

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISIS

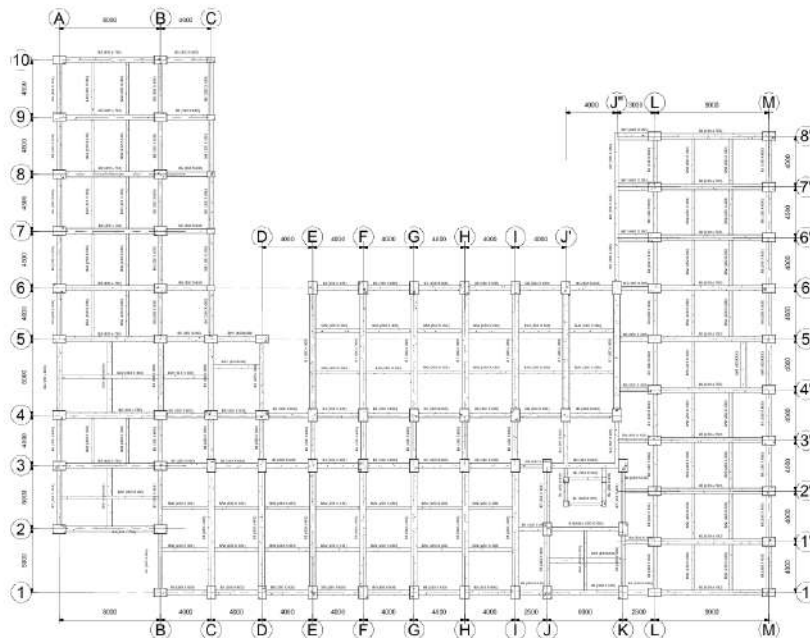
#### 4.1 Data Perencanaan

Data Perencanaan untuk struktur SMKN 37 Jakarta Selatan adalah sebagai berikut :

- a. Tipe bangunan : Sekolah
- b. Letak bangunan : Pasar Minggu, Jakarta Selatan
- c. Lebar bangunan : 56 m
- d. Panjang bangunan : 42 m
- e. Tinggi bangunan : 19,95 m
- f. Mutu beton :  $f'c$  25 Mpa ;  $f'c$  30 Mpa
- g. Mutu baja : BJTD fu 525 Mpa, fy 420 Mpa  
BJTP fu 350 Mpa, fy 280 Mpa

#### 4.2 Preliminary Design

##### 4.2.1 Preliminary Balok



**Gambar 4. 1** Denah Rencana Balok

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 1. Preliminary Balok Induk

Balok dengan bentang 9000 mm dan menggunakan mutu baja BjTS 420 dengan nilai  $f_y$  sebesar 420 MPa, maka perencanaan elemen struktur dapat dihitung berdasarkan ketentuan mutu material dan dimensi yang digunakan :

$$\begin{aligned} h_{\min} &= L/21 \\ &= 9000/21 \\ &= 429 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{pakai}} &= L / 12 \\ &= 9000/12 \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 1/2 \times h_{\text{pakai}} \\ &= 0,5 \times 750 \\ &= 375 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh dimensi balok sebesar (b/h) 375 × 750 mm, namun dalam perencanaan digunakan dimensi balok sebesar (b/h) 400 × 750 mm.

**Tabel 4. 1** Rekapitulasi Balok Induk pada Struktur Gedung

Tipe Balok	Panjang Bentang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)
B1	10000	500	900
B2	9000	400	750
B3	3000	300	450
B4'	4500	300	450
B4	4500	350	600
B6	6000	450	650
B7	5000	350	600
BB	6000	250	450
BL	2000	250	300

( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 2** Perbandingan Dimensi Balok Induk Eksisting dan Hasil Perhitungan

Tipe Balok	Eksisting (mm)	Perhitungan (mm)
B1	500 x 900	500 x 900
B2	400 x 700	400 x 750
B3	350 x 600	300 x 450
B4'	-	300 x 450

<b>Tipe Balok</b>	<b>Eksisting (mm)</b>	<b>Perhitungan (mm)</b>
B4	300 x 400	350 x 600
B6	-	450 x 650
B7	-	350 x 600
BB	-	250 x 450
BL	200 x 300	250 x 300

( Sumber : Penulis, 2026 )

## 2. Preliminary Balok Anak

Balok dengan bentang 4000 mm dan menggunakan mutu baja BjTS 420 dengan nilai  $f_y$  sebesar 420 MPa, maka perencanaan elemen struktur dapat dihitung berdasarkan ketentuan mutu material dan dimensi yang digunakan :

$$\begin{aligned} h_{min} &= L/21 \\ &= 4000/21 \\ &= 3333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{pakai} &= L / 12 \\ &= 4000/12 \\ &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 1/2 \times h_{pakai} \\ &= 0,5 \times 350 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh dimensi balok sebesar (b/h) 250 × 333 mm, namun dalam perencanaan digunakan dimensi balok dengan ukuran (b/h) 250 × 400 mm.

**Tabel 4. 3** Rekapitulasi Balok Anak pada Struktur Gedung

<b>Tipe Balok</b>	<b>Panjang Bentang (mm)</b>	<b>Tinggi (mm)</b>	<b>Lebar (mm)</b>
Ba1	4000	250	400
Ba2	3000	250	400
Ba3	4000	200	300

( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 4** Perbandingan Dimensi Balok Anak Eksisting dan Hasil Perhitungan

<b>Tipe Balok</b>	<b>Eksisting (mm)</b>	<b>Perhitungan (mm)</b>
Ba1	250 x 500	250 x 400
Ba2	250 x 350	250 x 400
Ba3	200 x 300	200 x 300

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 3. Preliminary Balok Kantilever

Balok dengan bentang 4000 mm yang menggunakan mutu baja BjTS 420 dengan nilai  $f_y$  sebesar 420 MPa direncanakan berdasarkan ketentuan kekuatan material dan kebutuhan struktur yang ditinjau :

$$\begin{aligned} h_{\min} &= L/21 \\ &= 4000/21 \\ &= 3333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{pakai}} &= L / 12 \\ &= 4000/12 \\ &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 1/2 \times h_{\text{pakai}} \\ &= 0,5 \times 350 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh dimensi balok sebesar (b/h) 250 × 333 mm, namun pada perencanaan digunakan dimensi balok sebesar (b/h) 250 × 350 mm.

**Tabel 4. 5** Rekapitulasi Balok Kantilever pada Struktur Gedung

<b>Type Balok</b>	<b>Panjang Bentang (mm)</b>	<b>Tinggi (mm)</b>	<b>Lebar (mm)</b>
BK	3000	250	450

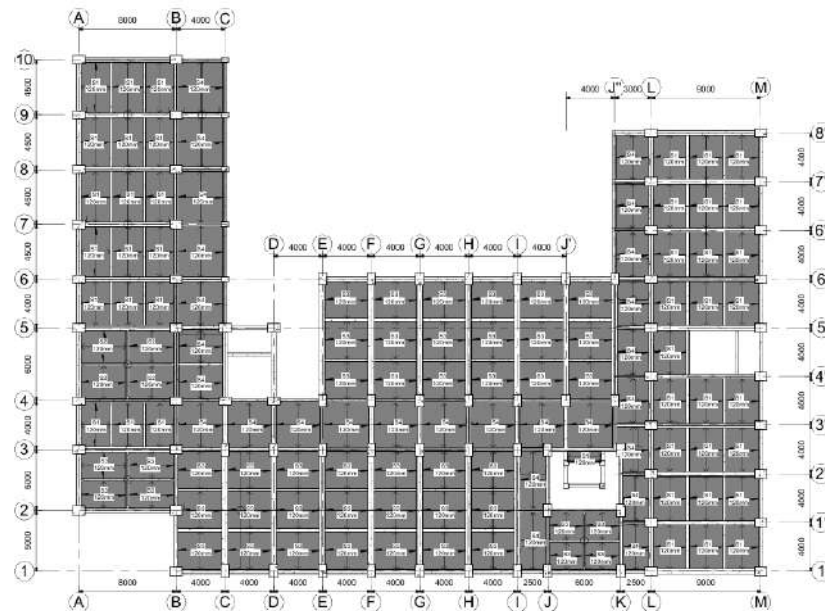
( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 6** Perbandingan Dimensi Balok Anak Eksisting dan Hasil Perhitungan

<b>Type Balok</b>	<b>Eksisting (mm)</b>	<b>Perhitungan (mm)</b>
BK1	350 x 600	250 x 450
BK2	250 x 400	-

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 4.2.2 Preliminary Pelat Lantai



**Gambar 4. 2** Denah Rencana Pelat Lantai

( Sumber : Penulis, 2026 )

#### 1. Data Perencanaan

Berdasarkan hasil perencanaan, digunakan parameter sebagai berikut :

- a. Diameter tulangan rencana,  $d_b$  = 10 mm
- b. Tegangan leleh baja tulangan,  $f_y$  = 420 MPa
- c. Panjang bentang arah pendek,  $L_x$  = 2666 mm
- d. Panjang bentang arah panjang,  $L_y$  = 4500 mm

#### 2. Geometri Balok Penumpu

Pelat ditumpu oleh balok pada arah pendek dan panjang dengan dimensi sebagai berikut :

- a. Balok Arah Pendek (Tepi dan Tumpuan Dalam)

Lebar balok,  $b$  = 250 mm

Tinggi balok,  $h$  = 400 mm

Momen Inersia balok di hitung dengan rumus :

$$I = \frac{1}{12} x b h^3$$

$$I = \frac{1}{12} x 250 x 400^3$$

$$I = 1,333,333,333 \text{ mm}^4$$

b. Balok Arah Panjang

Lebar balok,  $b = 400 \text{ mm}$

Tinggi balok,  $h = 700 \text{ mm}$

$$I = \frac{1}{12} x 400 x 700^3$$

$$I = 11,433,333,333 \text{ mm}^4$$

3. Geometri Pelat

a. Tebal Pelat Asumsi

Digunakan tebal awal  $h = 120 \text{ mm}$

b. Bentang Bersih Pelat

Arah pendek :

$$L_{nx} = L_x - \text{lebar balok kiri} - \text{lebar balok kanan}$$

$$L_{nx} = 2666 - 400 - 400$$

$$L_{nx} = 1866 \text{ mm}$$

Arah Panjang :

$$L_{ny} = L_y - \text{lebar balok atas} - \text{lebar balok bawah}$$

$$L_{ny} = 4500 - 250 - 250$$

$$L_{ny} = 4000 \text{ mm}$$

c. Momen Inersia Pelat

$$I = \frac{1}{12} x bh^3$$

Arah Pendek :

$$I = \frac{1}{12} x 1000 x 120^3$$

$$I = 3.839.040.000 \text{ mm}^4$$

Arah Panjang :

$$I = \frac{1}{12} x 1000 x 120^3$$

$$I = 6,480,000,000 \text{ mm}^4$$

#### 4. Rasio Kekakuan Lentur Balok terhadap Pelat

Rasio kekakuan digunakan untuk menentukan distribusi momen, dihitung dengan:

$$a = \frac{I_b}{I_s}$$

Hasil perhitungan :

$$a_{f1} = 2.058$$

$$a_{f2} = 29.782$$

$$a_{f3} = 2.058$$

$$a_{f4} = 29.782$$

Nilai rata – rata :

$$a_m = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4}$$

$$a_m = 15.920$$

#### 5. Rasio Bentang Pelat

$$\beta = \frac{L_y}{L_x}$$

$$\beta = \frac{4000}{1866}$$

$$\beta = 1.687$$

#### 6. Penentuan Tebal Minimum Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2, tebal minimum pelat dua arah ditentukan berdasarkan nilai:

Rasio bentang  $\beta$

Rasio kekakuan  $a_m$

Dari hasil perhitungan diperoleh:

$$H_{min} = 90 \text{ mm}$$

#### 7. Tebal Pelat yang Digunakan

Karena tebal asumsi lebih besar dari tebal minimum, maka:

$$h_{pakai} = 120 \text{ mm} \geq h_{min}$$

Sehingga tebal pelat memenuhi syarat.

**Tabel 4. 7** Rekapitulasi Tipe dan Dimensi Pelat Lantai

Type Pelat	Dipakai (mm)
S-1	120
S-2	120
S-3	120
S-4	120
Bordes	120
Atap	120

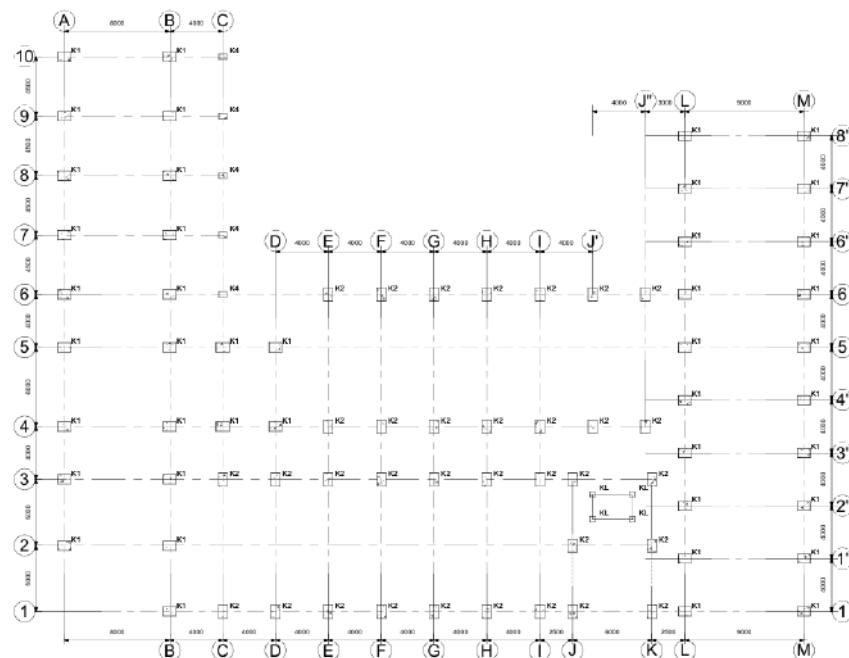
( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 8** Perbandingan Dimensi Pelat Lantai Eksisting dan Hasil Perhitungan

Type Pelat	Eksisting (mm)	Perhitungan (mm)
S-1	125	120
S-2	125	120
S-3	150	120
S-4	150	120
Bordes	125	120
Atap	125	120

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 4.2.3 Preliminary Kolom

**Gambar 4. 3** Denah Rencana Kolom

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 1. Luas Tributary Area

Luas pelat yang ditumpu oleh kolom K1 ditentukan berdasarkan pembagian area struktur :

$$A = 27 \text{ mm}^2$$

### 2. Perhitungan Beban Lantai

#### a. Beban Mati (*dead load*)

Berat sendiri pelat dihitung dengan :

$$q_{DL} = \gamma_{\text{beton}} \times t$$

$$q_{DL} = 24 \times 0.12$$

$$q_{DL} = 2.88 \approx 2.9 \text{ kN/m}^2$$

#### b. Beban Hidup (*live load*)

$$q_{SIDL} = 2.727 \text{ kN/m}^2$$

#### c. Beban Ultimit

$$q_u = 1.2q_{DL} + 1.6q_{LL}$$

$$q_u = 14.327 \text{ kN/m}^2$$

### 3. Beban Aksial Kolom (Lantai Tipikal)

$$P_u = q_u \times A$$

$$P_u = 14.327 \times 27$$

$$P_u = 386.82 \text{ kN}$$

### 4. Perhitungan Beban Atap

#### a. Beban Mati

$$q_{DL} = 24 \times 0.11$$

$$q_{DL} = 1.467 \text{ kN/m}^2$$

#### b. Beban Hidup Atap

$$q_{LL} = 0.960 \text{ kN/m}^2$$

#### c. Beban Ultimit Atap

$$q_u = 1.2q_{DL} + 1.6q_{LL}$$

$$q_u = 6.405 \text{ kN/m}^2$$

#### d. Beban Aksial Atap

$$P_u = 6.405 \times 27$$

$$P_u = 172.93 \text{ kN}$$

### 5. Beban Aksial Kumulatif

Jumlah lantai = 6 lantai (5 lantai + 1 atap)

$$P_{u,total} = (5 \times 386.82) + (1 \times 172.93)$$

$$P_{u,total} = 2107.03 \text{ kN}$$

### 6. Estimasi Luas Penampang Kolom

$$A_g = \frac{P_u}{0.8 \times 0.85 f'_c}$$

$$A_g = \frac{2107.03}{11.05}$$

$$A_g = 190681.08 \text{ mm}^2$$

### 7. Dimensi Kolom

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

$$b = 436.47$$

Dipilih dimensi praktis :

$$1000 \times 700$$

**Tabel 4. 9** Rekapitulasi Tipe dan Dimensi Kolom

Tipe Kolom	b (mm)	h (mm)
K1'	850	600
K1	1000	700
K2'	650	850
K2	700	1000
K3	600	400
KL	400	400

( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 10** Perbandingan Dimensi Kolom Eksisting dan Hasil Perhitungan

Tipe Kolom	Eksisting (mm)	Perhitungan (mm)
K1'	900 x 600	850 x 600
K1	900 x 600	1000 x 700
K2'	500 x 500	650 x 850
K2	500 x 500	700 x 1000
K3	-	600 x 400
KL	250 x 250	400 x 400

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 4.3 Analisis Pembebanan

#### 4.3.1 Beban Mati

Dalam perencanaan struktur, beban mati diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu beban akibat berat sendiri struktur dan beban mati tambahan (*super dead load*). Beban tambahan ini berupa beban merata yang bekerja pada elemen pelat dan dinding, serta diperhitungkan secara terpisah dalam analisis struktur. Sementara itu, berat sendiri struktur telah secara otomatis terakomodasi melalui pemodelan menggunakan *software* ETABS.

1. Beban mati tambahan (SIDL) pelat lantai

**Tabel 4. 11** Rekapitulasi SIDL Pelat Lantai

No	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Partisi				0.72
2	Keramik	17	kg/m <sup>2</sup>		0.167
3	Spasi 3 cm	2100	kg/m <sup>3</sup>	0.03	0.618
4	Pasir 5 cm	1600	kg/m <sup>3</sup>	0.05	0.785
5	MEP				0.3
6	Plafond	9	kg/m <sup>2</sup>		0.088
7	Rangka Plafond	5	kg/m <sup>2</sup>		0.049
Jumlah Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai, <b>Q SIDL, 1</b>					<b>2.727</b>
Jumlah Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai, <b>Q SIDL, 2</b>					<b>2.007</b>

( Sumber : Penulis, 2026 )

2. Beban mati tambahan (SIDL) pelat atap

**Tabel 4. 12** Rekapitulasi SIDL Pelat Atap

No	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Spesi 3 cm	2100	kg/m <sup>3</sup>	0.03	0.618
2	Waterproof 2 cm	2100	kg/m <sup>3</sup>	0.02	0.412
3	MEP				0.300
4	Plafond	9	kg/m <sup>2</sup>		0.088
5	Rangka Plafond	5	kg/m <sup>2</sup>		0.049
Jumlah Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai, <b>Q SIDL, 3</b>					<b>1.467</b>

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 4.3.2 Beban Hidup

Dalam perencanaan struktur, beban hidup merupakan beban yang timbul akibat aktivitas dan pemanfaatan bangunan oleh penghuninya. Beban ini tidak mencakup berat sendiri material konstruksi maupun beban yang berasal dari pengaruh alam, seperti gempa bumi, serta tidak termasuk beban mati. Adapun analisis beban hidup pada perencanaan ini dijelaskan sebagai berikut :

**Tabel 4. 13** Rekapitulasi Beban Hidup pada lantai

No	Penggunaan	Q (kN/m <sup>2</sup> )
1	Perpustakaan	3.83
2	Koridor 1st	4.79
	Koridor	3.83
3	Ruang Kelas	3.83
4	Ruang Serbaguna	4.79
5	Ruang Rapat dan Ruang Pejabat	2.4
6	Laboratorium	2.87
7	Roof Garden dan Dak Atap	2.4
8	Atap	0.96
9	Kantin	3.83
10	Musholah	2.40
12	Toilet	2.39
	<b>Total</b>	<b>38.32</b>

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 4.3.3 Beban Angin

#### 1. Data Perencanaan

Data perencanaan beban angin pada bangunan gedung SMKN 37 Pasar Minggu, Jakarta Selatan adalah sebagai berikut:

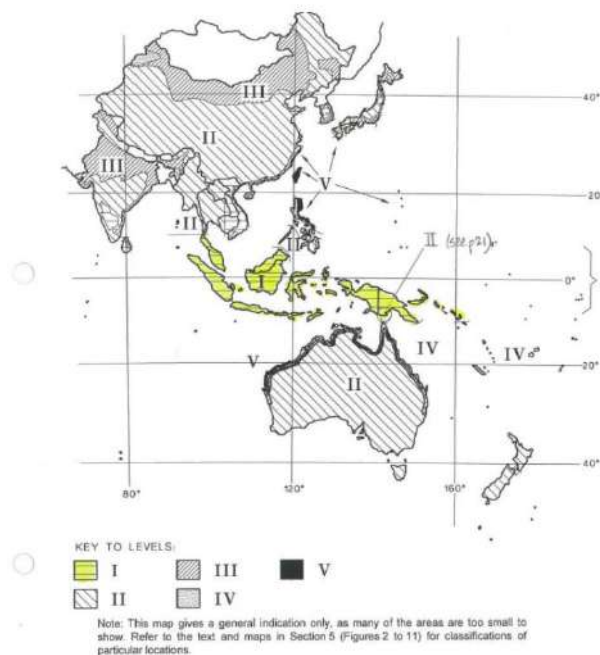
- a. Fungsi bangunan : Sekolah
- b. Tinggi bangunan : 19.95 m
- c. Panjang bangunan : 56 m
- d. Lebar bangunan : 42 m
- e. Tinggi tiap lantai : 4 m

SMKN 37 Jakarta Selatan ini termasuk dalam kategori resiko bangunan III berdasarkan data perencanaan dan kondisi wilayahnya.

