

## BAB IV

### HASIL ANALISIS

#### 4.1 Data Perencanaan

Data Perencanaan pada Gedung BCA KCU Millenia Tebet yaitu meliputi :

Nama Proyek	: Pembangunan Gedung BCA KCU Millenia Tebet Jakarta Selatan.
Lokasi Bangunan	: Jalan Letjen M. T. Haryono No.11, RT 11/RW 5, Tebet Barat, Kec. Tebet, Kota Jakarta Selatan.
Tinggi Bangunan	: 31,4 m
Lebar Bangunan	: 24,9 m
Panjang Bangunan	: 42,1 m
Mutu Beton	: F'c 30 MPa
Mutu Baja	: BjTS 420B

#### 4.2 Preliminary Design

*Preliminary design* merupakan tahapan penentuan dimensi awal elemen struktur yang dilakukan pada tahap awal perencanaan, berdasarkan estimasi pembebanan dan ketentuan standar, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis struktur dan desain akhir.

##### 4.2.1 Preliminary Desain Balok

###### 1. Balok Induk dan *Tie Beam*

Desain balok dengan bentang 9000 mm, dengan mutu baja BjTS 420B dengan  $f_y$  420 MPa, maka :

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

$$\begin{aligned}
 h_{pakai} &= 750 \text{ mm} \\
 b &= \frac{1}{2} \times h \\
 &= \frac{1}{2} \times 750 \\
 &= 375 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi hasil *preliminary design* pada balok induk didapatkan dimensi (b/h) 750 x 450 mm.

## 2. Preliminary Balok Anak

Desain balok dengan bentang 6450 mm, dengan mutu baja BJTS 420B dengan  $f_y$  420 MPa, maka :

$$\begin{aligned}
 h_{min} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{6450}{16} \\
 &= 403 \text{ mm} \\
 h_{pakai} &= 550 \text{ mm} \\
 b &= \frac{1}{2} \times h \\
 &= \frac{1}{2} \times 550 \\
 &= 275 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi hasil *preliminary design* pada balok anak didapatkan dimensi (b/h) 550 x 350 mm.

## 3. Preliminary Balok Kantilever

Desain balok dengan bentang 1700 mm, dengan mutu baja BJTS 420B dengan  $f_y$  420 MPa, maka :

$$\begin{aligned}
 h_{min} &= \frac{L}{8} \\
 &= \frac{1700}{8} \\
 &= 106 \text{ mm} \\
 h_{pakai} &= 400 \text{ mm} \\
 b &= \frac{1}{2} \times h
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times 400 \\
 &= 200 \text{ mm} \\
 b_{\text{pakai}} &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi hasil *preliminary design* pada balok kantilever didapatkan dimensi (b/h) 400 x 250 mm. Berikut table rekapitulasi preliminary balok.

**Tabel 4. 2** Rekapitulasi dimensi balok hasil *preliminary design*

<b>Tipe</b>	<b>Jenis</b>	<b>Lebar (mm)</b>	<b>Tinggi (mm)</b>
TB1	Balok Induk	400	800
TB2	Balok Induk	350	700
TB3	Balok Induk	350	650
TB3'	Balok Anak	350	650
TB4	Balok Anak	350	600
TB5	Balok Induk	300	550
TB5'	Balok Anak	300	550
TB6	Balok Induk	250	500
TB6'	Balok Anak	250	500
TB7	Balok Induk	250	400
TB7'	Balok Anak	250	400
B1	Balok Induk	450	750
B2	Balok Induk	400	850
B3	Balok Induk	400	700
B4	Balok Anak	300	650
B5	Balok Induk	300	600
B6	Balok Induk	300	550
B7	Balok Anak	250	550

