


Gambar 3.24 Perencanaan Tulangan Pelat

3.4.4.3 Kolom

1. Tulangan longitudinal

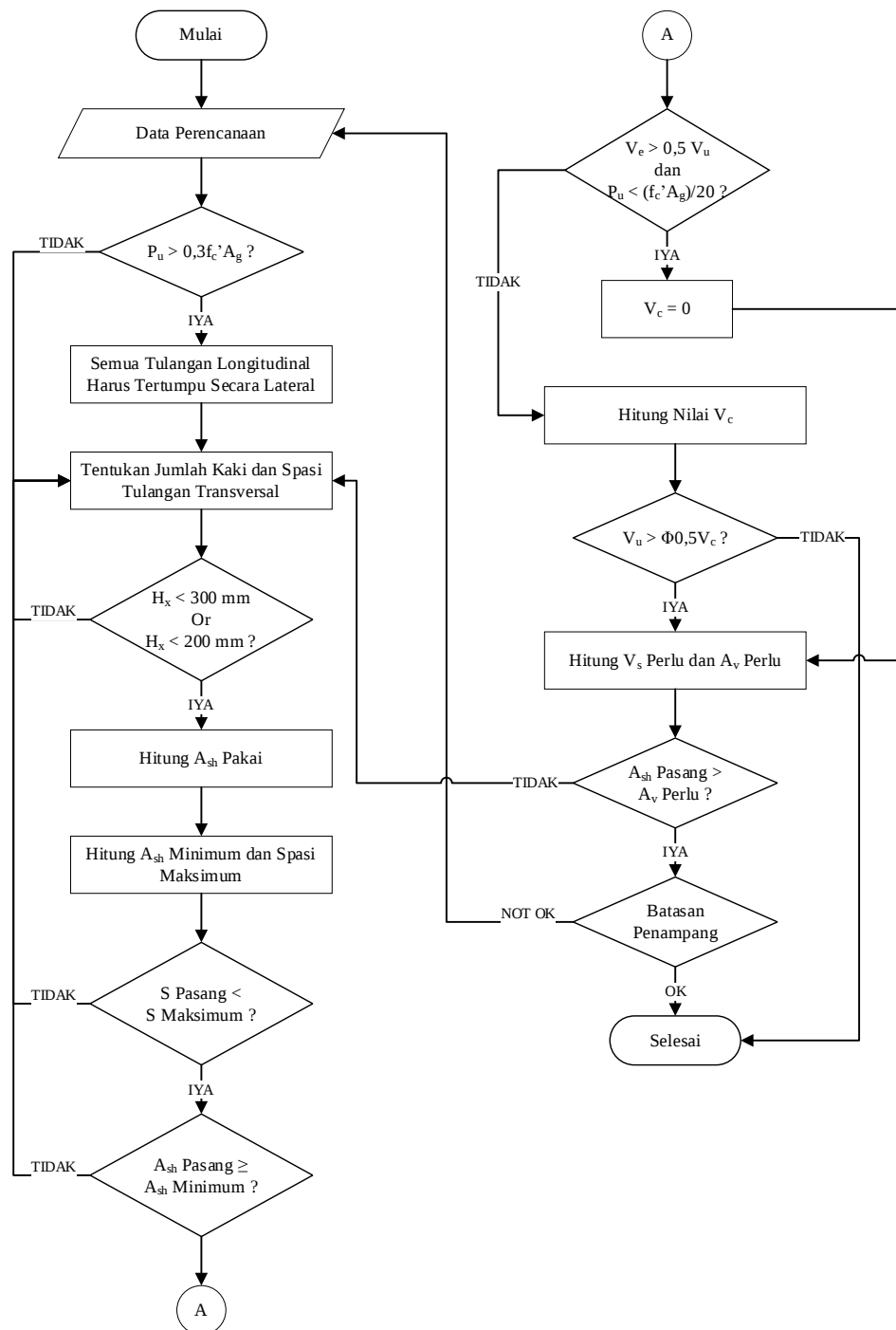
Perencanaan tulangan longitudinal kolom dapat dilihat pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Perencanaan Tulangan Longitudinal Kolom