## 2. Parameter Perencanaan Beban Angin

Berdasarkan data, kecepatan angin dasar yang digunakan sebesar 40 m/s mengacu pada standar Australia HB 212:2002 mengenai *Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region*. Oleh karena itu, adapun data dalam pembebanan angin sebagai berikut sesuai dengan SNI 1727 – 2020 :

Parameter perencanaan beban angin yang digunakan meliputi kecepatan angin dasar sebesar 40 m/s, faktor arah angin  $K_d = 0,85$ , serta kategori eksposur bangunan yang termasuk dalam Eksposur B. Selain itu, digunakan faktor topografi  $K_{zt} = 1,0$ , faktor elevasi tanah  $K_e = 1,0$ , dan faktor hembusan angin  $G = 0,85$ . Bangunan diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup dengan nilai koefisien tekanan internal sebesar  $GC_{pi} = \pm 0,18$ .



**Gambar 4. 4** Peta zonasi angin wilayah Asia-Pasifik

(Sumber : *HB 212-2002-Design Wind Speeds for the Asia-Pasific Region*)

## 3. Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan ( $K_z$ )

Koefisien eksposur ditentukan berdasarkan tinggi bangunan dan kategori eksposur.

$$Z = 19.95 \text{ m}, \quad z_g = 365.5 \text{ m}, \quad a = 7$$

diperoleh :  $K_z = 0.876$

untuk atap datar :  $K_h = K_z = 0.876$

4. Tekanan Kecepatan Angin

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_z = 0.613 \times 0.876 \times 1 \times 0.85 \times 1 \times 40^2$$

$$q_z = 730.05 \text{ N/m}^2 = 0.730 \text{ kN/m}^2$$

5. Koefisien Tekanan Eksternal ( $C_p$ )

Berdasarkan perbandingan dimensi bangunan maka :

$$\frac{L}{B} = \frac{56}{42} = 1.33$$

diperoleh :

a. Dinding sisi angin datang,  $C_p = 0.8$

b. Dinding sisi angin pergi,  $C_p = -0.3$

c. Dinding sisi tepi,  $C_p = -0.7$

6. Perhitungan Tekanan Angin

Tekanan angin pada permukaan bangunan dihitung dengan :

$$p = q \times G \times C_p - q_i (GC_{pi})$$

a. Dinding sisi angin datang :

$$p = 0.730 \times 0.85 \times 0.8 - 0.730 \times (-0.18)$$

$$p = 0.628 \text{ kN/m}^2$$

b. Dinding sisi angin datang :

$$p = 0.730 \times 0.85 \times (-0.3) - 0.730 \times (-0.18)$$

$$p = -0.055 \text{ kN/m}^2$$

c. Dinding sisi angin datang :

$$p = 0.730 \times 0.85 \times (-0.7) - 0.730 \times (-0.18)$$

$$p = -0.303 \text{ kN/m}^2$$

7. Rekapitulasi Tekanan Angin tiap Lantai

Perhitungan tekanan angin dilakukan pada tiap elevasi lantai untuk mendapatkan distribusi beban angin terhadap tinggi bangunan. Nilai koefisien eksposur  $K_z$  meningkat seiring bertambahnya ketinggian, sehingga tekanan angin juga meningkat pada lantai yang lebih tinggi.

**Tabel 4. 14** Rekapitulasi Tekanan Angin antar Lantai

Ket. Lantai	Rekapitulasi							
	Tinggi (m)	Zg	a	Kh/Kz	qz/qh (Kn/m2)	Datang (Kn/m2)	Pergi (Kn/m2)	Tepi (Kn/m2)
Lt.1	0.05	365.5	7	0.158	0.132	0.113	-0.010	-0.055
Lt.2	3.95	365.5	7	0.551	0.460	0.395	-0.034	-0.191
Lt.3	7.95	365.5	7	0.673	0.561	0.483	-0.042	-0.233
Lt.4	11.95	365.5	7	0.756	0.631	0.542	-0.047	-0.262
Lt.5	15.95	365.5	7	0.821	0.685	0.589	-0.051	-0.284
Atap	19.95	365.5	7	0.876	0.730	0.628	-0.055	-0.303

( Sumber : Penulis, 2026 )

#### 4.4 Beban Gempa

##### 1. Kategori Risiko

**Tabel 4. 15** Kategori Risiko Bangunan terhadap Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bangunan-bangunan monumental</li> <li><b>Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</b></li> <li>Rumah ibadah</li> <li>Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<b>IV</b>

(Sumber: SNI 1726:2019)

Mengacu pada SNI 1726:2019, perencanaan beban gempa pada struktur gedung SMKN 37 Jakarta Selatan dilakukan menggunakan metode respons spektrum melalui pemodelan pada perangkat lunak ETABS. Dalam analisis ini, terdapat

beberapa parameter yang perlu ditentukan sebagai dasar perhitungan beban gempa, yang diuraikan sebagai berikut.

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, penetapan kategori risiko bangunan menjadi tahap penting karena berpengaruh terhadap faktor keutamaan dan tingkat keandalan struktur. Mengingat fungsinya sebagai fasilitas pendidikan dengan jumlah pengguna yang besar serta perannya dalam pelayanan publik, gedung SMKN 37 Jakarta Selatan diklasifikasikan ke dalam kategori risiko IV sesuai SNI 1726:2019.

## 2. Faktor Keutamaan Gempa

**Tabel 4. 16** Faktor Keutamaan Gempa

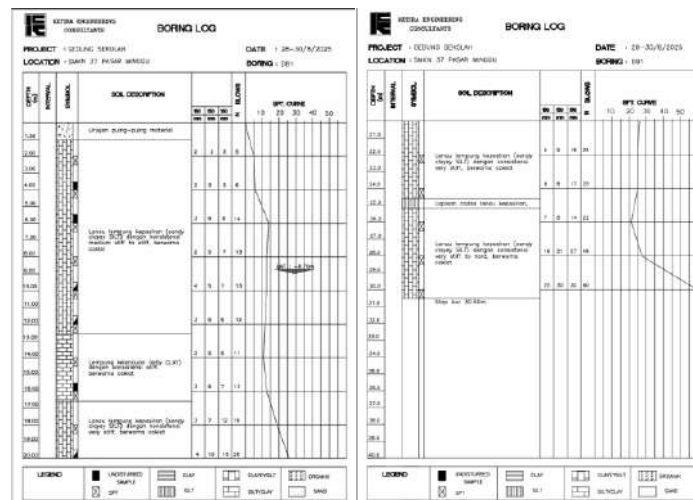
Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
<b>IV</b>	<b>1,5</b>

(Sumber: SNI 1726:2019)

Penentuan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) dilakukan berdasarkan kategori risiko bangunan sesuai ketentuan dalam SNI 1726:2019. Faktor tersebut menjadi salah satu parameter penting dalam perencanaan struktur tahan gempa karena memengaruhi besarnya gaya gempa rencana yang bekerja pada struktur. Semakin tinggi tingkat risiko bangunan, maka semakin besar pula nilai faktor keutamaan yang digunakan untuk menjamin keamanan, keandalan, dan kinerja struktur terhadap pengaruh gempa.

Untuk bangunan dengan kategori risiko IV, seperti gedung sekolah yang memiliki fungsi vital serta menampung banyak pengguna, digunakan nilai faktor keutamaan gempa sebesar  $I_e = 1.5$ . Penerapan nilai ini dimaksudkan untuk meningkatkan margin keamanan struktur terhadap beban gempa, sehingga diharapkan bangunan tetap dapat berfungsi dengan baik dan meminimalkan risiko kerusakan maupun korban jiwa saat terjadi gempa.

### 3. Klasifikasi Situs Berdasarkan Hasil Pengujian SPT



Gambar 4. 5 Hasil Boring Log

Tabel 4. 17 Hasil N-SPT SMKN 37 Jakarta

No	Jarak	di (m)	BH-1	di/BH-1
1	2	2	5	0.40
2	4	2	6	0.33
3	6,0	2	14	0.14
4	8,0	2	13	0.15
5	10,0	2	13	0.15
6	12,0	2	12	0.17
7	14,0	2	11	0.18
8	16,0	2	13	0.15
9	18,0	2	19	0.11
10	20,0	2	26	0.08
11	22,0	2	25	0.08
12	24,0	2	25	0.08
13	26,0	2	22	0.09
14	28,0	2	48	0.04
15	30,0	2	60	0.03
	Jumlah	30	Nilai N (Tanah Lunak)	13.67

( Sumber : Penulis, 2026 )

$$di/BH - 1 = \frac{2}{5}$$

$$di/BH - 1 = 0,4$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{di}{di/BH - 1}$$

$$= \frac{30}{2.19}$$

$$= 13.67$$

**Tabel 4. 18** Kelas Situs

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N atau Nch	Su (kPa)
SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750-1500	N/A	N/A
SD (Tanah Sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (Tanah Lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ ,		

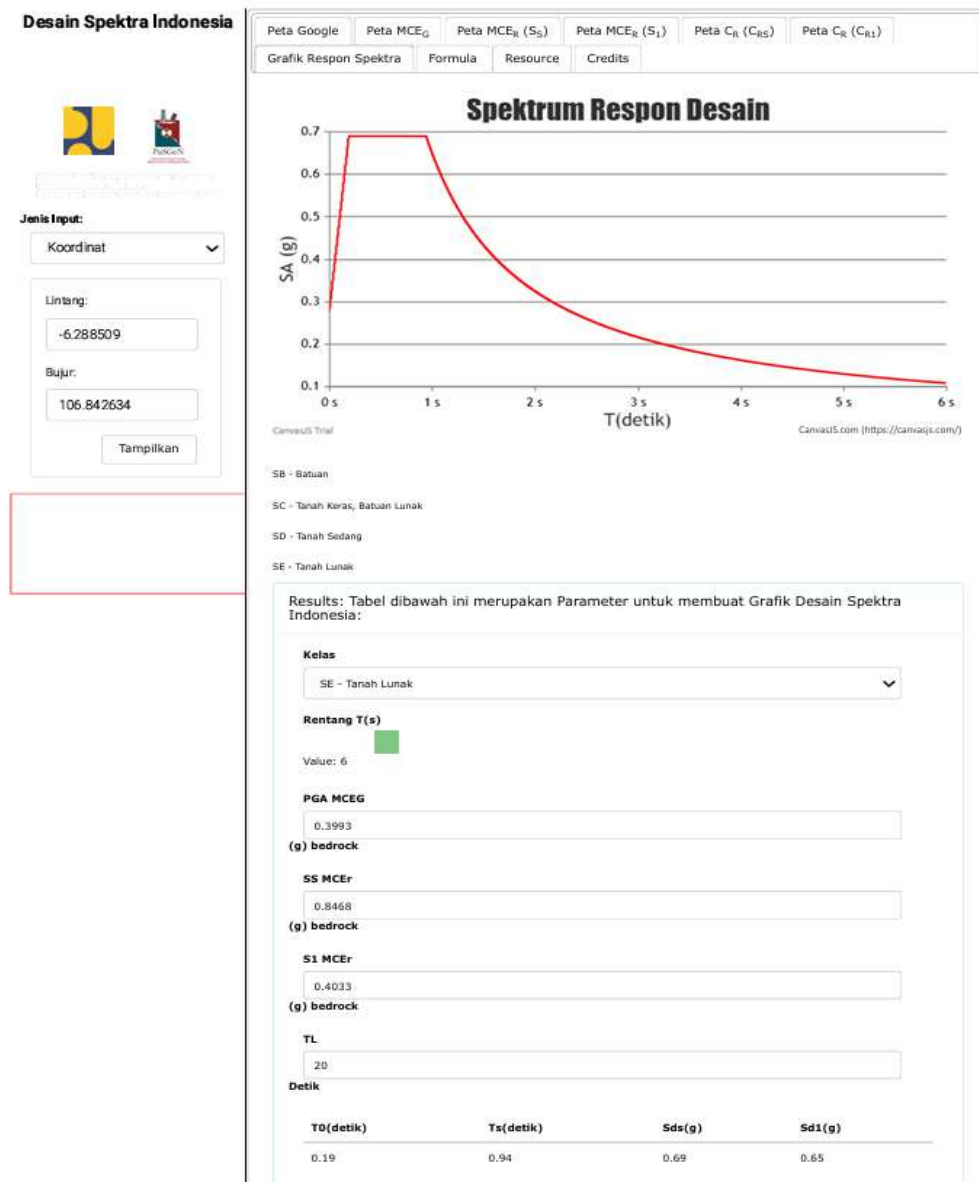
Kelas Situs	Vs (m/detik)	N atau Nch	Su (kPa)
			3. Kuat geser niral $su < 25$ kPa
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)			Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah.</li> <li>• Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math>m).</li> <li>• Lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math>).</li> <li>• Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>su &lt; 50</math>kPa.</li> </ul>

(Sumber: SNI 1726:2019)

Berdasarkan data hasil uji Standard Penetration Test (SPT), diperoleh nilai rata-rata pukulan N sebesar 13,67. Mengacu pada klasifikasi yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 Pasal 5.3, nilai tersebut termasuk dalam kategori situs tanah SE, yang merepresentasikan kondisi tanah lunak. Dengan demikian, karakteristik tanah pada lokasi perencanaan ditetapkan sebagai tanah sedang, dan digunakan sebagai dasar dalam penentuan parameter respons spektrum untuk analisis gempa.

#### 4. Parameter Respons Spektrum

Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  yang digunakan sebagai parameter *respons spektral* percepatan gempa maksimum risiko-tertarget (MCER) diperoleh dari peta spektra desain yang diakses melalui situs web [Desain Spektra Indonesia](http://Desain Spektra Indonesia).



**Gambar 4. 6** Hasil Spektrum Respon Desain SMKN 37 Jakarta Selatan  
(Sumber: Desain Spektra Indonesia)

## 5. Spektrum Respons Desain

a) Koefisien situs,  $F_a$ **Tabel 4. 19** Koevisien Situs,  $F_a$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik ( $S_s$ )					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS(a)	SS(a)	SS(a)	SS(a)	SS(a)	SS(a)

(Sumber: SNI 1726:2019)

Nilai  $S_s$  hasil tabel

$$S_{s1} = 0,75 \text{ g}$$

$$S_{s2} = 1 \text{ g}$$

$$\text{Nilai } S_s \text{ (MCER)} = 0,8468 \text{ g}$$

Nilai kelas situs

$$F_{a1} = 1,3 \text{ g}$$

$$F_{a2} = 1,1 \text{ g}$$

Nilai  $F_a$  (MCER) =

$$F_a = F_{a1} + \frac{(S_s - S_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})} \times (F_{a2} - F_{a1})$$

$$F_a = 1,3 + \frac{(0,8468 - 0,75)}{(1 - 0,75)} \times (1,1 - 1,3)$$

$$F_a = 1,222 \text{ g}$$

b) Koefisien nilai  $F_v$

**Tabel 4. 20** Koevisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s \leq 0,2$	$S_s \leq 0,3$	$S_s \leq 0,4$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS(a)					

(Sumber: SNI 1726:2019)

Nilai  $S_s$  hasil tabel

$$S_{s1} = 0,4 \text{ g}$$

$$S_{s2} = 0,5 \text{ g}$$

$$\text{Nilai } S_s \text{ (MCER)} = 0,4033 \text{ g}$$

Nilai kelas situs

$$F_{v1} = 2,4 \text{ g}$$

$$F_{v2} = 2,2 \text{ g}$$

Nilai  $F_a$  (MCER) :

$$F_v = F_{v1} + \frac{(S_s - S_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})} \times (F_{v2} - F_{v1})$$

$$F_v = 2,8 + \frac{(0,4033 - 0,4)}{(0,5 - 0,4)} \times (2,2 - 2,4)$$

$$F_v = 2,3933 \text{ g}$$

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) merupakan parameter yang menggambarkan respons maksimum struktur akibat beban gempa pada masing-masing periode getar.

a. Nilai  $S_{MS} = F_a \times S_s$

$$= 1,222 \times 0,8468$$

$$= 1,0347 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Nilai } S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 2,3933 \times 0,4033 \\ &= 0,9652 \text{ g} \end{aligned}$$

#### 6. Kategori Desain Seismik

Parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1) merupakan parameter yang digunakan dalam proses analisis serta perencanaan respons struktur terhadap pengaruh beban gempa.

a) Nilai  $S_{DS}$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ S_{DS} &= \frac{2}{3} \times 1,0347 \\ &= 0,6902 \text{ g} \end{aligned}$$

b) Nilai  $S_{D1}$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ S_{D1} &= \frac{2}{3} \times 0,9652 \\ &= 0,6435 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,6902}{0,6432} \\ &= 0,1865 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } T_S &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,6902}{0,6432} \\ &= 0,9324 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{e) } T_l = 20 \text{ detik}$$

**Tabel 4. 21** Desain Seismik, Respons Percepatan Periode Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

**Tabel 4. 22** Desain Seismik, Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

Kategori Desain Seismik (KDS) ditentukan berdasarkan nilai parameter percepatan spektral desain  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , serta kategori risiko bangunan sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 6.5. Pada bangunan dengan kategori risiko IV, penentuan KDS didasarkan pada batas nilai kedua parameter tersebut, yaitu apabila  $S_{DS} \geq 0,50$  dan  $S_{D1} \geq 0,20$ , maka struktur diklasifikasikan sebagai KDS D.

Dari hasil analisis diperoleh nilai  $S_{DS} = 0,6902$  dan  $S_{D1} = 0,6435$ , yang menunjukkan bahwa kedua parameter telah melampaui batas yang disyaratkan. Dengan demikian, sesuai SNI 1726:2019 dan hasil evaluasi yang dilakukan, Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D.

7. Nilai Koefisien Faktor  $R, \Omega, C_d$ **Tabel 4. 23** Koefisien Modifikasi Respons, Kuat Lebih, Pembesaran Defleksi, Dan Batas Tinggi Struktur

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem $\Omega_0^b$	Faktor Pembesaran Defleksi $C_d^c$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^e$	$E^e$	$F^f$
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber : SNI 1726-2019)

Sistem penahan gaya gempa yang diterapkan pada Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) beton bertulang. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2, parameter desain yang digunakan meliputi koefisien modifikasi respons ( $R$ ) sebesar 8, faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) sebesar 3, dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) sebesar 5,5.