<b>Tipe</b>	<b>Jenis</b>	<b>Lebar (mm)</b>	<b>Tinggi (mm)</b>
B8	Balok Anak	350	500
BDA1	Balok Induk	400	750
BDA2	Balok Induk	350	700
BDA2'	Balok Anak	350	700
BDA3	Balok Induk	350	650
BDA3'	Balok Anak	350	650
BDA4	Balok Anak	300	600
BDA5	Balok Induk	300	550
BDA5'	Balok Anak	300	550
BDA6	Balok Anak	250	500
BDA7	Balok Anak	250	450
BDA8	Balok Induk	250	400
BK1	Balok Kantilever	200	400
BK2	Balok Kantilever	200	350

#### **4.2.2 Preliminary Desain Kolom**

Data Perencanaan :

Tipe Kolom = K1

Tinjauan Letak = Lantai Dasar (As 2/H)

Bentang Balok = 9000 mm

Tinggi Kolom = 3550 mm

h Balok B1 = 450 mm

b Balok B1 = 750 mm

Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 420 Mpa

Mutu beton ( $F'_c$ ) = 30 Mpa

Untuk menghitung *preliminary design* pada kolom mengacu pada SNI 2847:2019

Pasal 18.7.2 dengan persamaan dibawah ini :

## 1. Tinjauan Luas Area

Area pelat yang ditumpu oleh kolom K1 dihitung dari pembagian area struktur dibawah ini :

$$A = 67.58 \text{ mm}^2$$

## 2. Perhitungan Beban Lantai

a. Beban Mati (*dead load*)

$$q_{DL} = \frac{\gamma_{beton} \times t}{G}$$

$$q_{DL} \text{ Beban} = \frac{2400 \times 0.13}{1000 \times 9,81}$$

$$q_{DL} = 3.061 \approx 3,1 \text{ kN/m}^2$$

Berikut merupakan tabel Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (SIDL).

**Tabel 4. 3** Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (SIDL)

No	Komponen	Berat		Tebal	Q (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Partisi <sup>(1)</sup>				0.72
2	Keramik	17	kg/m <sup>3</sup>		0.167
3	Spesi 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<sub>SIDL,1</sub> =</b>					2.727
Jumlah beban mati tambahan pada pelat lantai, <b>Q<sub>SIDL,2</sub> =</b>					2.007

b. Hidup (*live load*)

$$4,8 \text{ kN/m}^3$$

## c. Beban Ultimit

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

$$q_u = 14.343 \text{ kN/m}^3$$

## d. Beban Aksial Kolom (Lantai Tipikal)

$$P_u = q_u \times A$$

$$P_u = 14.343 \times 67.58$$

$$P_u = 969,394 \text{ kN}$$

## 3. Perhitungan Beban Atap

a. Beban Mati (*dead load*)

$$q_{DL} = \frac{\gamma_{beton} \times t}{G}$$

$$q_{DL} = \frac{2400 \times 0.1}{1000 \times 9,81}$$

$$q_{DL} = 2.59 \approx 2,6 \text{ kN/m}^2$$

Untuk menentukan beban mati tambahan pada pelat atap (SIDL) dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dibawah ini.

**Tabel 4. 4** Beban Mati Tambahan Pelat Atap (SIDL)

No	Komponen	Berat		Tebal	Q (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Spesi 3 cm	2100	kg/m <sup>3</sup>	0.03	0.618
2	Waterproofing 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<sub>SIDL,3</sub> =</b>					1.467

b. Beban Hidup (*live load*)

$$0,96 \text{ kN/m}^3$$

## c. Beban Ultimit

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

$$q_u = 6,405 \text{ kN/m}^3$$

## d. Beban Aksial Kolom (Lantai Atap)

$$P_u = q_u \times A$$

$$P_u = 6,405 \times 67.58$$

$$P_u = 432,88 \text{ kN}$$

4. Beban Aksial Kumulatif

Jumlah lantai = 7 lantai (6 lantai + 1 atap)

$$P_{u,total} = (6 \times 969,394) + (1 \times 432,88)$$

$$P_{u,total} = 6249,243 \text{ kN}$$

5. Perhitungan Penampang Kolom

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

$$A_g = \frac{6249,243}{13,26}$$

$$A_g = 471285,267 \text{ mm}^2$$

6. Dimensi Kolom

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

$$b = 729,286 \approx 750 \text{ mm}$$

Maka dimensi minimum kolom B/H = 750 x 750 mm, Berikut merupakan tabel rekapitulasi dimensi kolom hasil *preliminary design*.