2. Tulangan transversal

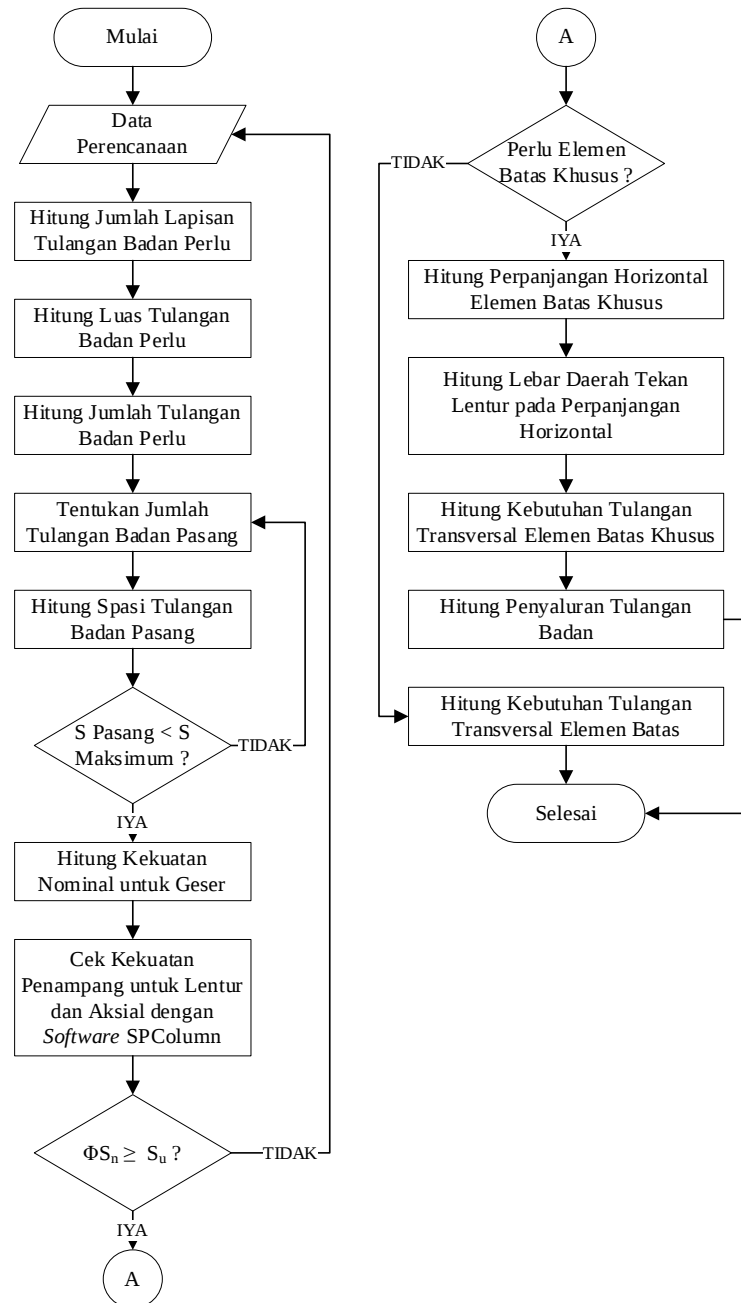
Perencanaan tulangan transversal kolom dapat dilihat pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Perencanaan Tulangan Transversal Kolom

3.4.4.4 Shear Wall

Perencanaan tulangan dinding geser dapat dilihat pada Gambar 3.27.



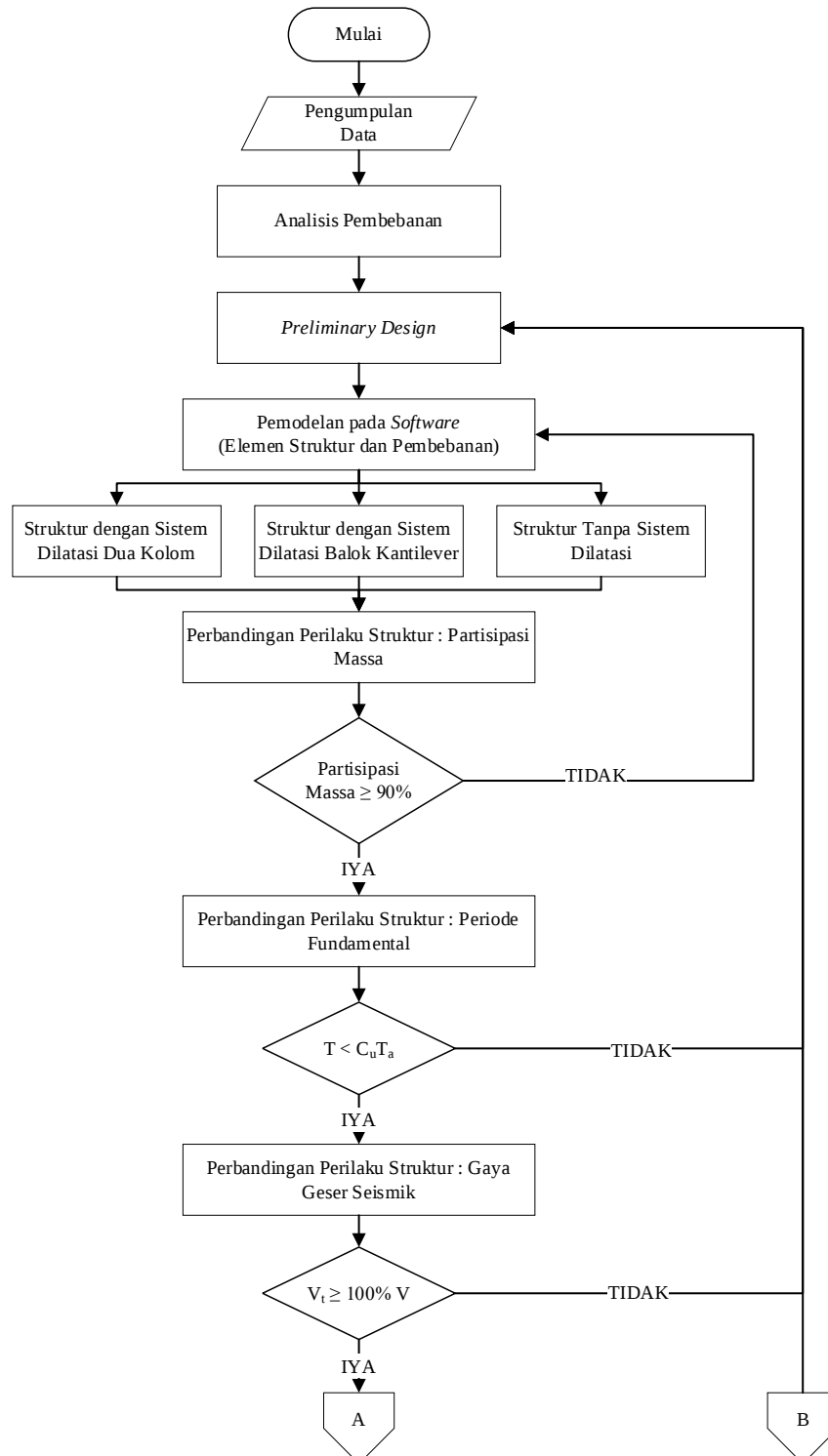
Gambar 3.27 Perencanaan Tulangan Dinding Geser