## 8. Periode Getaran Fundamental Gempa

**Tabel 4. 24** Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, SD1

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, SD1	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726-2019)

**Tabel 4. 25** Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen

Tipe Struktur	$C_t$	$\alpha$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Tipe Struktur	Ct	x
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI 1726-2019)

Nilai periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

1. Periode Minimum ( $T_a \text{ min}$ )

$$\begin{aligned}
 T_a \text{ min} &= C_t \times H n^x \\
 &= 0,0466 \times 21^{0,9} \\
 &= 0,7217 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Periode Maksimum ( $T_a \text{ max}$ )

$$\begin{aligned}
 T_a \text{ max} &= C_u \times T_a \text{ min} \\
 &= 1,4 \times 0,7212 \\
 &= 1,010 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

3. Periode hasil ETABS (TC)

$$\begin{aligned}
 \text{TC arah x} &= 0.978 \text{ detik} \\
 \text{TC arah y} &= 0.973 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

#### 4.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan pada perencanaan struktur mengacu pada SNI 1727:2020 mengenai beban desain minimum. Kombinasi pembebanan untuk desain kekuatan dengan mempertimbangkan faktor kuat lebih ditetapkan sebagai berikut:

- a. Kombinasi Dasar (SNI 1727:2020) Pasal 2.3.1

1. 1.4 DL

2. 1.2 DL + 1.6LL + 0,5(LR atau R) :

Kemudian persamaan tersebut dipecah menjadi :

- 1.2 DL + 1.6 LL + 0,5 R

3. 1.2 DL + 1.6 (Lr atau R) + (LL atau 0.5 W)

Kemudian persamaan tersebut dipecah menjadi :

- 1.2 DL + 1.6 R + LL

- $1.2 DL + 1.6 R + 0.5 W$
  - $1.2 DL + 1.6 R - 0.5 W$
4.  $1.2 DL + 1.0 W + L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$   
Kemudian persamaan tersebut dipecah menjadi :
- $1.2 DL + 1.0 W + L + 0.5 R$
  - $1.2 DL - 1.0 W + L + 0.5 R$
5.  $0.9 DL + 1.0 W$   
Kemudian persamaan tersebut dipecah menjadi :
- $0.9 DL + 1.0 W$
  - $0.9 DL - 1.0 W$

b. Kombinasi Akibat Gempa (SNI 1726:2019) Pasal 4.2.2.3

1.  $1.2 DL + E_v + E_h + LL$   
 $1.2 DL + 0.2 S_{DS} D + E_x + E_y + L$   
 $(1.2 DL + 0.2 S_{DS}) D + E_x + E_y + L$   
 $(1.2 DL + 0.2 \times 0,679) D + E_x + E_y + L$   
 $1.34 DL + E_x + E_y + L$

Kemudian persamaan tersebut dipecah menjadi :

- $1.34D + E_x + TT + 0.3E_y + L$
- $1.34D - E_x + TT + 0.3E_y + L$
- $1.34D + E_x + TT - 0.3E_y + L$
- $1.34D - E_x + TT - 0.3E_y + L$
- $1.34D + E_x - TT + 0.3E_y + L$
- $1.34D - E_x - TT + 0.3E_y + L$
- $1.34D + E_x - TT - 0.3E_y + L$
- $1.34D - E_x - TT - 0.3E_y + L$
- $1.34D + E_y + TT + 0.3E_x + L$
- $1.34D - E_y + TT + 0.3E_x + L$
- $1.34D + E_y + TT - 0.3E_x + L$
- $1.34D - E_y + TT - 0.3E_x + L$
- $1.34D + E_y - TT + 0.3E_x + L$

- $1.34D - E_{\gamma^-}TT + 0.3E_x + L$
- $1.34D + E_{\gamma^-}TT - 0.3E_x + L$
- $1.34D - E_{\gamma^-}TT - 0.3E_x + L$

2.  $0.9 DL - E_v + E_h$

$$0.9 DL - 0.2 S_{DS}DL + E_x + E_{\gamma}$$

$$(0.9 - 0.2 S_{DS}) DL + E_x + E_{\gamma}$$

$$(0.9 - 0.2 \times 0,679) DL + E_x + E_{\gamma}$$

$$0.76 DL + E_x + E_{\gamma}$$

Kemudian persamaan tersebut dipecah menjadi :

- $0.76D + E_{x^+}TT + 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D - E_{x^+}TT + 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D + E_{x^+}TT - 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D - E_{x^+}TT - 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D + E_{x^-}TT + 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D - E_{x^-}TT + 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D + E_{x^-}TT - 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D - E_{x^-}TT - 0.3E_{\gamma}$
- $0.76D + E_{\gamma^+}TT + 0.3E_x$
- $0.76D - E_{\gamma^+}TT + 0.3E_x$
- $0.76D + E_{\gamma^+}TT - 0.3E_x$
- $0.76D - E_{\gamma^+}TT - 0.3E_x$
- $0.76D + E_{\gamma^-}TT + 0.3E_x$
- $0.76D - E_{\gamma^-}TT + 0.3E_x$
- $0.76D + E_{\gamma^-}TT - 0.3E_x$
- $0.76D - E_{\gamma^-}TT - 0.3E_x$

#### 4.6 Analisa Struktur

Analisis struktur dilakukan untuk memastikan kestabilan serta keamanan bangunan melalui evaluasi kinerja setiap elemen struktur. Pada perencanaan ini, analisis Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan dimodelkan dan dihitung menggunakan

perangkat lunak ETABS, dengan tahapan yang meliputi beberapa langkah analisis secara sistematis.

Hasil analisis yang diperoleh kemudian dievaluasi melalui serangkaian pemeriksaan terhadap parameter-parameter kontrol struktur. Pemeriksaan tersebut mencakup beberapa aspek penting yang diuraikan sebagai berikut :

#### 4.6.1 Ketidakberaturan Struktur

Evaluasi ketidakberaturan struktur dilakukan untuk mengidentifikasi adanya penyimpangan konfigurasi bangunan, baik secara horizontal maupun vertikal, yang dapat memengaruhi respons terhadap beban gempa sesuai SNI 1726:2019. Struktur yang tergolong beraturan umumnya memiliki distribusi gaya dan deformasi yang lebih merata.

##### a. Ketidakberaturan Horizontal

##### 1. Ketidakberaturan Torsi

Terjadinya simpangan antar lantai maksimum (*story drift*) yang melebihi 1,2 kali nilai simpangan rata-ratanya merupakan ketidakberaturan torsi tipe 1a. Sedangkan ketidakberaturan torsi berlebihan tipe 1b terjadi apabila nilai simpangan maksimum melampaui 1,4 kali simpangan rata-rata. Hasil perhitungan ketidakberaturan torsi pada arah X dan arah Y disajikan pada tabel berikut :

**Tabel 4. 26** Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Y

Lantai	Arah X				Arah Y			
	$\Delta$ Max	$\Delta$ avg	$\Delta$ Max/ $\Delta$ avg	CEK	$\Delta$ Max	$\Delta$ avg	$\Delta$ Max/ $\Delta$ avg	CEK
Atap	3.225	2.912	1,107	<b>OK</b>	2.961	2.672	1.108	<b>OK</b>
5	4.667	4.495	1,038	<b>OK</b>	4.502	4.124	1.092	<b>OK</b>
4	5.967	5.782	1,032	<b>OK</b>	5.791	5.266	1.1	<b>OK</b>
3	6.289	6.107	1,03	<b>OK</b>	6.19	5.597	1.106	<b>OK</b>
2	4.546	4.395	1,034	<b>OK</b>	4.695	4.169	1.126	<b>OK</b>
1	0.385	0.355	1,083	<b>OK</b>	0.377	0.325	1.159	<b>OK</b>
Ket	OK = Ketidakberaturan Horizontal 1A dan 1B tidak terjadi H.1A = Ketidakberaturan Horizontal 1A terjadi H.1B = Ketidakberaturan Horizontal 1B terjadi Struktur tidak mengalami ketidakberaturan H.1A Arah X, Y Struktur tidak mengalami ketidakberaturan H.1B Arah X, Y							

(Sumber : Output Analisa ETABS)

## 2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi ketika kedua proyeksi denah pada sudut dalam memiliki ukuran lebih dari 15% terhadap dimensi struktur pada arah yang ditinjau. Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan termasuk ke dalam kategori bangunan yang mengalami ketidakberaturan sudut dalam.

**Tabel 4. 27** Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam Arah X dan Y

Lx	56	m
Px	48	m
Ly	42	m
Py	37	m
Px/Lx	86%	
Py/Ly	88%	
Cek	<b>H.2</b>	

(Sumber : Output Analisa ETABS)

Keterangan :

OK = Ketidakberaturan Horizontal 2 tidak terjadi

H.2 = Ketidakberaturan Horizontal 2 terjadi

Kesimpulan :

Kes: Struktur mengalami ketidakberaturan H.2 Arah X

## 3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dinyatakan terjadi apabila terdapat perbedaan luas diafragma yang melebihi 50% dari luas bruto diafragma yang membatasinya. Berdasarkan hasil pengamatan, tidak ditemukan perbedaan luas yang signifikan (lebih dari 50%) antara denah struktur lantai 2 hingga lantai dak. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa bangunan yang ditinjau tidak mengalami ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

**Tabel 4. 28** Pengecekan Ketidakberaturan Diafragma

Syarat 1			Luasan
A total	1608	m2	Atap
A Bukaan	78	m2	Void
Cek	Reguler		

(Sumber : *Output Analisa ETABS*)

b. Ketidakberaturan Vertikal

Struktur yang mengandung satu atau lebih jenis ketidakberaturan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 diklasifikasikan sebagai struktur dengan ketidakberaturan vertikal. Apabila struktur direncanakan sesuai dengan kategori desain seismik yang tercantum dalam tabel terkait, maka wajib memenuhi persyaratan pada pasal-pasal yang telah diacu. Secara umum, terdapat lima tipe ketidakberaturan vertikal yang perlu mendapat perhatian dalam perencanaan struktur gedung beton bertulang, sebagaimana diuraikan berikut ini:

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tipe 1a terjadi ketika kekakuan lateral suatu tingkat tidak mencapai 70% dari kekakuan tingkat tepat di atasnya, atau tidak mencapai 80% dari nilai rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya. Sementara itu, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan tipe 1b terjadi apabila kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 60% terhadap tingkat yang berada langsung di atasnya, atau kurang dari 70% dibandingkan rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya.

**Tabel 4. 29** Pengecekan Parameter Kekakuan Arah X, Y

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
6	481807,642		559751,147	
5	649082,832	<b>Reguler</b>	774693,992	<b>Reguler</b>
4	722237,1	<b>Reguler</b>	882338,524	<b>Reguler</b>
3	849554,681	<b>Reguler</b>	1014205,817	<b>Reguler</b>
2	1197746,14	<b>Reguler</b>	1413302,004	<b>Reguler</b>
1	14949451,7	<b>Reguler</b>	18325648,97	<b>Reguler</b>
Ket	OK = Ketidakberaturan Vertikal 1B tidak terjadi V.1B = Ketidakberaturan Vertikal 1B terjadi Gaya dan displacement diambil dari loadcase SX, SY			
Kes	Struktur tidak mengalami ketidakberaturan			

(Sumber : *Output Analisa ETABS*)

## 2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

**Tabel 4. 30** Ketidakberaturan Berat Analisa ETABS

Lantai	Massa (kg)	Cek
6	1438432	Reguler
5	1902446,32	Reguler
4	1902446,32	Reguler
3	1970531,2	Reguler
2	2025135	Reguler
1	1775366	Reguler

(Sumber : *Output* Analisa ETABS)

## 3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

**Tabel 4. 31** Ketidaberaturan Geometri Vertikal

Lantai	L (mm)	Cek
6	900	Reguler
5	900	Reguler
4	900	Reguler
3	1000	Reguler
2	1000	Reguler
1	1000	Reguler

(Sumber : *Output* Analisa ETABS)

## 4. Diskontinuitas Arah Bidang dan Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

## 5. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

**Tabel 4. 32** Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekauan	Cek	Kekauan	Cek
	kN/m		kN/m	
6	1527,7075		1676,1419	
5	3085,7829	<b>Reguler</b>	3404,9714	<b>Reguler</b>
4	4205,0595	<b>Reguler</b>	4664,7535	<b>Reguler</b>
3	4917,9326	<b>Reguler</b>	5482,8765	<b>Reguler</b>
2	5263,8754	<b>Reguler</b>	5892,2904	<b>Reguler</b>
1	5313,3688	<b>Reguler</b>	5955,6803	<b>Reguler</b>
Ket	OK = Ketidakberaturan Vertikal 1B tidak terjadi V.1B = Ketidakberaturan Vertikal 1B terjadi Gaya dan displacement diambil dari loadcase SX, SY			
Kes	Struktur tidak mengalami ketidakberaturan			

(Sumber : *Output* Analisa ETABS)

Berdasarkan ketentuan SNI dan hasil analisa struktur menggunakan ETABS, struktur tanpa ketidakberaturan dengan ketinggian yang memenuhi syarat dapat dianalisis menggunakan metode spektrum respons ragam (MRSA). Dengan demikian, metode *Modal Response Spectrum Analysis* (MRSA) digunakan untuk mendapatkan respons gempa struktur yang lebih akurat.

#### 4.6.2 MRSA

##### 1. Analisa Spektrum Respons Ragam (Jumlah Ragam)

Mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, nilai partisipasi massa kumulatif dari ragam getar struktur disyaratkan mencapai minimal 90%. Berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS pada Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan, persyaratan tersebut telah terpenuhi, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil perhitungan yang diperoleh.

Case	Mode	Period (sec)	MX	MY	MZ	SumRX	SumRY	SumRZ	MX	MY	MZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	23	0.392	3.380E-05	0.9376	0	0.9377	0.9441	0	0.9198	0.0091	0.0000	0.9389	0.9435	0.8433
Modal	24	0.398	3.500E-05	2.314E-08	0	0.5269	0.5441	0	2.803E-06	0.0001	2.831E-05	0.5269	0.5439	0.5434
Modal	25	0.697	0.0001	0.0001	0	0.0007	0.0042	0	0.0001	0.0001	0.0001	0.0007	0.0041	0.0430
Modal	26	0.885	0.0006	0.0006	0	0.0075	0.0053	0	0.0004	0.0011	0.0001	0.0079	0.0062	0.0118
Modal	27	0.884	0.0004	0.0004	0	0.0009	0.0036	0	0.0013	0.0009	0.0000	0.0022	0.0035	0.0024
Modal	28	0.876	0	0.0001	0	0.0009	0.0036	0	0.0001	0	0	0.0010	0.0036	0.0024
Modal	29	0.875	0.0018	0.0002	0	0.0007	0.0036	0	0.0004	0.0004	0.0002	0.0011	0.0035	0.0023
Modal	30	0.874	0.0012	0.0003	0	0.0009	0.0047	0	0.0018	0.0005	0.0011	0.0023	0.0036	0.0026
Modal	31	0.872	0.0011	0.0019	0	0.0009	0.0067	0	0.0009	0.0017	0.0019	0.0028	0.0061	0.0054

**Gambar 4. 7** Partisipasi Massa

(Sumber : *Output* Analisa ETABS)

##### 2. Pesekalaan Gaya

Dalam analisis menggunakan metode MRSA, dilakukan proses penskalaan gaya (scaling) terhadap hasil gaya geser dasar dinamik agar konsisten dengan gaya geser dasar yang diperoleh dari metode statik ekuivalen, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019. Langkah ini bertujuan untuk menjamin bahwa respons gaya gempa hasil analisis dinamik tidak lebih kecil dari nilai minimum yang telah dipersyaratkan.

###### a. Gaya geser statis :

$$V_x = 5922.58 \text{ kN}, V_y = 12424.77 \text{ kN}$$

###### b. Faktor skala awal :

$$SF = \frac{g}{R/I}$$

$$= 1.634 \text{ m/s}^2$$

$$= 1634.44 \text{ mm/s}^2$$

c. Gaya geser respon spektra :

$$V_{LX} = 5922.582 \text{ kN}, V_{LY} = 6672.728 \text{ kN}$$

d. Penskalaan gaya gempa :

$$F_x = \max\left(1, \frac{v_x}{V_{LX}}\right) = 2.098 \text{ mm/s}^2$$

$$F_y = \max\left(1, \frac{v_y}{V_{LY}}\right) = 1.862 \text{ mm/s}^2$$

e. Faktor skala untuk gaya :

$$S_{FX} = SF \times F_x$$

$$= 1634.44 \text{ mm/s}^2$$

$$S_{FY} = SF \times F_y$$

$$= 1634.44 \text{ mm/s}^2$$

### 3. Penskalaan Simpangan

Dalam penilaian simpangan antar tingkat, besaran simpangan diperoleh secara langsung dari hasil analisis respons spektrum tanpa melalui proses penskalaan, sehingga mampu merepresentasikan perilaku deformasi struktur secara lebih aktual.

$$SF = 1634.44 \frac{g}{R/I}$$

$$= 1634.44 \text{ m/s}^2$$

$$= 1634.44 \text{ mm/s}^2$$

### 4. Simpangan Antar Lantai

Besaran simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dikendalikan agar tidak melampaui nilai simpangan antar tingkat yang diizinkan ( $\Delta_a$ ), yang penetapannya mengacu pada Tabel 20 dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1. Ketentuan ini diberlakukan untuk menjamin kinerja deformasi struktur tetap berada dalam batas yang dapat diterima.

**Tabel 4. 33** Simpangan Antar Tingkat

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	0,025h <sub>sx</sub>	0,020h <sub>sx</sub>	0,015h <sub>sx</sub>
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,010h <sub>sx</sub>	0,010h <sub>sx</sub>	0,010h <sub>sx</sub>
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h <sub>sx</sub>	0,007h <sub>sx</sub>	0,007h <sub>sx</sub>
Semua struktur lainnya	0,020h <sub>sx</sub>	0,015h <sub>sx</sub>	0,010h <sub>sx</sub>

(Sumber : SNI 1726:2019)

**Tabel 4. 34** Simpangan Antar Lantai

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
6	33,356	26,065	4,3780	3,4260	4000	16,052	12,562	30,769	OK
5	28,978	22,639	6,6820	5,2150	4000	24,500	19,121	30,769	OK
4	22,296	17,424	8,3760	6,5950	4000	30,712	24,181	30,769	OK
3	13,92	10,829	8,0150	6,2800	4000	29,388	23,026	30,769	OK
2	5,905	4,549	5,4910	4,2270	4000	20,133	15,499	30,769	OK
1	0,414	0,322	0,4140	0,3220	4000	1,518	1,1806	30,769	OK

(Sumber : *Output Analisa ETABS*)

## 5. Pengaruh P Delta

Mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019, pengaruh P-Delta harus diperhitungkan dalam analisis struktur untuk mengevaluasi kestabilan akibat interaksi antara gaya aksial dan deformasi lateral. Suatu struktur dinyatakan memenuhi persyaratan apabila efek P-Delta yang terjadi tidak melampaui batasan yang telah ditetapkan.

**Tabel 4. 35** Pengaruh P Delta

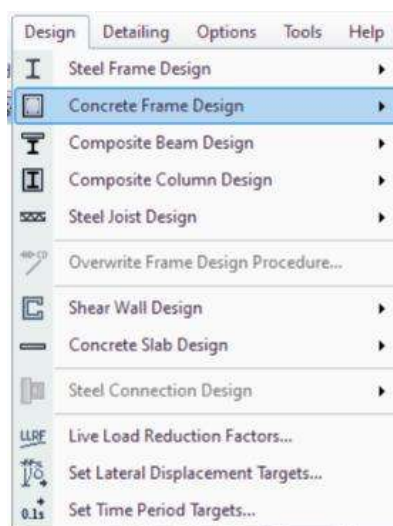
Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_x$	$\Delta_y$	P	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>		$\theta_x$	$\theta_y$			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)			
6	33,35	26,06	13317,48	2435,18	2154,43	4000	0,012	0,011	0,10	0,090	OK
5	28,97	22,63	38173,15	4899,38	4349,45	4000	0,015	0,013	0,10	0,090	OK
4	22,29	17,42	62480,58	6756,40	5994,84	4000	0,014	0,012	0,10	0,090	OK
3	13,92	10,82	86435,25	8033,40	7129,52	4000	0,010	0,009	0,10	0,090	OK
2	5,90	4,54	111567,2	8667,64	7707,95	4000	0,005	0,004	0,10	0,090	OK
1	0,41	0,32	137941,8	8727,31	7766,17	4000	0,000	0,000	0,10	0,090	OK

(Sumber : *Output Analisa ETABS*)

### 4.6.3 Hasil Analisa Dimensi Penampang

Hasil analisa penampang dilakukan setelah proses running analysis pada *software* ETABS selesai dilakukan. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan elemen struktur dalam menahan gaya-gaya dalam yang bekerja, seperti momen, gaya geser, dan gaya aksial berdasarkan kombinasi pembebanan yang telah ditentukan sesuai ketentuan SNI.

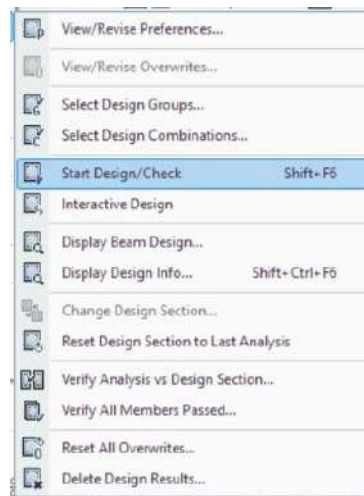
Proses analisa penampang pada penelitian ini dilakukan menggunakan fitur *Concrete Frame Design* pada ETABS. Tahapan dimulai dengan memilih menu *Design* → *Concrete Frame Design* seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



**Gambar 4. 8** *Concrere Frame Design*

(Sumber : Penulis, 2026)

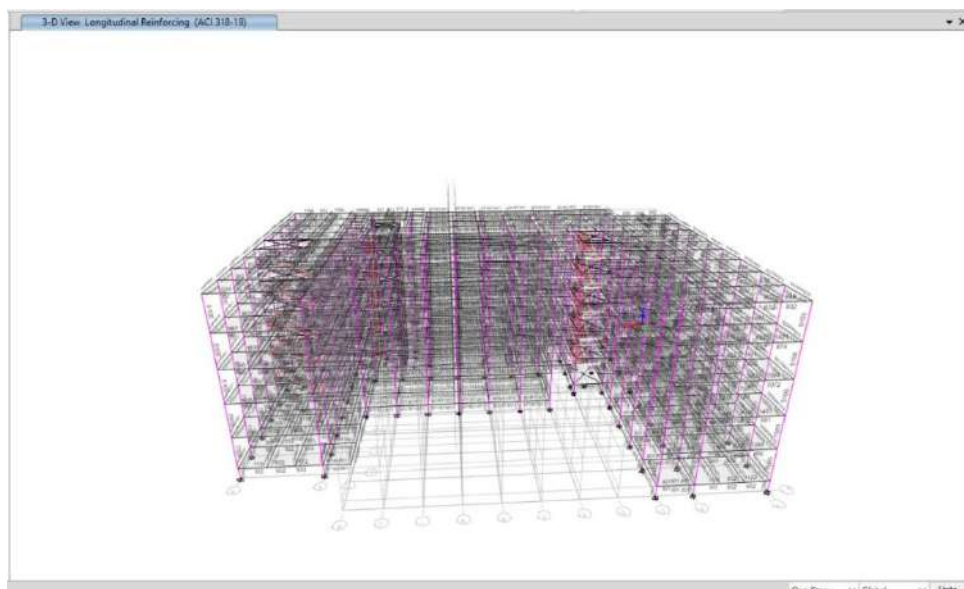
Selanjutnya dilakukan proses *Start Design/Check* untuk mengevaluasi kekuatan penampang struktur terhadap beban yang bekerja. Pada tahap ini ETABS secara otomatis menghitung kebutuhan tulangan serta mengecek rasio kapasitas elemen struktur apakah telah memenuhi syarat desain atau belum.