**Tabel 4. 5** Rekapitulasi dimensi kolom hasil *preliminary design*

<b>Type Kolom</b>	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>
K1	750	750
K2	650	650
K3	250	500
KL	400	400
KT	300	300
KP	450	450

### 4.2.3 Preliminary Desain Pelat Lantai

1. Data Perencanaan :

- a. Rencana diameter tulangan,  $d_b = 10 \text{ mm}$

- b. Tegangan leleh tulangan,  $f_y = 420 \text{ MPa}$
- c. Panjang arah bentang pendek,  $L_x = 3000 \text{ mm}$
- d. Panjang arah bentang panjang,  $L_y = 3750 \text{ mm}$

## 2. Geometri Pada Balok Penumpu

Pelat ditumpu pada balok arah terpendek serta arah terpanjang dengan rincian dimensi :

### a. Balok arah panjang

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

Panjang balok,  $h = 800 \text{ mm}$

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

$$I = \frac{1}{12} x 400 x 800^3$$

$$I = 17,066,666,666.7 \text{ mm}^3$$

### b. Balok arah pendek

Lebar balok,  $b = 250 \text{ mm}$

Panjang balok,  $h = 500 \text{ mm}$

$$I = \frac{1}{12} x 250 x 500^3$$

$$I = 2,604,166,666.7 \text{ mm}^3$$

## 3. Geometri Pelat Lantai

### a. Asumsi tebal pelat

Tebal awal,  $h = 180 \text{ mm}$

### b. Bentang bersih pelat

Arah pendek :

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

$$L_{nx} = 3000 - 400 - 400$$

$$L_{nx} = 2200 \text{ mm}$$

Arah Panjang :

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

$$L_{ny} = 3750 - 250 - 250$$

$$L_{ny} = 3250 \text{ mm}$$

c. Momen inersia pelat

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

Arah Pendek

$$I = \frac{1}{12} x 3000 x 120^3$$

$$I = 432,000,000 \text{ mm}^3$$

Arah Panjang

$$I = \frac{1}{12} x 3750 x 120^3$$

$$I = 540,000,000 \text{ mm}^3$$

4. Rasio Kekakuan Lentur Balok terhadap Pelat

Dapat dihitung dengan persamaan :

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

Hasil dari persamaan :

$$a_{f1} = 2.469$$

$$a_{f2} = 39.506$$

$$a_{f3} = 4.823$$

$$a_{f4} = 39.506$$

Nilai rata-rata :

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

$$a_m = 21,576$$

5. Rasio pada Bentang Pelat

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

$$\beta = \frac{3750}{3000}$$

$$\beta = 1,25$$

6. Dimensi Minimum Pelat

Pada SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2, dimensi minimum pelat dua arah ditentukan berdasarkan nilai :

Rasio bentang  $\beta$

Rasio kekakuan  $a_m$

$$H_{min} = 75,67 \text{ mm}$$

#### 7. Dimensi Pakai

Dikarenakan dimensi asumsi lebih besar dari tebal minimum, oleh karena itu :

$$h_{pakai} = 180 \text{ mm} \geq h_{min}$$

Berikut ini merupakan tabel rekapan dari tipe dan dimensi pelat lantai.