3.4.5 Penggambaran Hasil Perencanaan

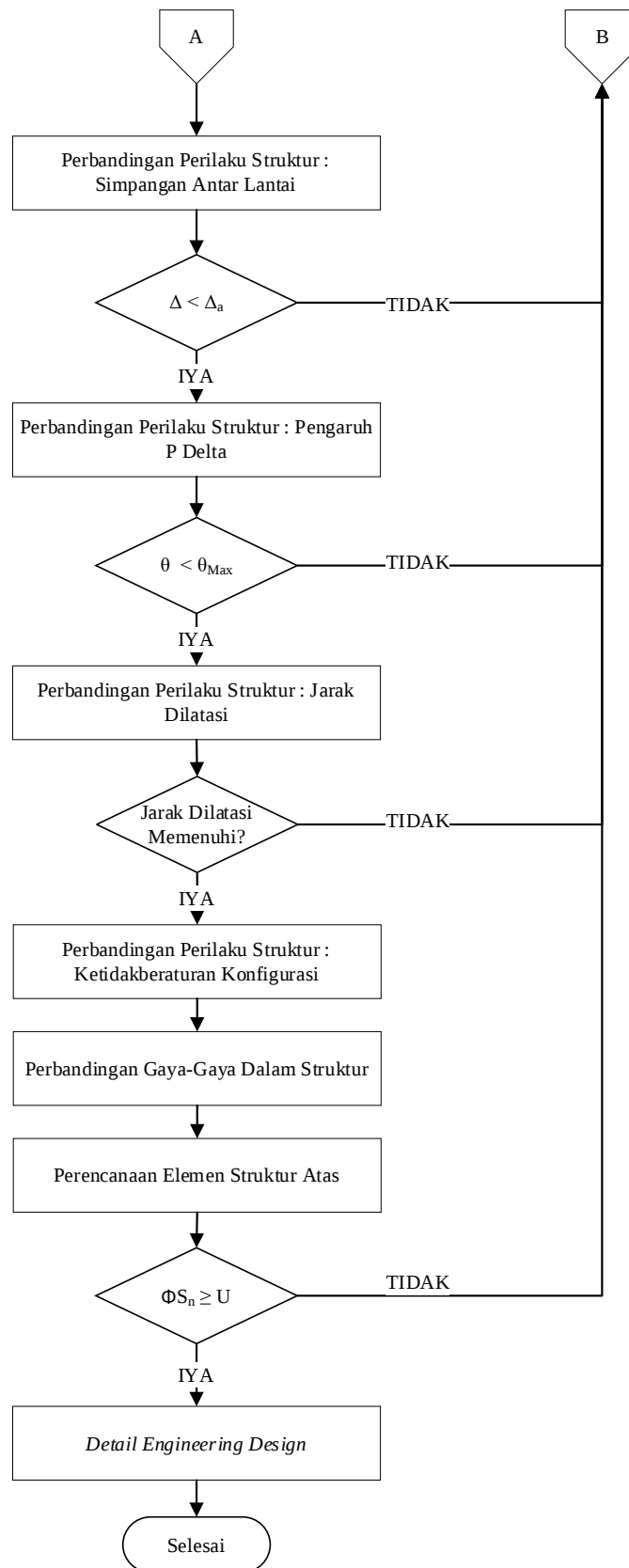
Penggambaran hasil perencanaan struktur atas dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk AutoCAD *Student Version* 2017.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian Tugas Akhir ini disajikan pada Gambar 3.28 dan Gambar 3.29.



Gambar 3.28 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.29 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)