**Gambar 4. 9** *Start Design Check*

(Sumber : Penulis, 2026)

Berdasarkan hasil analisa, diperoleh kebutuhan tulangan longitudinal pada elemen struktur berupa balok dan kolom. Hasil tersebut divisualisasikan dalam bentuk model 3D longitudinal reinforcement sehingga distribusi kebutuhan tulangan pada tiap elemen dapat terlihat secara lebih jelas.



**Gambar 4. 10** Hasil ETABS

(Sumber : Penulis, 2026)

Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa elemen struktur telah memenuhi persyaratan desain yang ditinjau dari kekuatan penampang dan kebutuhan tulangan

berdasarkan kombinasi pembebanan yang bekerja. Selain itu, hasil analisa ini juga digunakan sebagai dasar dalam perhitungan dalam menentukan tulangan yang akan digunakan.

## 4.7 Perhitungan Struktur Atas

### 4.7.1 Penulangan Struktur Balok

Perencanaan elemen balok dalam studi ini mengacu pada hasil analisis struktur yang diperoleh melalui ETABS, yang kemudian dijadikan sebagai dasar dalam pelaksanaan perhitungan manual untuk penentuan kebutuhan tulangan balok.

#### A. Properti Material dan Penampang

L	=	9000	mm
b	=	500	mm
h	=	900	mm
Panjang Tumpuan	=	1800	mm
$d_b$	=	22	mm
$d_{bt}$	=	13	mm
$d_s$	=	13	mm
$c_c$	=	40	mm
d	=	836	mm
$f_c'$	=	25	MPa
$f_y$	=	420	MPa
$f_{yv}$	=	420	Mpa
$\beta_1$	=	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$	
	=	0.85	
$c_1$	=	(Sisi tegak lurus lebar balok) = 1000 mm	
$c_2$	=	(Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok) = 700 mm	
$L_n$	=	L - $c_1$	
	=	9000 - 1000	
	=	8000 mm	
$\lambda$	=	Asumsi tidak menggunakan beton ringan = 1	

### B. Gaya Dalam

$$M_{u,tumpuan (-)} = -670.2261 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,tumpuan (+)} = 258.8314 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,lapangan (-)} = -283.5948 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,lapangan (+)} = 312.0939 \text{ kN-m}$$

### C. Syarat Gaya dan Geometri

$$\text{Syarat Gaya Aksial} = P_u \leq 0.1 A_g f_c' \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat Tinggi Efektif} &= L_n \geq 4d \\ &= 8000 > 3344 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat Lebar 1} = b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm}) \quad \text{OK}$$

$$\text{Syarat Lebar 2} = b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1) \quad \text{OK}$$

### D. Penulangan Lentur ( Tumpuan Negatif)

$$n = 6$$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih} &= (b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1) \\ &= (500 - 2*40 - 2*13 - 6*22) / (6-1) \\ &= 52.400 \end{aligned}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n * \pi / 4 * d_b^2 \\ &= 6 * 3.14 / 4 * 22^2 \\ &= 2280.796 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min},1} &= (f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d \\ &= 25^{0.5} / 4 * 420 * 500 * 836 \\ &= 1244.048 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min},2} &= 1.4 / (4 * f_y) * b * d \\ &= 1.4 / 4 * 420 * 500 * 836 \\ &= 1393.333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Cek As min} = \text{As Pasang} \geq \text{As min} \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \rho &= A_s / (b * d) \\ &= 2280.796 / 500 * 836 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.55\% \\
 \rho_{\max,1} &= 0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * \\
 &\quad (600 / (600 + f_y)) \\
 &= 1.90\% \\
 \rho_{\max,2} &= 2.50\% \\
 \text{Cek As max} &= \rho \leq \rho_{\max} \quad \text{OK} \\
 a &= A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) \\
 &= 2280.796 * 420 / 0.85 * 25 * 500 \\
 &= 90.159 \quad \text{mm} \\
 M_n &= A_s * f_y * (d - a/2) \\
 &= 2280.796 * 420 * (22 - 90.159/2) \\
 &= 757.650 \quad \text{kN-m} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 90.159 / 0.85 \\
 &= 106.069 \quad \text{mm} \\
 \varepsilon_s &= (d - c) / c * 0.003 \\
 &= 0.021 \\
 \phi &= 0.65 \leq 0.65 + (\varepsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 \\
 &= 0.9 \\
 \phi M_n &= \phi * M_n \\
 &= 0.9 * 757.650 \\
 &= 681.885 \quad \text{kN-m} \\
 M_{u,tumpuan (-)} &= 670.226 \quad \text{kN-m} \\
 \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u ? \\
 &= 681.885 > 670.226 \quad \text{OK} \\
 \text{As Perlu} &= M_u / [f_y * (d - a/2)] \\
 &= 670.226 / 420 * (22 - 90.159/2) \\
 &= 2017.619 \quad \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi, tulangan yang dipakai pada tumpuan negatif yaitu, **6 D 22**

E. Penulangan Lentur (Tumpuan Positif)

$$n = 4$$

$$\begin{aligned}
 d_b &= 22 \quad \text{mm} \\
 \text{Jarak Bersih} &= (b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1) \\
 &= (500 - 2*40 - 2*13 - 4*22) / (4-1) \\
 &= 102.00 \\
 \text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} && \text{OK} \\
 \text{Jumlah Lapis} &= 1 \\
 \text{As Pasang} &= n * \pi / 4 * d_b^2 \\
 &= 4 * 3.14 / 4 * 22^2 \\
 &= 1520.531 \quad \text{mm} \\
 A_{s \text{ min},1} &= (f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d \\
 &= 25^{0.5} / 4 * 420 * 500 * 836 \\
 &= 1244.048 \quad \text{mm}^2 \\
 A_{s \text{ min},2} &= 1.4 / (4 * f_y) * b * d \\
 &= 1.4 / 4 * 420 * 500 * 836 \\
 &= 1393.333 \quad \text{mm}^2 \\
 \text{Cek As min} &= \text{As Pasang} \geq \text{As min} && \text{OK} \\
 \rho &= A_s / (b * d) \\
 &= 1520.531 / 500 * 836 \\
 &= 0.36\% \\
 \rho_{\text{max},1} &= 0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * \\
 &\quad (600 / (600 + f_y)) \\
 &= 1.90\% \\
 \rho_{\text{max},2} &= 2.50\% \\
 \text{Cek As max} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} && \text{OK} \\
 a &= A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) \\
 &= 1520.531 * 420 / 0.85 * 25 * 500 \\
 &= 60.106 \quad \text{mm} \\
 M_n &= A_s * f_y * (d - a/2) \\
 &= 1520.531 * 420 * (22 - 90.159/2) \\
 &= 514.696 \quad \text{kN-m} \\
 c &= a / \beta_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 60.106 / 0.85 \\
&= 70.713 \quad \text{mm} \\
\varepsilon_s &= (d - c) / c * 0.003 \\
&= 0.032 \\
\phi &= 0.65 \leq 0.65 + (\varepsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 \\
&= 0.9 \\
\phi M_n &= \phi * M_n \\
&= 0.9 * 514.696 \\
&= 463.227 \quad \text{kN-m} \\
M_u &= 258.831 \quad \text{kN-m} \\
\text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u ? \\
&= 463.227 > 258.831 \quad \quad \quad \mathbf{OK} \\
\text{As Perlu} &= M_u / [f_y * (d - a/2)] \\
&= 258.831 / 420 * (22 - 60.106/2) \\
&= 764.647 \quad \text{mm}^2
\end{aligned}$$

Jadi, tulangan yang dipakai pada tumpuan negatif yaitu, **4 D 22**

#### F. Penulangan ( Lapangan Negatif)

$$\begin{aligned}
N &= 4 \\
d_b &= 22 \quad \text{mm} \\
\text{Jarak Bersih} &= (b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1) \\
&= (500 - 2*40 - 2*13 - 4*22) / (4-1) \\
&= 102.00 \\
\text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} \quad \quad \quad \mathbf{OK} \\
\text{Jumlah Lapis} &= 1 \\
\text{As Pasang} &= n * \pi / 4 * d_b^2 \\
&= 4 * 3.14 / 4 * 22^2 \\
&= 1520.531 \quad \text{mm} \\
A_{s \text{ min},1} &= (f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d \\
&= 25^{0.5} / 4 * 420 * 500 * 836 \\
&= 1244.048 \quad \text{mm}^2 \\
A_{s \text{ min},2} &= 1.4 / (4 * f_y) * b * d
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.4 / 4 * 420 * 500 * 836 \\
 &= 1393.333 \quad \text{mm}^2 \\
 \text{Cek As min} &= \text{As Pasang} \geq \text{As min} && \mathbf{OK} \\
 \rho &= \text{As} / (\text{b} * \text{d}) \\
 &= 1520.531 / 500 * 836 \\
 &= 0.36\% \\
 \rho_{\text{max},1} &= 0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * \\
 &\quad (600 / (600 + f_y)) \\
 &= 1.90\% \\
 \rho_{\text{max},2} &= 2.50\% \\
 \text{Cek As max} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} && \mathbf{OK} \\
 a &= \text{As} * f_y / (0.85 * f_c' * b) \\
 &= 1520.531 * 420 / 0.85 * 25 * 500 \\
 &= 60.106 \quad \text{mm} \\
 M_n &= \text{As} * f_y * (\text{d} - a/2) \\
 &= 1520.531 * 420 * (22 - 90.159/2) \\
 &= 514.696 \quad \text{kN-m} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 60.106 / 0.85 \\
 &= 70.713 \quad \text{mm} \\
 \epsilon_s &= (\text{d} - c) / c * 0.003 \\
 &= 0.032 \\
 \phi &= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 \\
 &= 0.9 \\
 \phi M_n &= \phi * M_n \\
 &= 0.9 * 514.696 \\
 &= 463.227 \quad \text{kN-m} \\
 M_u &= 283.595 \quad \text{kN-m} \\
 \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u ? \\
 &= 463.227 > 283.595 && \mathbf{OK} \\
 \text{As Perlu} &= M_u / [f_y * (\text{d} - a/2)]
 \end{aligned}$$

$$= 283.595 / 420 * (22 - 60.106/2)$$

$$= 837.804 \text{ mm}^2$$

Jadi, tulangan yang dipakai pada tumpuan negatif yaitu, **4 D 22**

#### G. Penulangan ( Lapangan Positif)

n	=	4	
d <sub>b</sub>	=	22	mm
Jarak Bersih	=	(b - 2 c <sub>c</sub> - 2 d <sub>s</sub> - n * d <sub>b</sub> ) / (n - 1)	
	=	(500 - 2*40 - 2*13 - 4*22) / (4-1)	
	=	102.00	
Cek Jarak Bersih	=	Jarak Bersih >= d <sub>b</sub> dan 25 mm	<b>OK</b>
Jumlah Lapis	=	1	
As Pasang	=	n * π/4 * d <sub>b</sub> <sup>2</sup>	
	=	4*3.14/4*22	
	=	1520.531 mm	
A <sub>s min,1</sub>	=	(f <sub>c</sub> ') <sup>0.5</sup> / (4 * f <sub>y</sub> ) * b * d	
	=	25 <sup>0.5</sup> /4*420*500*836	
	=	1244.048 mm <sup>2</sup>	
A <sub>s min,2</sub>	=	1.4 / (4 * f <sub>y</sub> ) * b * d	
	=	1.4 / 4*420 * 500 * 836	
	=	1393.333 mm <sup>2</sup>	
Cek As min	=	As Pasang >= As min	<b>OK</b>
ρ	=	As / (b * d)	
	=	1520.531 / 500*836	
	=	0.36%	
ρ <sub>max,1</sub>	=	0.75 ρ <sub>b</sub> = 0.75 * 0.85 * β <sub>1</sub> * f <sub>c</sub> ' / f <sub>y</sub> * (600/(600 + f <sub>y</sub> ))	
	=	1.90%	
ρ <sub>max,2</sub>	=	2.50%	
Cek As max	=	ρ <= ρ max	<b>OK</b>
a	=	As * f <sub>y</sub> / (0.85 * f <sub>c</sub> ' * b)	
	=	1520.531* 420 / 0.85 * 25 *500	

$$\begin{aligned}
 &= 60.106 \quad \text{mm} \\
 M_n &= A_s * f_y * (d - a/2) \\
 &= 1520.531 * 420 * (22 - 90.159/2) \\
 &= 514.696 \quad \text{kN-m} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 60.106 / 0.85 \\
 &= 70.713 \quad \text{mm} \\
 \epsilon_s &= (d - c) / c * 0.003 \\
 &= 0.032 \\
 \phi &= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 \\
 &= 0.9 \\
 \phi M_n &= \phi * M_n \\
 &= 0.9 * 514.696 \\
 &= 463.227 \quad \text{kN-m} \\
 M_u &= 312.094 \quad \text{kN-m} \\
 \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u ? \\
 &= 463.227 > 312.094 \quad \quad \quad \mathbf{OK} \\
 \text{As Perlu} &= M_u / [f_y * (d - a/2)] \\
 &= 258.831 / 420 * (22 - 60.106/2) \\
 &= 921.997 \quad \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi, tulangan yang dipakai pada tumpuan negatif yaitu, **4 D 22**

**Tabel 4. 36** Perbandingan Nilai As Etabs, As Perlu dan As Pasang

Nama	Ukuran Balok (b x h)	Daerah	Letak Tulangan	As ETABS mm <sup>2</sup>	As Perlu mm <sup>2</sup>	As Pasang mm <sup>2</sup>
B1	500x 900	Tump.	Atas	1679.00	2017.62	2280.80
			Bawah	1412.00	764.65	1520.53
		Lap.	Atas	1412.00	837.80	1520.53
			Bawah	1412.00	922.00	1520.53
B2	400x 750	Tump.	Atas	1358.00	2178.42	2660.93
			Bawah	1050.00	711.22	1520.53
		Lap.	Atas	1050.00	870.30	1520.53
			Bawah	1050.00	1040.11	1520.53

<b>Nama</b>	<b>Ukuran Balok (b x h)</b>	<b>Daerah</b>	<b>Letak Tulangan</b>	<b>As ETABS mm<sup>2</sup></b>	<b>As Perlu mm<sup>2</sup></b>	<b>As Pasang mm<sup>2</sup></b>
B2'	400 x750	Tump.	Atas	1328.00	1812.46	2280.80
			Bawah	932.00	591.95	1140.40
		Lap.	Atas	932.00	688.00	1140.40
			Bawah	932.00	928.55	1140.40
B3	300x 450	Tump.	Atas	601.00	793.47	1134.11
			Bawah	560.00	687.34	850.59
		Lap.	Atas	560.00	542.66	1134.11
			Bawah	560.00	520.06	850.59
B4'	300x 450	Tump.	Atas	548.00	654.50	850.59
			Bawah	453.00	446.78	567.06
		Lap.	Atas	453.00	406.98	567.06
			Bawah	453.00	349.96	567.06
B4	350x 600	Tump.	Atas	966.00	1002.40	1417.64
			Bawah	765.00	869.73	1417.64
		Lap.	Atas	644.00	532.72	850.59
			Bawah	644.00	547.26	850.59
B4''	350x 600	Tump.	Atas	791.00	674.06	850.59
			Bawah	644.00	511.49	850.59
		Lap.	Atas	644.00	674.06	850.59
			Bawah	644.00	511.49	850.59
B5	350x 600	Tump.	Atas	840.00	734.58	1417.64
			Bawah	743.00	563.88	1417.64
		Lap.	Atas	644.00	432.98	1417.64
			Bawah	644.00	790.62	1417.64
B6	400x 650	Tump.	Atas	1228.00	1253.74	1417.64
			Bawah	801.00	706.63	850.59
		Lap.	Atas	801.00	463.20	850.59
			Bawah	801.00	578.96	1417.64
B6'	400x 650	Tump.	Atas	1073.00	1011.47	1134.11
			Bawah	801.00	374.39	850.59
		Lap.	Atas	801.00	271.38	850.59
			Bawah	801.00	553.06	850.59
B7	350x 600	Tump.	Atas	986.00	980.45	1140.40
			Bawah	680.00	698.06	850.59
		Lap.	Atas	644.00	443.93	850.59
			Bawah	644.00	505.90	850.59
BB	250x 450	Tump.	Atas	315.00	244.16	850.59
			Bawah	295.00	43.39	850.59
		Lap.	Atas	295.00	2.41	850.59
			Bawah	295.00	120.55	850.59
BK	350x 600	Tump.	Atas	980.00	183.59	1701.17

<b>Nama</b>	<b>Ukuran Balok (b x h)</b>	<b>Daerah</b>	<b>Letak Tulangan</b>	<b>As ETABS mm<sup>2</sup></b>	<b>As Perlu mm<sup>2</sup></b>	<b>As Pasang mm<sup>2</sup></b>
			Bawah	644.00	141.18	1134.11
		Lap.	Atas	644.00	927.53	1701.17
			Bawah	644.00	125.69	1134.11
BA1	250x 400	Tump.	Atas	720.00	629.75	804.247
			Bawah	345	439.821	603.185
		Lap.	Atas	295	652.086	804.247
			Bawah	295	449.808	804.247
BA2	250x 400	Tump.	Atas	416	508.944	850.586
			Bawah	254	201.908	567.057
		Lap.	Atas	254	96.604	850.586
			Bawah	254	201.908	567.057
BA3	200x300	Tump.	Atas	252	187.022	402.123
			Bawah	171	115.260	402.123
		Lap.	Atas	171	199.492	402.123
			Bawah	171	110.449	402.123
BL	250x300	Tump.	Atas	213	133.551	850.586
			Bawah	213	26.960	567.057
		Lap.	Atas	213	49.175	850.586
			Bawah	213	60.021	567.057

( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 37** Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok

Nama	Ukuran Balok (b x h)	Daerah	Letak Tu-langan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Ter-pasang ≥ As min	Syarat As Ter-pasang ≥ As Perlu	Di-pasang
B1	500x 900	Tump.	Atas	670.23	2017.62	1244.05	1393.33	22	6	2280.80	OK	OK	6 D22
			Bawah	463.23	764.65			22	4	1520.53	OK	OK	4 D22
		Lap.	Atas	463.23	837.80			22	4	1520.53	OK	OK	4 D22
			Bawah	312.09	922.00	1244.05	1393.33	22	4	1520.53	OK	OK	4 D22
B2	400x 750	Tump.	Atas	567.50	2178.42	816.67	914.67	22	7	2660.93	OK	OK	7 D22
			Bawah	372.69	711.22			22	4	1520.53	OK	OK	4 D22
		Lap.	Atas	372.69	870.30			22	4	1520.53	OK	OK	4 D22
			Bawah	283.26	1040.11	816.67	914.67	22	4	1520.53	OK	OK	4 D22
B2'	400 x750	Tump.	Atas	479.31	1812.46	816.67	914.67	22	6	2280.80	OK	OK	6 D22
			Bawah	283.57	591.95			22	3	1140.40	OK	OK	3 D22
		Lap.	Atas	283.57	688.00			22	3	1140.40	OK	OK	3 D22
			Bawah	256.55	928.55	816.67	914.67	22	3	1140.40	OK	OK	3 D22
B3	300x 450	Tump.	Atas	116.69	793.47	345.98	387.50	19	4	1134.11	OK	OK	4 D19
			Bawah	115.58	687.34			19	3	850.59	OK	OK	3 D19
		Lap.	Atas	150.10	542.66			19	4	1134.11	OK	OK	4 D19
			Bawah	78.52	520.06	345.98	387.50	19	3	850.59	OK	OK	3 D19
B4'	300x 450	Tump.	Atas	99.64	654.50	348.66	390.50	19	3	850.59	OK	OK	3 D19
			Bawah	79.70	446.78			19	2	567.06	OK	OK	2 D19
		Lap.	Atas	63.56	406.98			19	2	567.06	OK	OK	2 D19
			Bawah	54.65	349.96	348.66	390.50	19	2	567.06	OK	OK	2 D19
B4	350x 600	Tump.	Atas	210.70	1002.40	563.02	630.58	19	5	1417.64	OK	OK	5 D19
			Bawah	268.19	869.73			19	5	1417.64	OK	OK	5 D19

Nama	Ukuran Balok (b x h)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	Di-pasang
		Lap.	Atas	115.56	532.72			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	118.71	547.26	563.02	630.58	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
B4''	350x 600	Tump.	Atas	146.22	674.06	563.02	630.58	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	166.06	511.49			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
		Lap.	Atas	146.22	674.06			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	110.95	511.49	563.02	630.58	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
B5	350x 600	Tump.	Atas	153.48	734.58	559.90	627.08	19	5	1417.64	<b>OK</b>	<b>OK</b>	5 D19
			Bawah	266.58	563.88			19	5	1417.64	<b>OK</b>	<b>OK</b>	5 D19
		Lap.	Atas	90.47	432.98			19	5	1417.64	<b>OK</b>	<b>OK</b>	5 D19
			Bawah	165.19	790.62	559.90	627.08	19	5	1417.64	<b>OK</b>	<b>OK</b>	5 D19
B6	400x 650	Tump.	Atas	292.50	1253.74	702.98	787.33	19	5	1417.64	<b>OK</b>	<b>OK</b>	5 D19
			Bawah	183.10	706.63			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
		Lap.	Atas	110.79	463.20			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	138.48	578.96	702.98	787.33	19	3	1417.64	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
B6'	400x 650	Tump.	Atas	238.95	1011.47	702.98	787.33	19	4	1134.11	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4 D19
			Bawah	183.10	374.39			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
		Lap.	Atas	64.91	271.38			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	132.28	553.06	702.98	787.33	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
B7	350x 600	Tump.	Atas	209.31	980.45	563.02	630.58	19	3	1140.40	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	166.06	698.06			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
		Lap.	Atas	96.30	443.93			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	109.74	505.90	563.02	630.58	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
BB	250x 450	Tump.	Atas	36.60	244.16	290.55	325.42	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	114.74	43.39			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19