**Tabel 4. 6** Rekapitulasi tebal pelat lantai hasil *preliminary design*

Tipe Pelat	Tebal Pakai (mm)
S1	125
S2	150
S3	180
S4	250

### 4.3 Analisa Pembebanan

Dalam perencanaan struktur, analisa pembebanan dilakukan untuk mengidentifikasi dan menentukan seluruh beban yang bekerja pada bangunan sebagai dasar dalam menilai kekuatan dan kestabilannya. Beban yang direncanakan mencakup beban mati yang berasal dari berat sendiri struktur dan komponen permanen, beban hidup akibat aktivitas penggunaan bangunan, serta beban lateral seperti angin dan gempa. Pengaruh angin dianalisis berdasarkan kondisi lingkungan dan karakteristik bangunan, sedangkan beban gempa dipertimbangkan sebagai respon dinamis akibat pergerakan tanah yang menimbulkan gaya inersia. Selanjutnya, seluruh beban tersebut dikombinasikan sesuai peraturan yang berlaku untuk memperoleh kondisi paling kritis, sehingga struktur yang direncanakan tetap aman, stabil, dan berfungsi dengan baik.

#### 4.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban tetap yang berasal dari berat seluruh elemen struktur serta komponen permanen yang menyusun bangunan. Beban ini mencakup elemen

struktural seperti balok, kolom, dan pelat, serta elemen non struktural seperti dinding, penutup lantai, dan atap. (ASCE, 2022)

1. Pelat Lantai (SIDL)

a.	Partisi (1)	= 0,72 kN/m <sup>2</sup>
b.	Keramik	= 0,167 kN/m <sup>2</sup>
c.	Spesi (0,03)	= 0,618 kN/m <sup>2</sup>
d.	Pasir (0,05)	= 0,785 kN/m <sup>2</sup>
e.	MEP	= 0,3 kN/m <sup>2</sup>
f.	Plafond	= 0,088 kN/m <sup>2</sup>
g.	Rangka Plafond	= 0,049 kN/m <sup>2</sup>

---


$$\text{TOTAL QSIDL} = 2,727 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{TOTAL QSIDL}^{(1)} = 2,007 \text{ kN/m}^2$$

(1) Pada SNIN 1727:2020 pasal 4.3.2 pada ruangan dengan beban hidup  $\geq 3,83$  kN/m<sup>2</sup>, maka untuk beban pada partisi tidak perlu ditambahkan.

2. Pelat Atap (SIDL)

a.	Spesi (0,03)	= 0,618 kN/m <sup>2</sup>
b.	Waterproof (0,02)	= 0,412 kN/m <sup>2</sup>
c.	MEP	= 0,3 kN/m <sup>2</sup>
d.	Plafond	= 0,088 kN/m <sup>2</sup>
e.	Rangka Plafond	= 0,049 kN/m <sup>2</sup>

---


$$\text{Total QSIDL} = 1,467 \text{ kN/m}^2$$

3. Pelat Tangga (SIDL)

a.	Anak tangga	= 1,962 kN/m <sup>2</sup>
b.	Keramik	= 0,167 kN/m <sup>2</sup>
c.	Spesi (0,03)	= 0,618 kN/m <sup>2</sup>
d.	Pasir (0,05)	= 0,785 kN/m <sup>2</sup>

---


$$\text{Total QSIDL} = 3,531 \text{ kN/m}^2$$

4. Pelat Bordes (SIDL)

a.	Keramik	= 0,167 kN/m <sup>2</sup>
b.	Spesi (0,03)	= 0,618 kN/m <sup>2</sup>

$$c. \text{ Pasir (0,05)} = 0,785 \text{ kN/m}^2$$

---


$$\text{Total QSIDL} = 1,57 \text{ kN/m}^2$$

#### 5. Beban Dinding (SIDL)

$$\begin{aligned} \text{Bata Ringan} &= \left(\frac{1}{2} \times \text{Bata Merah}\right) + (2 \text{ sisi plesteran}) \\ &= 0,5 \times 1,87 + 2 \times 0,24 \\ &= 1,415 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

### 4.3.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang timbul akibat aktivitas penggunaan bangunan dan bersifat tidak tetap atau dapat berubah-ubah selama masa pemakaian. Beban ini mencakup keberadaan manusia, perabot, peralatan, serta beban lain yang dapat berpindah atau berubah sesuai fungsi ruang (ASCE, 2022). Berikut ini merupakan table beban hidup berdasarkan fungsi ruang.