Nama	Ukuran Balok (b x h)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	Di-pasang
		Lap.	Atas	191.85	2.41			19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
			Bawah	18.07	120.55	290.55	325.42	19	3	850.59	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3 D19
BK	350x 600	Tump.	Atas	37.97	183.59	563.02	630.58	19	6	1701.17	<b>OK</b>	<b>OK</b>	6 D19
			Bawah	217.98	141.18			19	4	1134.11	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4 D19
		Lap.	Atas	191.85	927.53			19	6	1701.17	<b>OK</b>	<b>OK</b>	6 D19
			Bawah	26.84	125.69	563.02	630.58	19	4	1134.11	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4 D19
BA1	250x 400	Tump.	Atas	82.05	629.75	254.46	285.00	16	4	804.247	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4D16
			Bawah	58.77	439.821			16	3	603.185	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D16
		Lap.	Atas	84.95	652.086			16	4	804.247	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4D16
			Bawah	58.60	449.808	254.46	285	16	4	804.247	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4D16
BA2	250x 400	Tump.	Atas	65.59	508.944	253.34	283.75	19	3	850.586	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
			Bawah	26.97	201.908			19	2	567.057	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
		Lap.	Atas	12.45	96.604			19	3	850.586	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
			Bawah	26.97	201.908	253.348	283.75	19	2	567.057	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
BA3	200x300	Tump.	Atas	17.44	187.022	144.047	161.33	16	3	402.123	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D16
			Bawah	10.75	115.260			16	2	402.123	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D16
		Lap.	Atas	18.61	199.492			16	3	402.123	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D16
			Bawah	10.30	110.449	144.047	161.33	16	2	402.123	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D16
BL	250x300	Tump.	Atas	11.60	133.551	178.94	200.416	19	3	850.586	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
			Bawah	2.469	26.960			19	2	567.057	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
		Lap.	Atas	4.272	49.175			19	3	850.586	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
			Bawah	5.497	60.021	178.943	200.416	19	2	567.057	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19

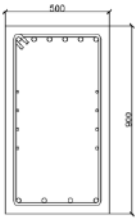
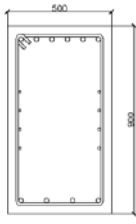
( Sumber : Penulis, 2026 )

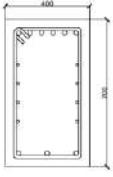
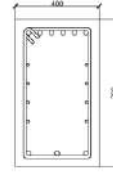
**Tabel 4. 38** Rekapitulasi Penulangan Geser Balok

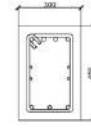
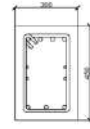
Nama	Ukuran Balok (b x h)	Daerah	Vu	Vn	Ø	Jumlah Kaki	Spasi Max 1	Spasi Max 2	Spasi Max 3	Cek Kontrol	S Pakai	Dipasang
			N	N	mm		mm	mm	mm	$\phi V_n / V_u$	mm	
B1	500 x 900	Tump	308.961	1379400	0.75	2	150.0	132	150	<b>OK</b>	130	2D13-130
		Lap	317.692	1287399	0.75	2	418.0			<b>OK</b>	200	2D13-200
B2	400 x 750	Tump	362.429	764857	0.75	2	171.5	132	150	<b>OK</b>	100	2D13-100
		Lap	330.263	743144	0.75	2	343.0			<b>OK</b>	150	2D13-150
B2'	400 x 750	Tump	310.566	998097	0.75	2	171.5	132	150	<b>OK</b>	100	2D13-100
		Lap	278.044	743144	0.75	2	343.0			<b>OK</b>	150	2D13-150
B3	300 x 450	Tump	121.803	383625	0.75	2	96.9	114	150	<b>OK</b>	90	2D13-90
		Lap	121.803	407415	0.75	2	193.8			<b>OK</b>	140	2D13-140
B4'	300 x 450	Tump	73.092	322033	0.75	2	97.6	114	150	<b>OK</b>	80	2D10-80
		Lap	70.728	314266	0.75	2	195.3			<b>OK</b>	120	2D10-120
B4	350 x 600	Tump	157.244	445733	0.75	2	350.0	114	150	<b>OK</b>	80	2D10-80
		Lap	129.352	517385	0.75	3	270.3			<b>OK</b>	150	2D10-150
B4''	350 x 600	Tump	120.963	445733	0.75	2	135.1	114	150	<b>OK</b>	80	2D10-80
		Lap	120.963	348476	0.75	2	270.3			<b>OK</b>	190	2D10-190
B5	350 x 600	Tump	213.020	599286	0.75	2	134.4	114	150	<b>OK</b>	100	2D13-100
		Lap	216.791	559430	0.75	2	268.8			<b>OK</b>	150	2D13-150
B6	400 x 650	Tump	201.567	556533	0.75	2	147.6	114	150	<b>OK</b>	70	2D10-70
		Lap	162.897	590343	0.75	2	295.3			<b>OK</b>	100	2D10-100
B6'	400 x 650	Tump	178.890	486966	0.75	2	147.6	114	150	<b>OK</b>	80	2D10-80
		Lap	138.584	590343	0.75	2	295.3			<b>OK</b>	100	2D10-100
B7	350 x 600	Tump	176.518	475449	0.75	2	135.1	114	150	<b>OK</b>	75	2D10-75
		Lap	149.061	457954	0.75	2	270.3			<b>OK</b>	120	2D10-120

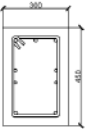
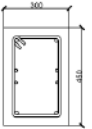
BB	250 x 450	Tump	32.119	322033	0.75	2	97.6	114	150	<b>OK</b>	80	2D10-80
		Lap	28.302	297670	0.75	2	195.3			<b>OK</b>	120	2D10-120
BA1	250x 400	Tump	72.203	298304	0.9	2	171.0	600		<b>OK</b>	100	2D10-100
		Lap	47.292	298304	0.75	2				<b>OK</b>	100	2D10-100
BA2	250x 400	Tump	53.678	353156	0.75	2	170.3	600		<b>OK</b>	100	2D10-100
		Lap	31.722	353156	0.75	2				<b>OK</b>	100	2D10-100
BA3	200x 300	Tump	19.791	200860	0.75	2	121.0	600		<b>OK</b>	100	2D10-100
		Lap	17.671	200860	0.75	2				<b>OK</b>	100	2D10-100
BL	250x 300	Tump	17.777	249439	0.75	2	120.3	600		<b>OK</b>	100	2D10-100
		Lap	15.657	249439	0.75	2				<b>OK</b>	100	2D10-100

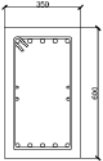

( Sumber : Penulis, 2026 )

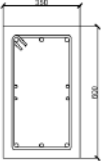
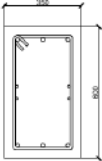
Dimensi Balok	500 x 900	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
Balok B1		
Tulangan Atas	6D22	6D22
Tulangan Bawah	4D22	4D22
Sengkang	D13 - 130	D13 - 200
Tulangan Samping	4D13	4D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/Fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	


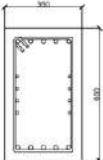
Dimensi Balok	400 x 700	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
Balok B2		
Tulangan Atas	6D22	6D22
Tulangan Bawah	3D22	3D22
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150
Tulangan Samping	4D13	4D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/Fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

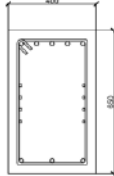
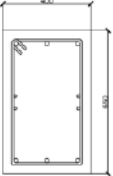
Dimensi Balok	300 x 450	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
Balok B3		
Tulangan Atas	4D19	4D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/Fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

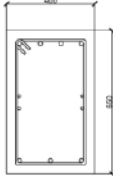
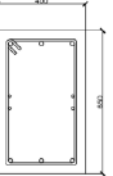
Dimensi Balok	300 x 450	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
<b>Balok B4'</b>		
Tulangan Atas	3D19	2D19
Tulangan Bawah	2D19	2D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 120
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

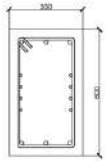
Dimensi Balok	350 X 600	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
<b>Balok B4</b>		
Tulangan Atas	5D19	3D19
Tulangan Bawah	5D19	3D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 150
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Balok	350 X 600	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
<b>Balok B4''</b>		
Tulangan Atas	3D19	3D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 150
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

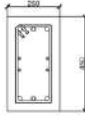
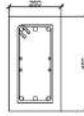
Dimensi Balok	350 X 600	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
<b>Balok B5</b>		
Tulangan Atas	5D19	5D19
Tulangan Bawah	5D19	5D19
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150
Tulangan Samping	2D13	4D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Balok	400 x 650	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
<b>Balok B6</b>		
Tulangan Atas	5D19	3D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 100
Tulangan Samping	4D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

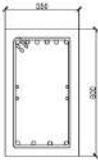

Dimensi Balok	400 x 650	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
<b>Balok B6'</b>		
Tulangan Atas	4D19	3D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 100
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Balok	350 X 600	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
Balok B7		
Tulangan Atas	3D19	3D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 120
Tulangan Samping	4D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

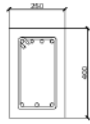
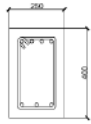
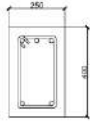
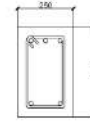




  

Dimensi Balok	250 X 450	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
Balok Bordes		
Tulangan Atas	3D19	3D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 120
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Balok	350 X 600	
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)
Balok Kantilever		
Tulangan Atas	6D19	6D19
Tulangan Bawah	4D19	4D19
Sengkang	D10 - 100	D10 - 150
Tulangan Samping	2D13	2D13
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

**Gambar 4. 11** Detail Penulangan Balok Induk  
( Sumber : Penulis, 2026 )

Dimensi Balok	250 x 400		Dimensi Balok	250 x 400		Dimensi Balok	200 x 300				
Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)	Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)	Posisi Bentang	Tumpuan (L/4)	Lapangan (L/2)			
Balok Ba1			Balok Ba2			Balok Ba3					
	Tulangan Atas	4D16		3D16	Tulangan Atas		3D19	3D19	Tulangan Atas	2D16	2D16
	Tulangan Bawah	3D16		3D16	Tulangan Bawah		2D19	2D19	Tulangan Bawah	2D16	2D16
	Sengkang	D10 - 100		D10 - 100	Sengkang		D10 - 100	D10 - 100	Sengkang	D10 - 100	D10 - 100
	Selimit Beton	40 mm		Selimit Beton	40 mm		Selimit Beton	40 mm			
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa		Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa		Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa				
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)		Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)		Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)				
Dimensi Balok			250 x 300								
Posisi Bentang			Tumpuan (L/4)			Lapangan (L/2)					
Balok BL											
Tulangan Atas			3D19			3D19					
Tulangan Bawah			2D19			2D19					
Sengkang			D10 - 100			D10 - 100					
Selimit Beton			40 mm								
Mutu Beton			K.300/fc. 25 MPa								
Mutu Baja Tulangan			fy. 420 MPa (Deform)								

**Gambar 4. 12** Detail Penulangan Balok Anak  
( Sumber : Penulis, 2026 )

## 4.7.2 Penulangan Struktur Kolom

### 4.7.2.1 Metode SCWB

Metode Strong Column Weak Beam (SCWB) merupakan konsep penting dalam desain struktur tahan gempa yang menekankan bahwa kekuatan kolom harus lebih besar dibandingkan balok, sehingga pola keruntuhan yang terjadi dapat dikendalikan dan bersifat daktail pada balok. Pendekatan ini bertujuan untuk menghindari kegagalan struktur secara tiba-tiba serta menjaga kestabilan bangunan ketika menerima beban gempa. Dalam perencanaan beton bertulang, prinsip SCWB telah diatur dalam SNI 2847:2019 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional, yang mensyaratkan perbandingan kapasitas momen antara kolom dan balok agar struktur mampu berperilaku aman, kuat, dan memiliki daktilitas yang memadai sesuai kaidah desain tahan gempa.

#### A. Properti Material dan Penampang

L	=	4000	mm
b	=	1000	mm
h	=	700	mm
$d_b$	=	22	mm
$d_s$	=	13	mm
$c_c$	=	40	mm
$f_c'$	=	30	MPa
$f_y$	=	420	MPa
$f_{yv}$	=	420	MPa
$h_b$	=	600	mm
$L_n$	=	$L - h_b$	
	=	$4000 - 600$	
	=	3400	mm

#### B. Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya Aksial	=	$P_u \leq 0.1 A_g f_c'$	<b>OK</b>
Syarat Sisi Terpendek	=	$b \geq 300 \text{ mm}$	<b>OK</b>

Syarat Rasio Dimensi =  $b/h \geq 0.4$  **OK**  
 Penampang

### C. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial Lentur

Jumlah Tulangan,  $n$  = 20  
 $A_s$  =  $n * \pi/4 * d_b^2$   
 =  $20 * 3.14/4 * 22^2$   
 = 7602.7 mm<sup>2</sup>  
 Rasio Tulangan,  $\rho$  =  $A_s / (b * h)$   
 =  $7602.7 / (1000 * 700)$   
 = 1.09%

Cek  $\rho_{min}$  dan  $\rho_{max}$  =  $1\% \leq \rho \leq 6\%$  **OK**

### D. Pengecekan *Strong Column - Weak Beam* (SCWB)

$M_{nc}$  =  $M_n$  dari kondisi  $P_{max}$  dan  $P_{min}$   
 = 1645.967 kN m  
 $M_n^-$  Tumpuan Balok = 696.549 kN m  
 $M_n^+$  Tumpuan Balok = 416.021 kN m  
 Cek SCWB =  
 =  $2 * M_{nc} \geq 1.2 * (M_n^- + M_n^+)$  **OK**

### E. Panjang Zona Sendi Plastis

$l_{o1}$  =  $h$  = 700 mm  
 $l_{o2}$  =  $L_n / 6$  = 566.7 mm  
 $l_{o3}$  = 450 mm = 450 mm  
 $l_o$  = Max = 700 mm

### F. Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Jumlah Kaki Sisi Pendek,  $n1$  = 6 mm  
 Jumlah Kaki Sisi Panjang,  $n2$  = 6 mm  
 Spasi,  $s$  = 100 mm  
 Spasi Kaki Terbesar,  $x_i$  = 300 mm  
 $A_{sh\ 1}$  =  $n * \pi/4 * d_s^2$   
 =  $6 * 3.14/4 * 13^2$

$$\begin{aligned}
 &= 796.394 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh\ 2} &= 796.394 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh / s, 1} &= 7.964 \text{ mm}^2 / \text{mm} \\
 A_{sh / s, 2} &= 7.964 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

### G. Confinement / Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c &= b - 2c_c \\
 &= 1000 - 2.40 \\
 &= 920 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c &= h - 2c_c \\
 &= 700 - 2.40 \\
 &= 620 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang Kolom, } A_g &= b * h \\
 &= 1000 * 700 \\
 &= 700000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} &= b_c * h_c \\
 &= 920 * 620 \\
 &= 570400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### H. Sisi Pendek/Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 A_{sh/s \text{ min, } 1} &= 0.3 (b_c * f_c' / f_{yv}) * (A_g / A_{ch} - 1) \\
 &= 0.3 (920 * 25 / 420) * (700000 / 570400 - 1) \\
 &= 4.479 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh/s \text{ min, } 2} &= 0.09 * b_c * f_c' / f_{yv} \\
 &= 0.09 * 920 * 25 / 420 \\
 &= 5.914 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek } A_{sh/s\ 1} = A_{sh/s\ 1} \geq A_{sh/s \text{ min}} \quad \mathbf{OK}$$

### I. Sisi Pendek/Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 A_{sh/s \text{ min, } 1} &= 0.3 (h_c * f_c' / f_{yv}) * (A_g / A_{ch} - 1) \\
 &= 0.3 (620 * 25 / 420) * (700000 / 570400 - 1) \\
 &= 3.019 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh/s \text{ min, } 2} &= 0.09 * h_c * f_c' / f_{yv} \\
 &= 0.09 * 620 * 25 / 420
 \end{aligned}$$

$$= 3.986 \text{ mm}^2$$

Cek  $A_{sh}/s$  1 =  $A_{sh}/s$  1  $\geq$   $A_{sh}/s$  min **OK**

#### J. Cek Spasi

$$s_{max,1} = b / 4$$

$$= 1000 / 4$$

$$= 250 \text{ mm}$$

$$s_{max,2} = 6 * d_b$$

$$= 6 * 22$$

$$= 132 \text{ mm}$$

$$h_x = x_{i \text{ max}}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$s_{max,3} = s_o = 100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150$$

$$= 116.667 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \text{Min} (s_{max,1}, s_{max,2}, s_{max,3})$$

$$= 116.667 \text{ mm}$$

Cek Spasi = **OK**

#### K. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

##### Gaya Geser Desain

$$M_{pr} \text{ Kolom} = \text{Nilai terbesar}$$

$$= 2427.554 \text{ kN m}$$

$$V_{u1} = 2 * M_{pr} \text{ Kolom} / L_n$$

$$= 2 * 2427.554 / 3400$$

$$= 1427973 \text{ N}$$

##### Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$V_{u2, \text{ Sumbu Lemah}} = 345702 \text{ N}$$

$$V_{u2, \text{ Sumbu Kuat}} = 230108 \text{ N}$$

##### Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = \text{Max} (V_{u1}, V_{u2})$$

$$= 1427973 \text{ N}$$

$$\phi = 0.75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$\begin{aligned}
 & 610370 \quad \text{N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= V_u / \phi - V_c \\
 &= 1427973 / 0.75 - 610370 \\
 &= 1293594 \quad \text{N} \\
 A_s/s \text{ Perlu} &= V_s / (f_{yv} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 \\
 &= 3.2906 \quad \text{mm}^2 / \text{mm} \\
 A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv} \\
 &= 0.062 * 25^{0.5} * 1000 / 420 \\
 &= 0.5660 \quad \text{mm}^2 / \text{mm} \\
 A_s/s \text{ Min 2} &= 0.35 h / f_{yv} \\
 &= 0.35 * 1000 * 420 \\
 &= 0.5833 \quad \text{mm}^2 / \text{mm} \\
 \text{Cek } A_s/s &= A_{sh}/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

#### Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 V_u &= \text{Max} (V_{u1}, V_{u2}) \\
 &= 1427973 \quad \text{N} \\
 \phi &= 0.75 \\
 V_c &= 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 \\
 &= 592483 \quad \text{N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= V_u / \phi - V_c \\
 &= 1427973 / 0.75 - 592483 \\
 &= 1311480 \quad \text{N} \\
 A_s/s \text{ Perlu} &= V_s / (f_{yv} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 \\
 &= 4.9097 \quad \text{mm}^2 / \text{mm} \\
 A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv} \\
 &= 0.062 * 25^{0.5} * 700 / 420 \\
 &= 0.8085 \quad \text{mm}^2 / \text{mm} \\
 A_s/s \text{ Min 2} &= 0.35 h / f_{yv} \\
 &= 0.35 * 700 * 420 \\
 &= 0.8333 \quad \text{mm}^2 / \text{mm} \\
 \text{Cek } A_s/s &= A_{sh}/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

#### Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n1 &= 2 \\
 \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n2 &= 2 \\
 \text{Spasi, } s &= 120 \quad \text{mm} \\
 A_v \text{ Sumbu Lemah} &= n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \\
 &= 2 \cdot 3.24/4 \cdot 13^2 \\
 &= 265.465 \quad \text{mm}^2 \\
 A_v \text{ Sumbu Kuat} &= n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2 \\
 &= 2 \cdot 3.24/4 \cdot 13^2 \\
 &= 265.465 \quad \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

#### Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi max 1} &= 6 d_b \quad 132.0 \quad \text{mm} \\
 \text{Spasi max 2} &= 150 \text{ mm} \quad 150.0 \quad \text{mm} \\
 \text{Cek Spasi} &\quad \text{Spasi} \leq \text{Spasi Max}
 \end{aligned}$$

**OK**

#### 4.7.2.2 Perhitungan Manual pada Kolom

Perhitungan manual kolom dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan kolom dalam menahan beban aksial dan momen lentur, dengan membandingkan gaya dalam terfaktor terhadap kapasitas penampang berdasarkan dimensi dan tulangan yang digunakan. Pengecekan dilakukan melalui hubungan interaksi aksial-momen agar kolom tetap berada dalam kondisi aman. Proses ini mengacu pada SNI 2847:2019 yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional untuk menjamin kekuatan dan kestabilan struktur.

##### A. Data Kolom

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 25 \quad \text{MPa} \\
 f_y &= 420 \quad \text{MPa} \\
 f_y &= 420 \quad \text{MPa} \\
 b &= 1000 \quad \text{mm} \\
 h &= 700 \quad \text{mm} \\
 D &= 22 \quad \text{mm} \\
 \emptyset &= 13 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$t_s = 40 \text{ mm}$$

### B. Momen dan Gaya Geser Rencana

$$P_u = 3509.8198 \text{ kN}$$

$$M_u = 1022.6913 \text{ kNm}$$

$$V_u = 413.5192 \text{ kN}$$

### C. Momen dan Gaya Geser Rencana

$$\begin{aligned} \text{Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, } ds &= t_s + \bar{A} + D/2 \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif Kolom, } e_0 &= M_u / P_u \\ &= 1022.6913 / 3509.8198 \\ &= 291.38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\min} &= 15 + 0,03h \\ &= 36 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{gr} &= 700000 \\ &= 0.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 0,1 * f_c * A_{gr} \\ &= 1750 \end{aligned}$$

Menentukan faktor reduksi

$$P_u < 0,1 * f_c * A_{gr} \quad \text{OK}$$

Karena  $P_u < 0,1 * f_c * A_{gr}$ , maka dipakai  $f$

$$= 0.65$$

Menentukan Tulangan

$$P_u / f * A_{gr} * 0,85 * f_c \quad \text{OK}$$

$$= 0.0363007$$

$$= (P_u / f * A_{gr} * 0,85 * f_c) * (e_0 / h)$$

$$= 0.0151104$$

$$= d' / h$$

$$= 0.0914286$$

Pada penulangan empat sisi kolom didapat :

$$\begin{aligned}
 r &= b * r \\
 &= 0.01 \\
 A_{st} &= r * A_{gr} \\
 &= 0.01 * 700000 \\
 &= 7000 \\
 \text{Luas tulangan terpakai} &= A_s / (p / 4 * D^2) \\
 &= 18.407213 \\
 \text{Digunakan tulangan, } &\mathbf{20 D 22} \\
 \text{Jarak tulangan deform kolom} &= h - 2 * d_s \\
 &= 572 \quad \text{mm} \\
 \text{Gaya aksial nominal maximal,} &0.8 * \phi * (0.85 * f_c * (A_g - \\
 \phi P_n &= A_s) + (f_y * A_s)) \\
 &= 9310.611
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} \quad \phi P_n \geq P_u \quad \mathbf{OK}$$

#### D. Periksa Lebar Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal selimut beton} &= 80 \\
 \text{Senggang 2 kaki} &= 26 \\
 \text{Jumlah Tulangan yang} &= \\
 \text{digunakan} &110 \\
 \text{jarak bersih antar tulangan} &= 100
 \end{aligned}$$

$$\text{Total} < B \text{ balok} \quad \mathbf{OK}$$

#### E. Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= 413.5192 \\
 f &= 0.75 \\
 f_y &= 420 \\
 V_c &= (\sqrt{f_c}) / 6 * b * d \\
 &= 530 \\
 f * V_c &= 397.5 \\
 f * V_s = V_u - f * V_c &= 16.0192 \\
 V_s &= 21.358933 \\
 \emptyset &= 13
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= b \cdot S / 3 \cdot f_y \\
 &= 793.65079 \\
 A_{v/s \text{ perlu}} &= 0.7936508 \\
 S_{\max} &= d / 2 \\
 &= 318 \\
 s &= 300 \\
 A_v &= 4 \cdot 1/4 \cdot p \cdot \phi^2 \\
 &= 265.33
 \end{aligned}$$

$A_{v/s \text{ perlu}} < A_{v/s \text{ pakai}}$

**OK**

Maka dipakai, **6 Ø 13 - 100 mm**

**Tabel 4. 39** As Perhitungan SCWB dan Perhitungan Manual

Tipe	Ukuran Kolom			As Perlu (SCWB)	As Perlu Hitungan
		x			
K1	1000	x	700	7602.654	7599
K1'	800	x	600	6082.123	6079
K2	700	x	1000	7602.654	7599
K2'	650	x	850	6082.123	6079
K3	600	x	400	4536.460	4534
KL	400	x	400	2412.743	2412

( Sumber : Penulis, 2026 )

**Tabel 4. 40** Rekapitulasi Penulangan Lentur Kolom

<b>Tipe</b>	<b>Ukuran Kolom</b>	<b>Pu</b>	<b>Rasio Tulangan, <math>\rho</math></b>	<b><math>\emptyset</math> mm</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Syarat Sisi Terpendek S</b>	<b>Syarat Rasio Dimensi Penampang</b>	<b>Cek <math>\rho</math> min &amp; <math>\rho</math> max</b>	<b>Cek SCWB</b>	<b>Dipasang</b>
K1	1000 x 700	3509819.8	1.09%	22	20	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	20D22
K1'	800 x 600	1157926.9	1.27%	22	16	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	16D22
K2	700 x 1000	3509819.8	1.09%	22	20	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	20D22
K2'	650 x 850	2849706.2	1.10%	22	16	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	16D22
K3	600 x 400	2849706.2	1.89%	19	16	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	16D22
KL	400 x 400	2849706.2	1.51%	16	12	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	12D16

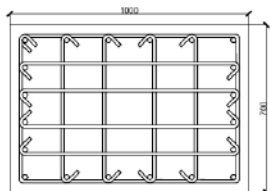
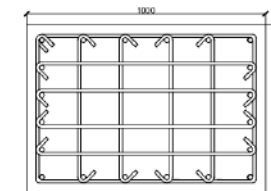
( Sumber : Penulis, 2026 )

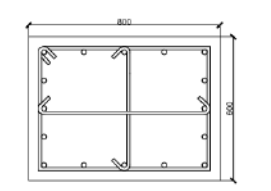
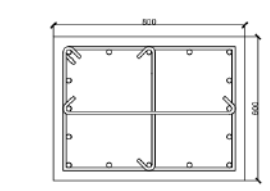
**Tabel 4. 41** Rekapitulasi Penulangan Geser Kolom

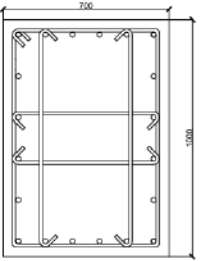
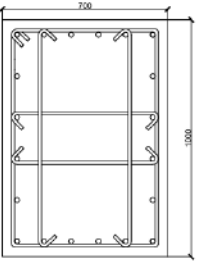
<b>Tipe</b>	<b>Ukuran Kolom</b>	<b>AV/Sperlu</b>	<b><math>\emptyset</math> mm</b>	<b>Jumlah Kaki</b>	<b>S Perlu</b>	<b>Spasi Max 1 mm</b>	<b>Spasi Max 2 mm</b>	<b>Cek Spasi</b>	<b>S Pakai mm</b>	<b>Dipasang</b>
K1	1000 x 700	3.291	13	6	267.120	250	132	<b>OK</b>	100	6D13-100
K1'	800 x 600	2.685	13	3	309.120	200	132	<b>OK</b>	100	3D13-100
K2	700 x 1000	2.856	13	4	267.120	175	132	<b>OK</b>	100	4D13-100
K2'	650 x 850	2.744	13	3	246.120	212	132	<b>OK</b>	100	4D13-100
K3	600 x 400	1.938	13	4	225.270	150	114	<b>OK</b>	100	4D13-100

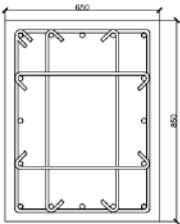
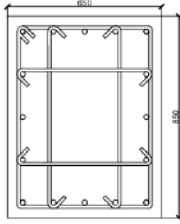
Tipe	Ukuran Kolom	AV/Sperlu	Ø mm	Jumlah Kaki	S Perlu	Spasi Max 1 mm	Spasi Max 2 mm	Cek Spasi	S Pakai mm	Dipasang
KL	400 x 400	1.425	10	4	143.640	100	96	<b>OK</b>	80	4D10-100

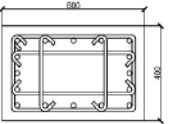
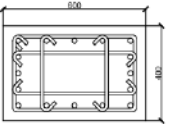
( Sumber : Penulis, 2026 )

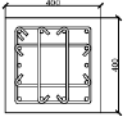
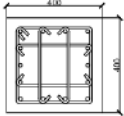
Dimensi Kolom	1000 x 700	
Posisi Bentang	Tumpuan (H/4)	Lapangan (H/2)
Kolom K1		
	Tulangan Utama	20D22
Senggang	6D13-100	6D13-100
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K. 300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Kolom	800 x 600	
Posisi Bentang	Tumpuan (H/4)	Lapangan (H/2)
Kolom K1'		
	Tulangan Utama	16D22
Senggang	3D13-100	3D13-100
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K. 300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Kolom	700 x 1000	
Posisi Bentang	Tumpuan (H/4)	Lapangan (H/2)
Kolom K2		
Tulangan Utama	20D22	20D22
Sengkang	4D13-100	4D13-100
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Kolom	650 x 850	
Posisi Bentang	Tumpuan (H/4)	Lapangan (H/2)
Kolom K2'		
Tulangan Utama	16D22	16D22
Sengkang	4D13-100	4D13-100
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Kolom	600 x 400	
Posisi Bentang	Tumpuan (H/4)	Lapangan (H/2)
Kolom K3		
Tulangan Utama	16D22	16D22
Sengkang	4D13-100	4D13-100
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

Dimensi Kolom	400 x 400	
Posisi Bentang	Tumpuan (H/4)	Lapangan (H/2)
Kolom KL		
Tulangan Utama	12D16	12D16
Sengkang	4D10-100	4D10-100
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	K.300/fc. 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan	fy. 420 MPa (Deform)	

**Gambar 4.13** Detail Penulangan Kolom

( Sumber : Penulis, 2026 )

### 4.7.3 Penulangan Struktur Pelat

Perencanaan pelat lantai pada studi ini didasarkan pada hasil analisis struktur yang diperoleh menggunakan ETABS, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai acuan dalam perhitungan manual guna menentukan kebutuhan tulangan pada arah pelat.

#### A. Properti Material dan Penampang

$L_1$	=	9000	mm
$L_2$	=	4000	mm
Tebal Pelat, $t$	=	120	mm
Diameter Tulangan, $d_b$	=	10	mm
Selimut Bersih, $c_c$	=	20	mm
Tebal Efektif Penampang, $d$	=	$h - c_c - d_s - d_b/2$	
	=	$120 - 20 - 10 - 10/2$	
	=	85	mm
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	=	25	MPa
Kuat Leleh Tulangan, $f_y$	=	420	MPa
Modulus Elastisitas Beton, $E_c$	=	$4700 * \sqrt{f_c'}$	
	=	$4700 * 5$	
	=	23500	
$\beta_1$	=	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$	
	=	0.85	
$\lambda$	=	Asumsi tidak menggunakan beton ringan	
	=	1	

#### B. Properti Material dan Penampang

M Max akibat M11 Max	=	6.136	kN-m
M Min akibat M11 Min	=	-11.519	kN-m
M Max akibat M22 Max	=	5.144	kN-m
M Min akibat M22 Min	=	-9.158	kN-m

#### C. Penulangan Lentur

Momen Positif M11 --> Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 1 (X)

Spasi Tulangan, $s$	=	200
---------------------	---	-----

Spasi Maksimum, $s_{max}$	= $2 * t$ dan 450 mm	
	= 240 mm	
Cek Spasi Maksimum	= $s \leq s_{max}$	<b>OK</b>
n Tulangan Negatif Tumpuan	= $b / s = 1000 / s$ [Analisis untuk per 1 m]	
	= 5	
$d_b$	= 10 mm	
Jarak Bersih Antar Tulangan	= $s - d_b$	
	= 200 - 10	
	= 190 mm	
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm	<b>OK</b>
As Pasang	= $n * \pi / 4 * d_b^2$	
	= $5 * 3.14 / 4 * 10^2$	
	= 392.699 mm <sup>2</sup>	
$A_{s_{min}}$ ( $f_y < 420$ MPa)	= $0.2\% * b * t$	
	= $0.2\% * 1000 * 120$	
	= 240.000 mm <sup>2</sup>	
Cek $A_{s_{min}}$	= $A_{s_{Pasang}} \geq A_{s_{min}}$	<b>OK</b>
Tinggi Blok Beton, a	= $A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	
	= $392.699 * 420 / (0.85 * 25 * 1000)$	
	= 7.762 mm	
Kapasitas Lentur, $M_n$	= $A_s * f_y * (d - a/2)$	
	= $392.699 * 420 * (10 - 7.762/2)$	
	= 13.379 kN-m	
Lokasi Garis Netral, c	= $a / \beta_1$	
	= $7.762 / 0.85$	
	= 9.131 mm	
Regangan Tulangan Tarik, $\epsilon_s$	= $(d - c) / c * 0.003$	
	= $10 - 9.131 / 9.131 * 0.003$	
	= 0.025	
Faktor Reduksi, $\phi$	= $0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25$	
	$\leq 0.9$	

$$\begin{aligned}
 &= 0.9 \\
 \phi M_n &= \phi * M_n \\
 &= 0.9 * 13.379 \\
 &= 12.041 \quad \text{kN-m} \\
 \text{Momen Ultimit, } M_u &= 6.136 \quad \text{kN-m} \\
 \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u ? \quad \text{OK} \\
 \text{Momen Negatif M11 --> Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 1 (X)} \\
 \text{Spasi Tulangan, } s &= 200 \\
 \text{Spasi Maksimum, } s_{\max} &= 2 * t \text{ dan } 450 \text{ mm} \\
 &= 240 \quad \text{mm} \\
 \text{Cek Spasi Maksimum} &= s \leq s_{\max} \quad \text{OK} \\
 n \text{ Tulangan Negatif Tumpuan} &= b / s = 1000 / s \text{ [Analisis untuk per 1 m]} \\
 &= 5 \\
 d_b &= 10 \quad \text{mm} \\
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= s - d_b \\
 &= 200 - 10 \\
 &= 190 \quad \text{mm} \\
 \text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} \quad \text{OK} \\
 \text{As Pasang} &= n * \pi / 4 * d_b^2 \\
 &= 5 * 3.14 / 4 * 10^2 \\
 &= 392.699 \quad \text{mm}^2 \\
 \text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0.2\% * b * t \\
 &= 0.2\% * 1000 * 120 \\
 &= 240.000 \quad \text{mm}^2 \\
 \text{Cek As}_{\min} &= \text{As Pasang} \geq \text{As}_{\min} \quad \text{OK} \\
 \text{Tinggi Blok Beton, } a &= \text{As} * f_y / (0.85 * f_c' * b) \\
 &= 392.699 * 420 / (0.85 * 25 * 1000) \\
 &= 7.762 \quad \text{mm} \\
 \text{Kapasitas Lentur, } M_n &= \text{As} * f_y * (d - a/2) \\
 &= 392.699 * 420 * (10 - 7.762/2) \\
 &= 13.379 \quad \text{kN-m}
 \end{aligned}$$

Lokasi Garis Netral, $c$	= $a / \beta_1$	
	= $7.762 / 0.85$	
	= $9.131 \text{ mm}$	
Regangan Tulangan Tarik, $\epsilon_s$	= $(d - c) / c * 0.003$	
	= $10 - 9.131 / 9.131 * 0.003$	
	= $0.025$	
Faktor Reduksi, $\phi$	= $0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25$	
	= $\leq 0.9$	
	= $0.9$	
$\phi M_n$	= $\phi * M_n$	
	= $0.9 * 13.379$	
	= $12.041 \text{ kN-m}$	
Momen Ultimit, $M_u$	= $11.519 \text{ kN-m}$	
Cek Kapasitas	= $\phi M_n > M_u ?$	<b>OK</b>
Momen Positif M22 --> Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 2 (Y)		
Spasi Tulangan, $s$	= $200$	
Spasi Maksimum, $s_{max}$	= $2 * t \text{ dan } 450 \text{ mm}$	
	= $240 \text{ mm}$	
Cek Spasi Maksimum	= $s \leq s_{max}$	<b>OK</b>
n Tulangan Negatif Tumpuan	= $b / s = 1000 / s \text{ [Analisis untuk per 1 m]}$	
	= $5$	
$d_b$	= $10 \text{ mm}$	
Jarak Bersih Antar Tulangan	= $s - d_b$	
	= $200 - 10$	
	= $190 \text{ mm}$	
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$	<b>OK</b>
As Pasang	= $n * \pi / 4 * d_b^2$	
	= $5 * 3.14 / 4 * 10^2$	
	= $392.699 \text{ mm}^2$	
As <sub>min</sub> ( $f_y < 420 \text{ MPa}$ )	= $0.2\% * b * t$	
	= $0.2\% * 1000 * 120$	

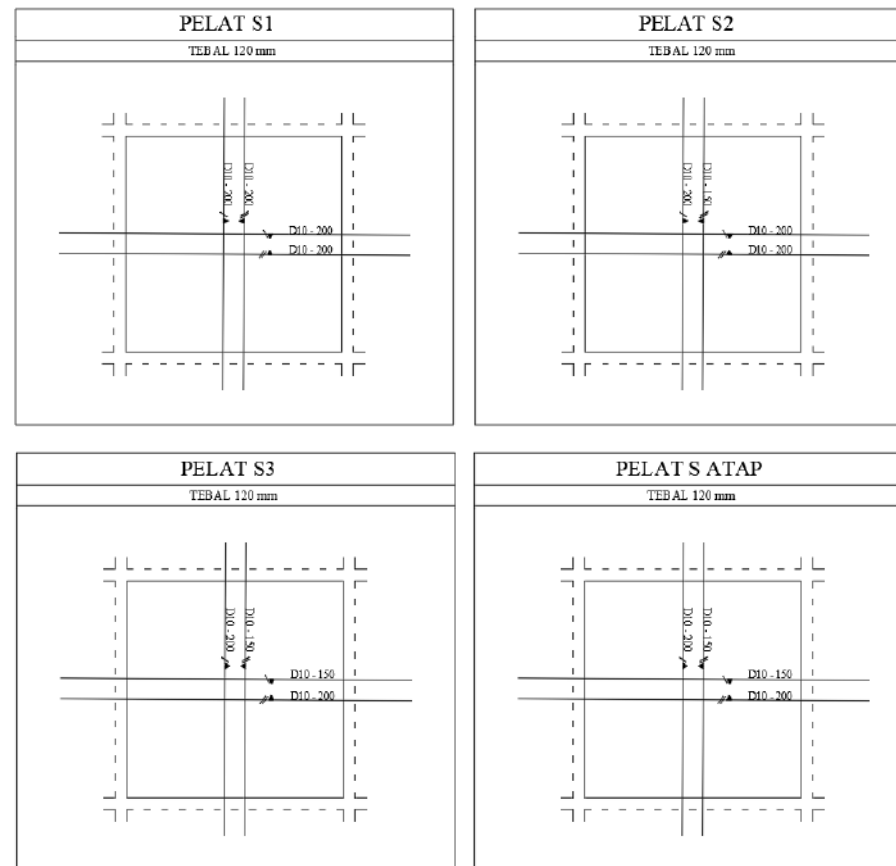
$$\begin{aligned}
&= 240.000 \text{ mm}^2 \\
\text{Cek As min} &= \text{As Pasang} \geq \text{As min} \quad \mathbf{OK} \\
\text{Tinggi Blok Beton, } a &= \text{As} * f_y / (0.85 * f_c' * b) \\
&= 392.699 * 420 / (0.85 * 25 * 1000) \\
&= 7.762 \quad \text{mm} \\
\text{Kapasitas Lentur, } M_n &= \text{As} * f_y * (d - d_b - a/2) \\
&= 392.699 * 420 (85 - 10 - 7.762/2) \\
&= 11.730 \text{ kN-m} \\
\text{Lokasi Garis Netral, } c &= a / \beta_1 \\
&= 7.762 / 0.85 \\
&= 9.131 \text{ mm} \\
\text{Regangan Tulangan Tarik, } \epsilon_s &= (d - c) / c * 0.003 \\
&= 10 - 9.131 / 9.131 * 0.003 \\
&= 0.025 \\
\text{Faktor Reduksi, } \phi &= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \\
&\leq 0.9 \\
&= 0.9 \\
\phi M_n &= \phi * M_n \\
&= 0.9 * 11.730 \\
&= 10.557 \text{ kN-m} \\
\text{Momen Ultimit, } M_u &= 5.144 \text{ kN-m} \\
\text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u ? \quad \mathbf{OK} \\
\text{Momen Positif M22 --> Tulangan Lapangan Atas Arah Sumbu 2 (Y)} \\
\text{Spasi Tulangan, } s &= 200 \\
\text{Spasi Maksimum, } s_{\max} &= 2 * t \text{ dan } 450 \text{ mm} \\
&= 240 \text{ mm} \\
\text{Cek Spasi Maksimum} &= s \leq s_{\max} \quad \mathbf{OK} \\
\text{n Tulangan Negatif Tumpuan} &= b / s = 1000 / s \text{ [Analisis untuk per 1 m]} \\
&= 5 \\
d_b &= 10 \text{ mm} \\
\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= s - d_b
\end{aligned}$$