**Tabel 4. 7** Daftar beban hidup pada tiap-tiap fungsi ruang

No.	Fungsi	Beban (kN/m <sup>2</sup> )
1	Koridor lantai pertama	4,8
2	Koridor diatas lantai pertama	3,83
3	Kantor	2,4
4	Ruang arsip	4,8
5	Ruang rapat	4,8
6	Ruang brankas/Vault bank	4,8
7	Pelat tangga	4,8
8	Pelat bordes	4,8
9	Ruang olahraga	4,8
10	Dak atap	2,4
11	Atap	0,96
12	Area parkir	4,8
13	Ruang panel dan genset	4,8
14	Toilet	2,727
15	Ruang makan	4,8
16	Assembly/ruang serbaguna (HALL)	4,8
17	Gudang	4,8
18	Ruang pompa	4,8
19	Ruang GWT	2,4

(Sumber : SNI 1727:2020)

### 4.3.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah gaya dinamis yang bekerja pada struktur akibat getaran tanah, yang menimbulkan gaya inersia pada elemen bangunan. Besarnya dipengaruhi oleh kondisi gempa, tanah, dan karakteristik struktur, sehingga perlu diperhitungkan untuk menjaga keamanan bangunan.

#### 1. Kategori Resiko

Berikut ini merupakan tabel kategori risiko berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan.

**Tabel 4. 8** Kategori Risiko Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gedung perkantoran</li> </ul>	II
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> </ul> Pabrik	

(Sumber : SNI 1726:2019)

Gedung BCA KCU Millenia Tebet masuk dalam Kategori Risiko II, yaitu bangunan dengan tingkat risiko sedang yang umumnya digunakan untuk fungsi perkantoran atau komersial dan tidak memiliki peran vital saat terjadi bencana. Oleh karena itu, perencanaan struktur gempa pada bangunan ini menggunakan faktor keutamaan sesuai kategori tersebut dengan tetap memenuhi persyaratan keselamatan yang berlaku.