	= 200 - 10	
	= 190 mm	
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm	<b>OK</b>
As Pasang	= $n * \pi / 4 * d_b^2$	
	= $5 * 3.14 / 4 * 10^2$	
	= 392.699 mm <sup>2</sup>	
As <sub>min</sub> ( $f_y < 420$ MPa)	= 0.2% * b * t	
	= 0.2% * 1000 * 120	
	= 240.000 mm <sup>2</sup>	
Cek As <sub>min</sub>	= As Pasang $\geq$ As <sub>min</sub>	<b>OK</b>
Tinggi Blok Beton, a	= $A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	
	= $392.699 * 420 / (0.85 * 25 * 1000)$	
	= 7.762 mm	
Kapasitas Lentur, M <sub>n</sub>	= $A_s * f_y * (d - d_b - a/2)$	
	= $392.699 * 420 (85 - 10 - 7.762/2)$	
	= 11.730 kN-m	
Lokasi Garis Netral, c	= $a / \beta_1$	
	= $7.762 / 0.85$	
	= 9.131 mm	
Regangan Tulangan Tarik, $\epsilon_s$	= $(d - c) / c * 0.003$	
	= $10 - 9.131 / 9.131 * 0.003$	
	= 0.025	
Faktor Reduksi, $\phi$	= $0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25$	
	$\leq 0.9$	
	= 0.9	
$\phi M_n$	= $\phi * M_n$	
	= $0.9 * 11.730$	
	= 10.557 kN-m	
Momen Ultimit, M <sub>u</sub>	= 9.158 kN-m	
Cek Kapasitas	= $\phi M_n > M_u$ ?	<b>OK</b>

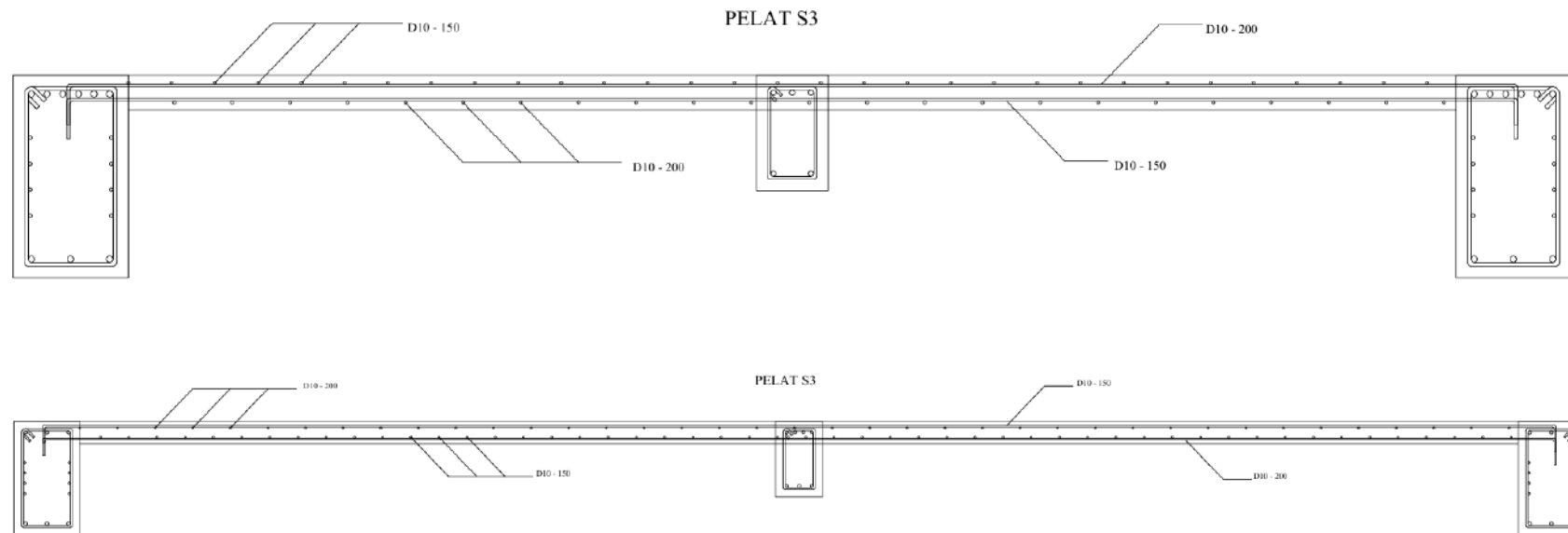
**Tabel 4. 42** Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai

<b>Tipe Plat</b>	<b>Tebal Plat mm</b>	<b>Nama Tulangan</b>	<b>Letak</b>	<b>Mu kNm</b>	<b>d' mm</b>	<b>Spasi Tulangan</b>	<b>Ø mm</b>	<b>φMn</b>	<b>Cek φMn &gt; Mu</b>	<b>Dipasang</b>
S1	120	Tulangan Arah X	Atas	11.519	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
			Bawah	6.136	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
		Tulangan Arah Y	Atas	9.158	85	200	10	10.557	<b>OK</b>	D10-200
			Bawah	5.144	85	200	10	10.557	<b>OK</b>	D10-200
S2	120	Tulangan Arah X	Atas	10.819	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
			Bawah	6.520	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
		Tulangan Arah Y	Atas	13.400	85	150	10	13.820	<b>OK</b>	D10-150
			Bawah	6.497	85	200	10	13.820	<b>OK</b>	D10-200
S3	120	Tulangan Arah X	Atas	14.650	85	150	10	15.799	<b>OK</b>	D10-150
			Bawah	5.900	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
		Tulangan Arah Y	Atas	10.802	85	150	10	13.820	<b>OK</b>	D10-150
			Bawah	5.436	85	200	10	10.557	<b>OK</b>	D10-200
S Atap	120	Tulangan Arah X	Atas	7.577	85	150	10	15.799	<b>OK</b>	D10-150
			Bawah	3.667	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
		Tulangan Arah Y	Atas	6.708	85	150	10	13.820	<b>OK</b>	D10-150
			Bawah	3.667	85	200	10	10.557	<b>OK</b>	D10-200
Bordes	120	Arah X	Bawah	3.667	85	200	10	12.041	<b>OK</b>	D10-200
		Arah Y	Bawah	3.667	85	200	10	10.557	<b>OK</b>	D10-200

( Sumber : Penulis, 2026 )



**Gambar 4. 14** Detail Penulangan Pelat Lantai  
( Sumber : Penulis, 2026 )



**Gambar 4. 15** Potongan Penulangan Plat Lantai Tipe S3

#### **4.8 Perhitungan Struktur Bawah**

Pada tahap perencanaan fondasi dilakukan pertimbangan antara penggunaan fondasi bored pile dan tiang pancang. Berdasarkan hasil investigasi tanah, kondisi tanah di lokasi proyek termasuk kategori tanah lunak (SE). Tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah, nilai penurunan yang relatif besar, serta kekakuan tanah yang kecil sehingga kurang mampu menahan beban struktur bertingkat. Selain itu, pada kondisi tanah lunak, beban bangunan berisiko menyebabkan penurunan diferensial yang dapat mempengaruhi kestabilan struktur.

Hasil data tanah menunjukkan bahwa lapisan tanah keras berada pada kedalaman sekitar 30 m. Kedalaman tanah keras tersebut menjadi salah satu faktor utama dalam pemilihan jenis fondasi karena semakin dalam lapisan tanah keras, maka fondasi harus mampu meneruskan beban struktur hingga mencapai lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang cukup stabil. Apabila beban struktur hanya diterima oleh lapisan tanah lunak, maka berpotensi menyebabkan penurunan berlebih dan ketidakstabilan bangunan.

Berdasarkan kondisi tersebut, fondasi tiang pancang dipilih karena mampu menyalurkan beban struktur hingga mencapai lapisan tanah keras pada kedalaman 30 m sehingga daya dukung fondasi menjadi lebih aman dan stabil. Selain itu, penggunaan tiang pancang juga mampu mengurangi risiko penurunan diferensial pada bangunan.

Meskipun lokasi proyek berada pada kawasan padat penduduk, penggunaan tiang pancang tetap dipilih dengan metode Hydraulic Static Pile Driver (HSPD). Metode ini bekerja menggunakan sistem tekan sehingga menghasilkan getaran dan kebisingan yang lebih kecil dibandingkan metode pemancangan konvensional, sehingga lebih sesuai digunakan pada lingkungan sekitar proyek.

##### **4.8.1 Perencanaan Fondasi Tiang Pancang**

Perencanaan fondasi tiang pancang dalam perencanaan ini mengacu pada data hasil penyelidikan tanah yang dianalisis untuk memperoleh nilai daya dukung, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan manual guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dan izin.

###### **A. Properti Material dan Penampang**

Tipe	=	Pc2	
Dimensi	=	40	cm
Panjang Tiang	=	3000	cm
A Tiang	=	1600	cm <sup>2</sup>
Ab	=	0.16	m <sup>2</sup>
O	=	1.6	m <sup>2</sup>
y beton	=	2400	kg/cm <sup>3</sup>

#### B. Daya Dukung Ultimate

Qu	=	Qp + Qs	
Qp	=	40.Nb.Ab	
Nb	=	8D + 4D /2	
	=	54 (Batas Nb Max = 40)	
Ab	=	0.16	m <sup>2</sup>
Qs	=	0.2 x Ns x As	
Qs, Lapisan 1	=	0.2 x ((5+6+14+13+13+12)/6) x ( 13*0.16)	
	=	43.68	Ton
Qs, Lapisan 2	=	0.2 x ((11+13)/2) x ( 4*0.16)	
	=	15.36	Ton
Qs, Lapisan 2	=	0.2 x ((19+26+25+25+22+48+60)/7) x ( 13*0.16)	
	=	133.71	Ton
Qs total	=	192.75	Ton
Qu	=	256 + 192.75	
	=	448.75	
	=		

#### C. Daya Dukung yang Di Izinkan Fondasi

Q all	=	Qu / SF	
	=	448.75/2	
	=	224.377	Ton
Berat Sendiri	=	A x L x Massa jenis	
	=	1600 x 3000 x 0.0024	
	=	11520	kg

$$\begin{aligned}
 &= 11.52 \quad \text{ton} \\
 Q_{\text{netto}} &= Q_{\text{all}} - W \\
 &= 224.377 - 11.52 \\
 &= 212.857 \quad \text{Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Fondasi} &= P_u / Q_{\text{netto}} \\
 &= 1.1445 = 4 \text{ Fondasi}
 \end{aligned}$$

#### D. Efisiensi Fondasi

$$\begin{aligned}
 \text{Baris, } m &= 2 \\
 \text{Jumlah, } n &= 2 \\
 \text{Jarak antar tiang (S)} &= 2.5D \sim 4D \\
 &= 2.5(40) \\
 &= 100 \quad \text{cm} \\
 \text{Jarak tiang ke tepi (S')} &= 1.25D \sim 2D \\
 &= 1.5(40) \\
 &= 60 \quad \text{cm}
 \end{aligned}$$

#### E. Menghitung Daya Dukung Izin

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \arctan d/s \\
 &= \arctan 100/40 \\
 &= 21.801 \\
 \text{Eff} &= 1 - (\Theta(n-1)m + (m-1)n / 90 \times m \times n) \\
 &= 1 - (21.801(2-1)2 + (2-1)2 / 90 \times 2 \times 2) \\
 &= 0.8733 \\
 Q_{\text{Izin}} &= n \times \text{eff} \times Q_{\text{netto}} \\
 &= 2 \times 0.8733 \times 212.857 \\
 &= 743.575 \\
 \text{Cek Kontrol} &= P_u < Q_{\text{Izin}} \quad \quad \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

#### 4.8.2 Perencanaan *Pile Cap*

Perencanaan pile cap dalam studi ini disusun berdasarkan hasil analisis pembebanan struktur atas yang diperoleh melalui ETABS, yang selanjutnya

dijadikan acuan dalam perhitungan manual untuk menentukan dimensi serta kebutuhan tulangan pile cap agar mampu menyalurkan beban secara efektif ke tiang pancang.

#### A. Analisa Gaya Geser *Pile Cap* Arah Y

Jenis <i>Pile Cap</i>	=	PC2	
Panjang (X)	=	3000	mm
Lebar (Y)	=	3000	mm
Tebal (T)	=	700	mm
Tul Utama	=	19	mm
H atau B (kolom atas)	=	1000	mm
Selimut	=	75	mm
Mutu beton $f'_c$	=	25	Mpa
$\beta_c$	=	$L_x/L_y$	
	=	$3000/3000$	
	=	1	
$\lambda$	=	1	
$\alpha_s$	=	40	
S (Jarak Tiang)	=	100	cm
$P_u$	=	243.625	KN
Jumlah Tiang (ns)	=	4	buah
$F_y$	=	420	Mpa
$\sigma$	=	$P_u/A$	
	=	$243.625/3 \times 3$	
	=	27.069	Kn/m <sup>2</sup>
$G'$	=	$\text{Panjang} - (\text{Panjang}/2 + (h \text{ Kolom})/2) + d$	
	=	$3000 - (3000/2) + (1000/2) + 606$	
	=	394	mm
	=	0.394	m
$V_u$	=	$\sigma \times L \ G'$	
	=	$27.069 \times 3 \times 0.394$	

$$\begin{aligned}
 &= 31.996 \quad \text{Kn} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times (\text{Sqrt } f_c/6) \times L \times d \\
 &= 0,75 \times (5/6) \times 3 \times 606 \\
 &= 1136250 \quad \text{N} \\
 &= 1136.225 \quad \text{kn}
 \end{aligned}$$

Syarat  $\phi V_c > V_u$  **Memenuhi**

#### B. Analisa Gaya Geser *Pile Cap* Arah X

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis } Pile \text{ Cap} &= \text{PC2} \\
 \text{Panjang (X)} &= 3000 \quad \text{mm} \\
 \text{Lebar (Y)} &= 3000 \quad \text{mm} \\
 \text{Tebal (T)} &= 700 \quad \text{mm} \\
 \text{Tul Utama} &= 19 \quad \text{mm} \\
 \text{H atau B (kolom atas)} &= 1000 \quad \text{mm} \\
 \text{Selimut} &= 75 \quad \text{mm} \\
 \text{Mutu beton } f'_c &= 25 \quad \text{Mpa} \\
 \beta_c &= L_x/L_y \\
 &= 3000/3000 \\
 &= 1 \\
 \lambda &= 1 \\
 \alpha_s &= 40 \\
 \text{S (Jarak Tiang)} &= 100 \quad \text{cm} \\
 P_u &= 243.625 \quad \text{KN} \\
 \text{Jumlah Tiang (ns)} &= 4 \quad \text{buah} \\
 F_y &= 420 \quad \text{Mpa} \\
 \sigma &= P_u/A \\
 &= 243.625/3 \times 3 \\
 &= 27.069 \quad \text{Kn/m}^2 \\
 G' &= \text{Panjang} - (\text{Panjang}/2 + (h \text{ Kolom})/2) + d \\
 &= 3000 - (3000/2) + (1000/2) + 606 \\
 &= 394 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.394 \quad \text{m} \\
 V_u &= \sigma \times L \times G' \\
 &= 27.069 \times 3 \times 0.394 \\
 &= 31.996 \quad \text{Kn} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times (\text{Sqrt } f_c/6) \times L \times d \\
 &= 0.75 \times (5/6) \times 3 \times 606 \\
 &= 1136250 \quad \text{N} \\
 &= 1136.225 \quad \text{kn}
 \end{aligned}$$

Syarat  $\phi V_c > V_u$  **Memenuhi**

### C. Analisa Daerah Gaya Geser *Pile Cap*

$$\begin{aligned}
 B' &= b \text{ kolom} + (d/2) \times 2 \\
 &= 1000 + (606/2) \times 2 \\
 &= 1606 \quad \text{mm} \\
 &= 1.606 \quad \text{m} \\
 B' &= L' \text{ (Panjang daerah keliling kritis sisi lain)} \\
 b_o &= 2(B' + L') \\
 &= 2(1.606 + 1.606) \\
 &= 6.424 \quad \text{m} \\
 &= 6424 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

### D. Nilai Kuat Geser Dua Arah

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \times (1 + 2/\beta_c) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d' \\
 &= 0.17 \times (1+2/1) \times 1 \times \sqrt{25} \times 6424 \times 606 \\
 &= 9927.00 \quad \text{Kn} \\
 V_{c2} &= 0,83 \times ((a_s \times d')/b_o) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d' \\
 &= 0.83 \times (40 \times 606)/6424 \times 1 \times \sqrt{25} \times 6424 \times 606 \\
 &= 9327.26 \quad \text{Kn} \\
 V_{c3} &= 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d' \\
 &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 6424 \times 606 \\
 &= 6423.35 \quad \text{Kn} \\
 V_c \text{ Pakai} &= \text{Nilai Terkecil}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 6423.35 \text{ Kn} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 6423.35 \\
 &= 4817.51 \text{ kn}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada tanah :

$$\begin{aligned}
 V_u &= \sigma (l \times b - L' \times B') \\
 &= 27.069 (3 \times 3 - 1.606 \times 1.606) \\
 &= 173.807 \text{ kn}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat} \quad \phi V_c > V_u \quad \text{Memenuhi}$$

#### E. Perhitungan Penulangan *Pile cap*

$$\begin{aligned}
 B &= (\text{Lebar Pile cap}/2) - (\text{Lebar Kolom}/2) \\
 &= (1000/2) - (1000/2) \\
 &= 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q' &= \gamma \times d \times t \\
 &= 2.400 \times 3 \times 0.7 \\
 &= 49.442 \text{ Kn/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 2(P_u/n_s \times s) - 0,5 \times q' \times B^2 \\
 &= 2 (2436/4 \times 1) - 0.5 \times 49.44 \times \\
 &= 1000^2 \\
 &= 970.91 \text{ knm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n \text{ Arah X} &= M_u / (\phi \times b \times d^2) \\
 &= 970.91 / (0.9 \times 3000 \times 606^2) \\
 &= 0.0979 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$p \text{ perlu} = 0.0002 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Perlu Arah X} &= p \text{ perlu} \times b \times d \\
 &= 0.0002 \times 3000 \times 606 \\
 &= 424.83 \text{ Mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Bawah Arah X

$$D = 19$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

As Pakai	= $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b/s$	
	= $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 19^2 \times 3000/150$	
	= 5667.7 Mm <sup>2</sup>	
Syarat	$\phi V_c > V_u$	<b>Memenuhi</b>
Tulangan Atas Arah X		
As Perlu	= 20% x As pakai tulangan bawah	
	= 1133.5 mm <sup>2</sup>	
D	= 19	
S	= 200 mm	
As Pakai	= 566.7 mm <sup>2</sup>	
Syarat	As pakai > As perlu	<b>Memenuhi</b>
Rn Arah Y		
	= $M_u / (\Phi \times b \times d^2)$	
	= $970.91 / (0.9 \times 3000 \times 606^2)$	
	= 0.0979 N/mm <sup>2</sup>	
p perlu	= 0.0002 N/mm <sup>2</sup>	
As Perlu Arah Y	= p perlu x b x d	
	= $0.0002 \times 3000 \times 606$	
	= 424.83 Mm <sup>2</sup>	
Tulangan Bawah Arah Y		
D	= 19	
S	= 150 mm	
As Pakai	= $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b/s$	
	= $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 19^2 \times 3000/150$	
	= 5667.7 Mm <sup>2</sup>	
Syarat	$\phi V_c > V_u$	<b>Memenuhi</b>
Tulangan Atas Arah Y		
As Perlu	= 20% x As pakai tulangan bawah	
	= 1133.5 mm <sup>2</sup>	
D	= 19	

S = 200 mm  
As Pakai = 566.7 mm<sup>2</sup>  
Syarat As pakai > As perlu

**Memenuhi**

**Tabel 4. 43** Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Pancang 40 x 40

Data	Pu (Ton)	D (m)	L (m)	Ap (m <sup>2</sup> )	P (m)	W	Qu (ton)	Q all (Ton)	n (buah)	Rencanan	Qg (ton)	S (m)	S' (m)	Q Izin (Ton)	CEK Pu < Q izin
PC4	115.93	0.4	30	0.16	1.6	11.5	448.7	212.8	0.54	2	374.6	1	0.6	425.7	OK
PC9	243.62	0.4	30	0.16	1.6	11.5	448.7	212.8	1.14	4	749.2	1	0.6	743.5	OK
PC6	117.21	0.4	30	0.16	1.6	11.5	448.7	212.8	0.55	2	374.6	1	0.6	425.7	OK
PC2	194.92	0.4	30	0.16	1.6	11.5	448.7	212.8	0.92	4	46.08	1	0.6	743.5	OK

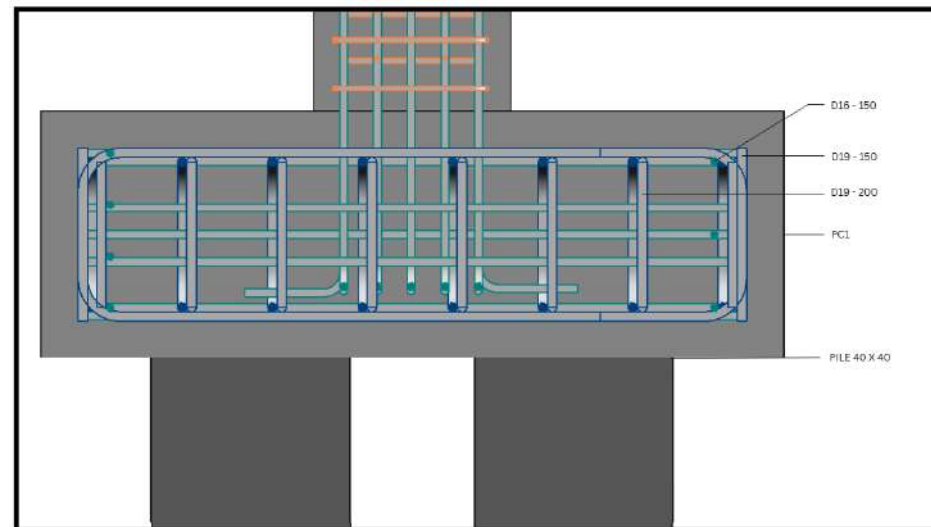
( Sumber : Penulis, 2026 )