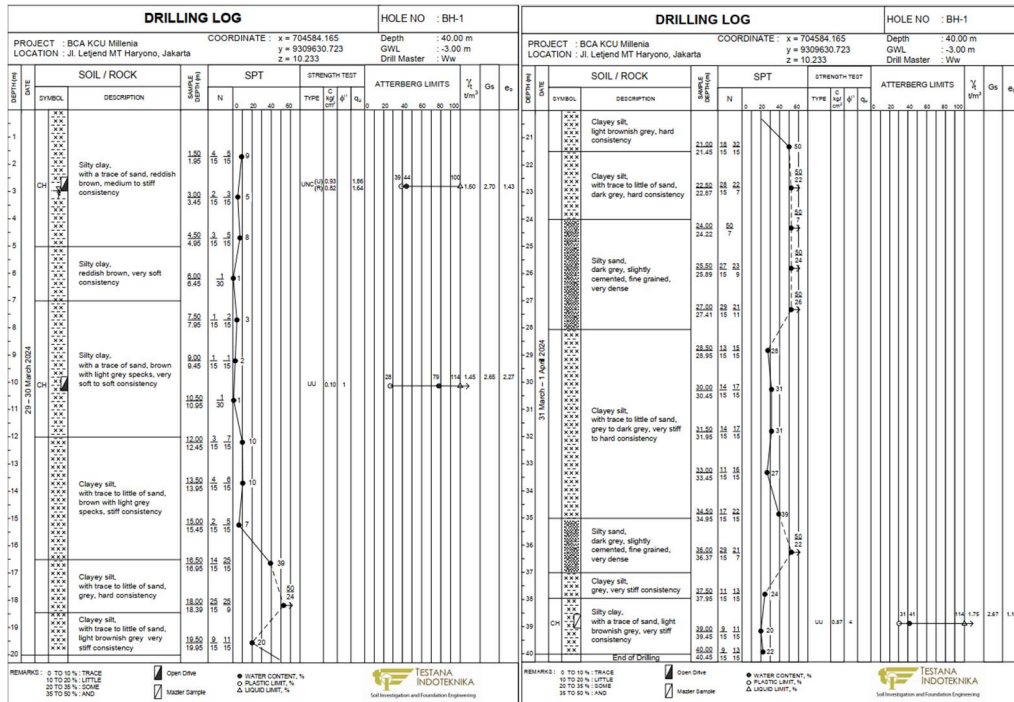
#### 2. Faktor Keutamaan Gempa

**Tabel 4. 9** Faktor keutamaan gempa

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

Faktor keutamaan gempa untuk bangunan dengan Kategori Risiko II adalah 1,0, yang digunakan dalam perencanaan untuk merepresentasikan tingkat kepentingan bangunan terhadap keselamatan jiwa. Klasifikasi situs berdasarkan hasil pengujian SPT. Gambar di bawah ini merupakan grafik N-SPT.



Gambar 3. 7 Grafik hasil N-SPT lokasi proyek

Dibawah ini merupakan tabel kedalaman pondasi.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi hasil bacaan N-SPT

No	Jarak	Kedalaman	N	di/BH-01
1	1.5	1.5	5	0.300
2	1.5	3	5	0.300
3	1.5	4.5	1	1.500
4	1.5	6	2	0.750
5	1.5	7.5	2	0.750
6	1.5	9	3	0.500
7	1.5	10.5	4	0.375
8	1.5	12	6	0.250
9	1.5	13.5	50	0.030
10	1.5	15	23	0.065
11	1.5	16.5	34	0.044

No	Jarak	Kedalaman	N	di/BH-01
12	1.5	18	32	0.047
13	1.5	19.5	25	0.060
14	1.5	21	31	0.048
15	1.5	22.5	50	0.030
16	1.5	24	50	0.030
17	1.5	25.5	50	0.030
18	1.5	27	50	0.030
19	1.5	28.5	22	0.068
20	1.5	30	24	0.063
Nilai N Rata-rata			23,45	

Perhitungan Nilai N-SPT Rata-rata ( $N$ ) SNI 1726-2019 :

$$di/BH - 01 = \frac{1.5}{5}$$

$$di/BH - 01 = 0,3$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{\sum(di/Ni)}{\sum di}$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{469}{20}$$

$$N \text{ rata-rata} = 23,45$$

Keterangan :

$di$  = tebal lapisan tanah ke-i (m)

$Ni$  = nilai N-SPT pada lapisan tanah ke-i

### 3. Kelas Situs Tanah

Penentuan beban gempa desain dalam bab ini diawali dengan mengidentifikasi kelas situs tanah setempat sesuai pada ketentuan SNI 1726:2019. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui efek amplifikasi tanah lokal terhadap rambatan gelombang seismik. Secara metodologis, pengelompokan kelas situs didasarkan pada kalkulasi profil tanah 30 meter teratas menggunakan data teknis seperti nilai N-SPT atau kecepatan rambat gelombang geser. Kelas situs tanah yang teridentifikasi secara umum akan mengontrol nilai parameter percepatan gempa permukaan, yang selanjutnya digunakan sebagai input beban dinamis dalam analisis pemodelan struktur.

**Tabel 4. 11** Kelas Situs Tanah

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, $w \geq 40\%$ , 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>		