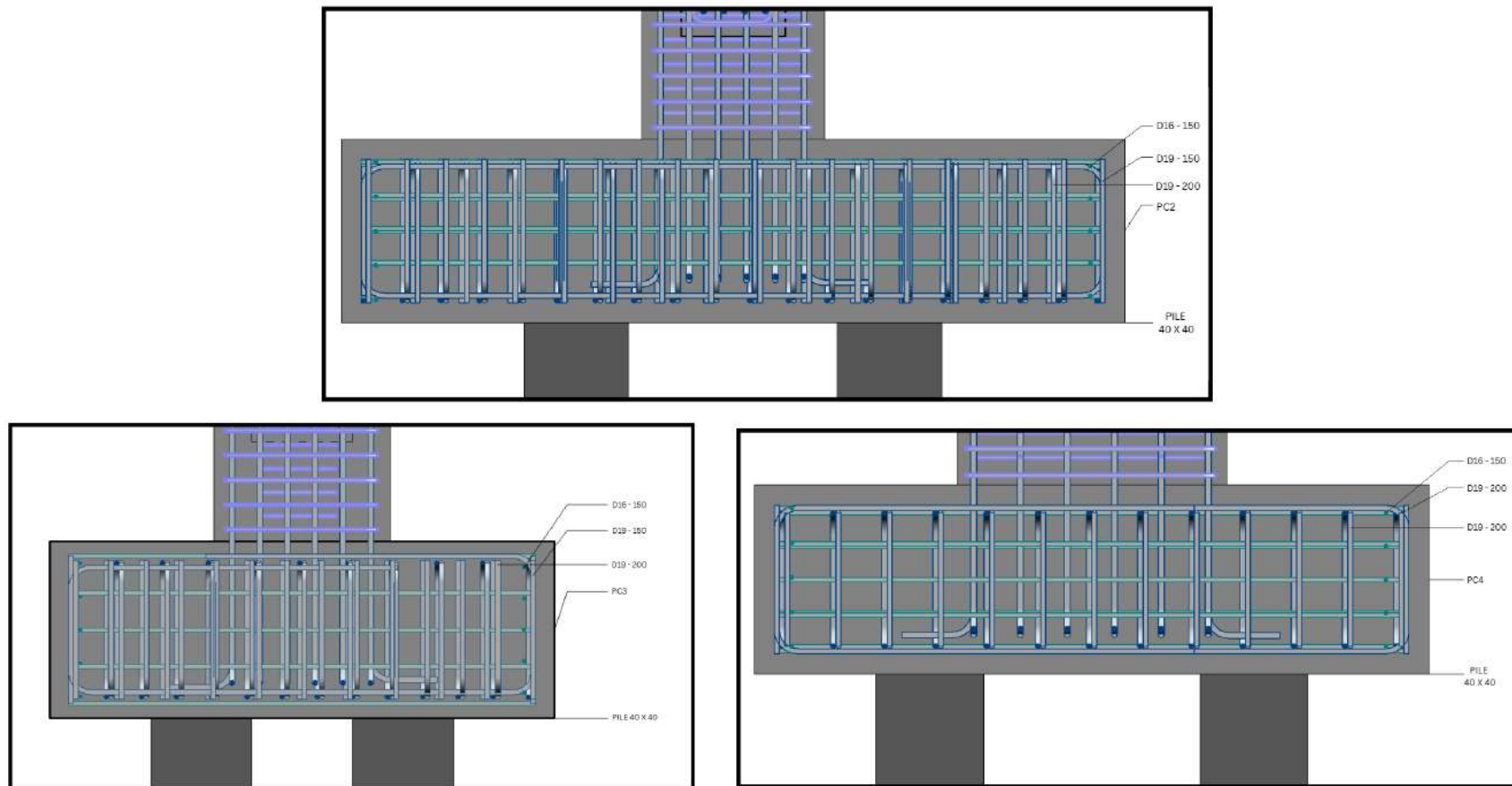
**Tabel 4. 44** Rekapitulasi Tulangan *Pile Cap*

Tipe	Dimensi		Tebal (mm)	Nama Tulangan	Daerah	Mu kNm	p perlu	As Perlu mm <sup>2</sup>	Jarak mm	As Pakai mm <sup>2</sup>	As Pakai > As Perlu	Dipasang	Tulangan Samping
	Lx	Ly											
PC1	1000	1500	500	Tulangan Arah X	Atas	111.23	0.0014	472.31	200	1772.7	OK	D19-200	D16-150
					Bawah	111.23	0.0014	735.29	150	2361.5	OK	D19-150	
				Tulangan Arah Y	Atas	111.23	0.0014	756.38	200	2836.4	OK	D19-200	
					Bawah	111.23	0.0014	1176.4	150	3781.9	OK	D19-150	
PC2	3000	3000	700	Tulangan Arah X	Atas	970.92	0.0002	1133.5	200	4254.6	OK	D19-200	D16-150
					Bawah	970.92	0.0002	424.84	150	5667.7	OK	D19-150	
				Tulangan Arah Y	Atas	970.92	0.0002	1134.5	200	4254.6	OK	D19-200	
					Bawah	970.92	0.0002	424.84	150	5672.8	OK	D19-150	
PC3	2000	2000	700	Tulangan Arah X	Atas	1102.4	0.0003	755.69	200	2836.4	OK	D19-200	D16-150
					Bawah	1102.4	0.0003	482.88	150	3778.4	OK	D19-150	
				Tulangan Arah Y	Atas	1102.4	0.0003	756.38	200	2836.4	OK	D19-200	
					Bawah	1102.4	0.0003	482.88	150	3781.9	OK	D19-150	

Tipe	Dimensi		Tebal (mm)	Nama Tulangan	Daerah	Mu kNm	p perlu	As Perlu mm <sup>2</sup>	Jarak mm	As Pakai mm <sup>2</sup>	As Pakai > As Perlu	Dipasang	Tulangan Samping
	Lx	Ly											
PC4	1850	2500	700	Tulangan Arah X	Atas	737.31	0.0002	566.77	200	2836.4	OK	D19-200	D16-150
					Bawah	737.31	0.0002	322.73	200	2833.8	OK	D19-200	
				Tulangan Arah Y	Atas	737.31	0.0002	850.93	200	4254.6	OK	D19-200	
					Bawah	737.31	0.0002	484.09	200	4254.6	OK	D19-200	

( Sumber : Penulis, 2026 )





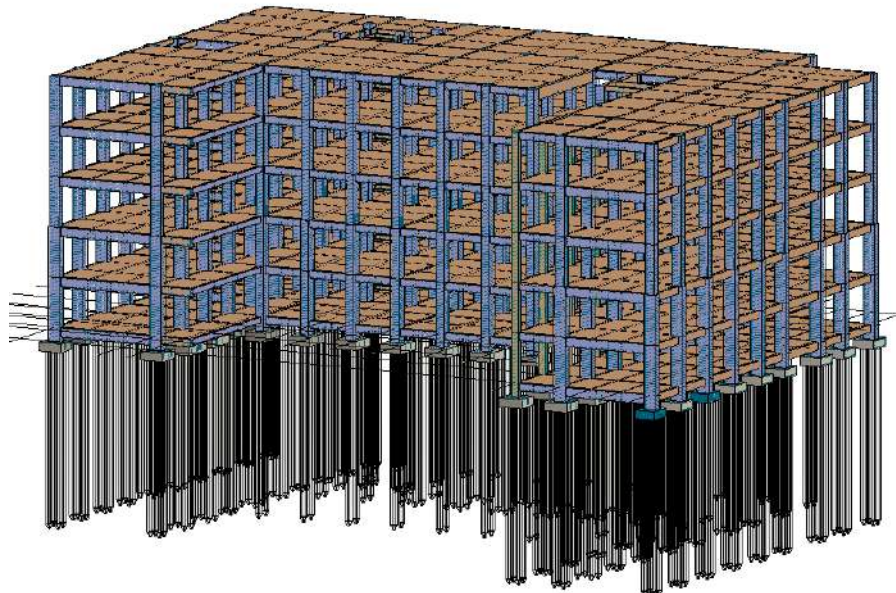
**Gambar 4. 16** Potongan Penulangan Pile Cap

( Sumber : Penulis, 2026 )

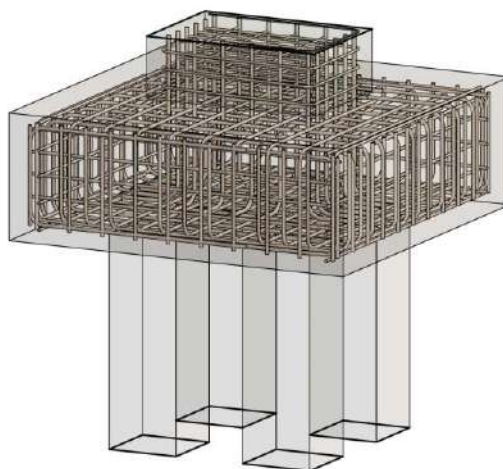
#### 4.9 Permodelan 3D

Pemodelan tiga dimensi (3D) pada Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit yang mengacu pada hasil analisis dan perhitungan struktur yang telah direncanakan sebelumnya. Pemodelan ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi bangunan secara digital sebagai bagian dari penerapan konsep *Building Information Modeling (BIM)*, sehingga dapat mendukung proses visualisasi, koordinasi antar elemen struktur, serta evaluasi desain secara lebih komprehensif.

Lingkup pemodelan meliputi elemen struktur utama, yaitu fondasi tiang pancang, *pile cap*, kolom, balok, dan pelat lantai yang dimodelkan secara terintegrasi dalam satu kesatuan sistem struktur. Setiap elemen dimodelkan berdasarkan dimensi dan spesifikasi teknis hasil perhitungan yang telah dilakukan, sehingga model yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai representasi visual, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan kuantitas pekerjaan serta perencanaan pelaksanaan konstruksi secara lebih akurat dan sistematis.



**Gambar 4. 17** Hasil Pemodelan Struktur 3D SMKN 37 Jakarta Selatan  
( Sumber : Penulis, 2026 )



**Gambar 4. 18** Penulangan *Pile Cap* menggunakan Autodesk Revit  
( Sumber : Penulis, 2026 )

#### **4.10 Rancangan Anggaran Biaya (RAB)**

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan disusun berdasarkan hasil analisis *Quantity Take Off (QTO)* yang diperoleh melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit. Analisis *QTO* tersebut berfungsi untuk menentukan volume dan jumlah masing-masing item pekerjaan secara rinci, khususnya pada elemen struktur seperti fondasi tiang pancang, *pile cap*, kolom, balok, dan pelat, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan estimasi biaya serta penjadwalan pelaksanaan proyek secara lebih sistematis dan terintegrasi.

##### **4.10.1 Analisa *Quantity Take Off (QTO)***

Dalam penyusunan perhitungan biaya serta analisis *Quantity Take Off (QTO)*, pekerjaan diklasifikasikan ke dalam beberapa sub pekerjaan yang terdiri dari kolom, balok, pelat lantai, dan *pile cap*. Perhitungan biaya pada pemodelan ini didasarkan pada volume masing-masing item pekerjaan yang telah diperoleh, kemudian dikalikan dengan harga satuan yang mengacu pada standar Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) wilayah Jakarta Selatan agar sesuai dengan kondisi lokasi proyek Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan.

<Structural Beam>				
A	B	C	D	E
Volume	Family and Type	Reference Level	Length	Mark
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 3 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 3 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 1 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 3 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 3 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 3 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 3 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1
4.05 m <sup>3</sup>	Concrete-Rectangular Beam: B1 (500 x 900)	Lantai 1	10000	B1 ZONA 2 LT1

**Gambar 4. 19** Hasil QTO Balok  
( Sumber : Penulis, 2026 )

<Structural Column>				
A	B	C	D	E
Bar Diameter	Family and Type	Mark	Total Bar Length	Host Category
10 mm	Rebar Bar: H10		21125 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		42250 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		22400 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		26000 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		52000 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		27200 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		26000 mm	Structural Column
10 mm	Rebar Bar: H10		27200 mm	Structural Column

**Gambar 4. 20** Hasil QTO Kolom  
( Sumber : Penulis, 2026 )

<Floor Schedule>			
A	B	C	D
Mark	Family and Type	Area	Volume
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.16 m <sup>3</sup>
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.16 m <sup>3</sup>
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.19 m <sup>3</sup>
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.16 m <sup>3</sup>
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.16 m <sup>3</sup>
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.16 m <sup>3</sup>
ZONA 1 ATAP	Floor: PELAT ATAP 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1.19 m <sup>3</sup>

**Gambar 4. 21** Hasil QTO Plat Lantai  
( Sumber : Penulis, 2026 )

#### 4.10.2 Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

Sub bab ini menguraikan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang didasarkan pada hasil analisis *Quantity Take Off (QTO)*. Perhitungan biaya dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan yang mengacu pada standar Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), sehingga diperoleh estimasi biaya proyek yang sistematis, terukur, dan sesuai dengan kondisi wilayah perencanaan.

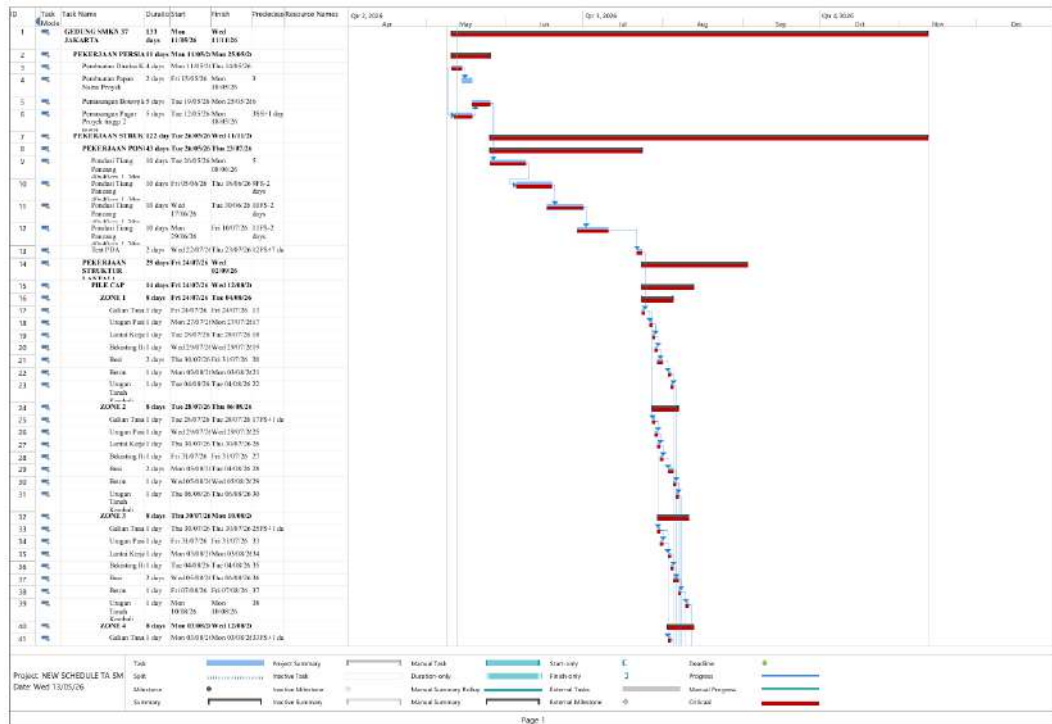
NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA (Rp.)
1	<b>Pekerjaan Persiapan</b>	462,340,162.46
2	<b>Pekerjaan Struktur Bawah</b>	
	Pekerjaan Pondasi	4,839,622,868.92
	Pekerjaan Pilecap	1,524,211,928.63
	Pekerjaan Tie Beam	1,230,363,620.54
3	<b>Pekerjaan Struktur Atas</b>	
	Pekerjaan Lantai 1	3,504,822,461.88
	Pekerjaan Lantai 2	3,503,234,106.84
	Pekerjaan Lantai 3	3,206,060,467.67
	Pekerjaan Lantai 4	3,206,060,467.67
	Pekerjaan Lantai 5	3,142,367,484.51
4	<b>Pekerjaan Atap</b>	
	Pekerjaan Struktur Atap	2,121,006,007.19
	Pekerjaan R. Lift	33,674,777.17
	<b>Total Harga Pekerjaan</b>	26,773,764,353.45
	<b>PAJAK 11%</b>	2,945,114,078.88
	<b>TOTAL KESELURUHAN</b>	<b>29,718,878,432.33</b>

**Gambar 4. 22** Rekapitulasi Biaya Struktur SMKN 37 Jakarta Selatan

(Sumber : Penulis, 2026)

#### 4.11 Penjadwalan

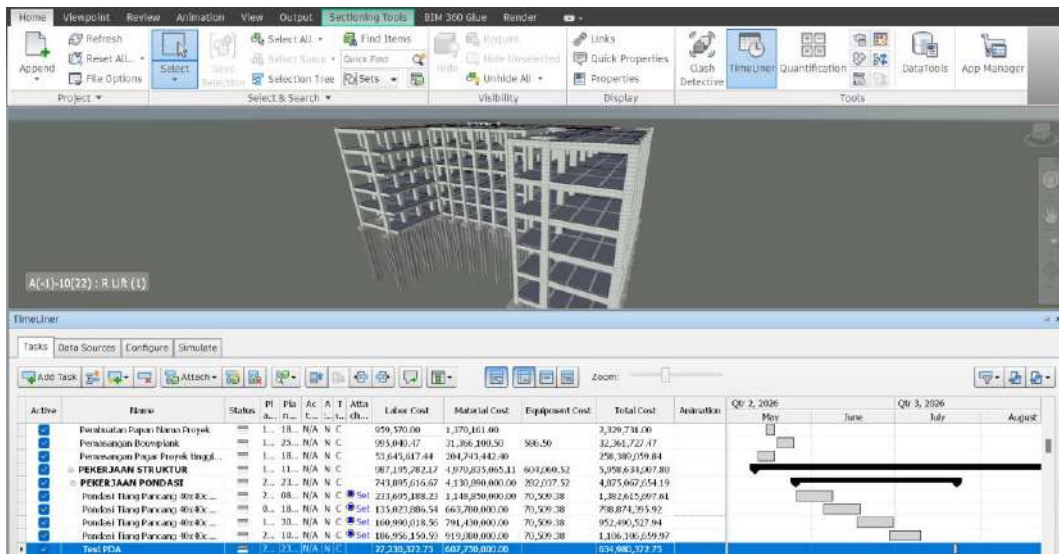
Hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan penjadwalan proyek menggunakan perangkat Microsoft Project, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut. Proyek pembangunan Gedung SMKN 37 Jakarta Selatan direncanakan memiliki total durasi pelaksanaan selama 24 minggu.



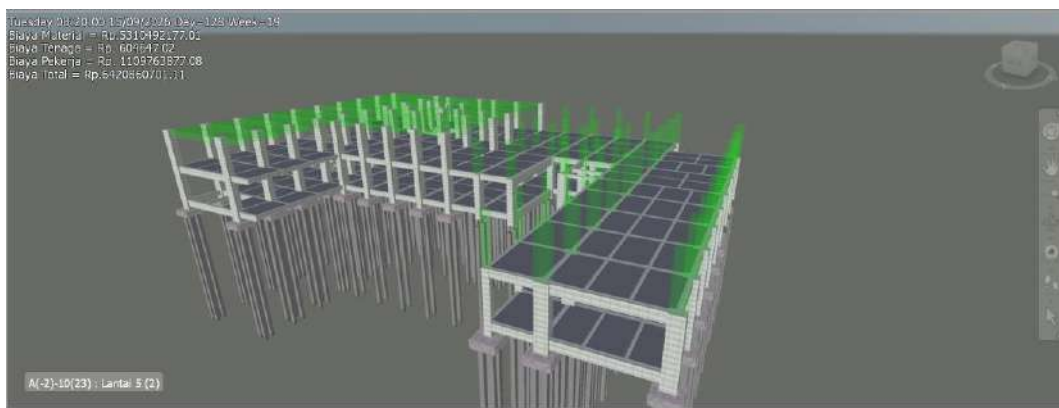
Gambar 4. 23 Penjadwalan Gedung SMKN 37  
(Sumber : Penulis,2026)

#### 4.12 Integrasi Building Information Modelling (BIM)

Hasil pemodelan 3D struktur bangunan, penyusunan jadwal proyek, serta perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) selanjutnya diintegrasikan menggunakan software Autodesk Navisworks. Integrasi tersebut menghasilkan simulasi pelaksanaan konstruksi secara visual dan sistematis, sehingga setiap tahapan pekerjaan dapat ditampilkan sesuai urutan waktu pelaksanaan serta estimasi biaya yang telah direncanakan. Melalui simulasi ini, proses pengendalian proyek menjadi lebih optimal karena mampu memberikan visualisasi pekerjaan yang lebih jelas, terkoordinasi, dan akurat.



Gambar 4. 24 Integrasi Hasil Penjadwalan dan Estimasi  
(Sumber : Penulis, 2026)



Gambar 4. 25 Simulasi Integrasi Penjadwalan (4D) dan (5D)  
(Sumber : Penulis, 2026)