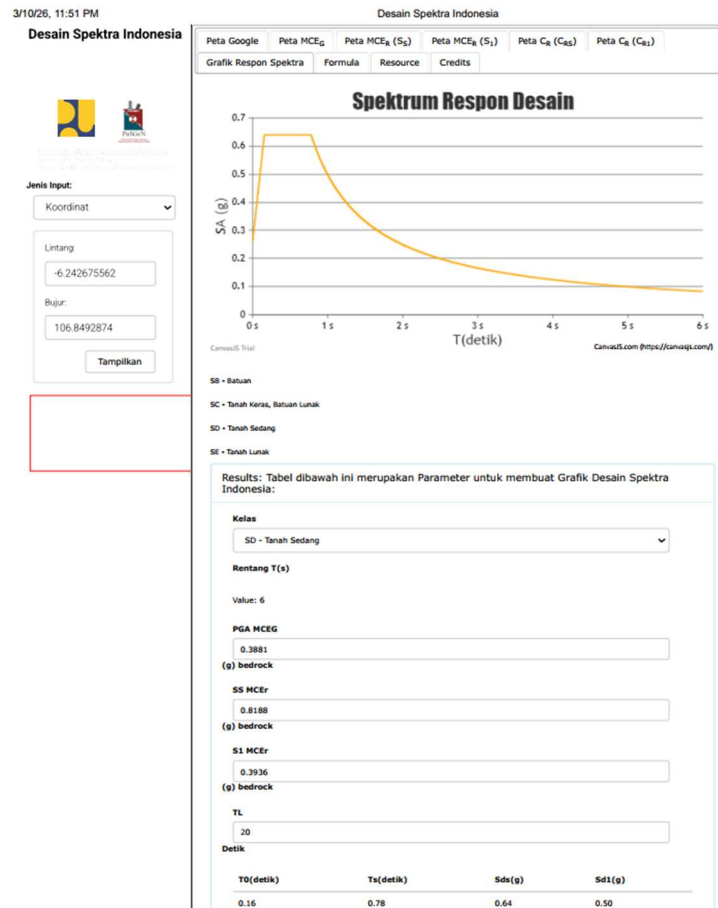
(Sumber : SNI 1726:2019)

Nilai rata-rata uji SPT sebesar 19,783 mengindikasikan bahwa tanah pada lokasi tersebut tergolong tanah sedang. Kondisi ini menunjukkan kepadatan tanah yang cukup baik, sehingga dalam analisis gempa dikategorikan sebagai tanah dengan karakteristik sedang yang berpengaruh terhadap respons spektrum dan perilaku struktur.

#### 4. Parameter maksimum respons spektrum percepatan gempa

Parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum adalah nilai percepatan tertinggi yang digunakan untuk menggambarkan respon struktur terhadap pengaruh gempa pada berbagai periode getar. Parameter ini diperoleh dari peta hazard gempa dan disesuaikan dengan kondisi tanah setempat, sehingga mencerminkan tingkat intensitas gempa yang mungkin terjadi di lokasi bangunan. Nilai tersebut menjadi dasar dalam penyusunan kurva

spektrum respons yang digunakan dalam analisis struktur untuk merencanakan besarnya gaya gempa yang bekerja. Berikut merupakan gambar hasil spectrum respon desain.



**Gambar 4. 1** Hasil Spektrum Respons Desain BCA KCU Millenia Tebet  
(Sumber : Desain Spektra Indonesia)

## 5. Respons spektrum desain

### a. Koefisien situs $F_a$

Koefisien situs  $F_a$  adalah faktor yang digunakan untuk menyesuaikan nilai percepatan spektral periode pendek ( $S_s$ ) terhadap kondisi tanah di lokasi. Nilai  $F_a$  dipengaruhi oleh jenis klasifikasi tanah, sehingga setiap jenis tanah memiliki nilai yang berbeda. Penggunaan koefisien ini bertujuan agar perhitungan respons spektrum gempa lebih mencerminkan kondisi tanah sebenarnya dan menghasilkan analisis yang lebih akurat. Berikut merupakan Tabel Koefisien Situs ( $F_a$ ) SNI 1726:2019.

**Tabel 4. 12** Tabel Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik (Ss)					
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss = 1,25	Ss ≥ 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)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Nilai Ss hasil tabel

$$Ss1 = 0,75 \text{ g}$$

$$Ss2 = 1 \text{ g}$$

$$\text{Nilai Ss (MCER)} = 0,8188 \text{ g}$$

Nilai kelas situs

$$Fa1 = 1,2 \text{ g}$$

$$Fa2 = 1,1 \text{ g}$$

$$\text{Nilai Fa (MCER)} = Fa = Fa1 + \frac{(Ss - Ss1)}{(Ss2 - Ss1)} \times (Fa2 - Fa1)$$

$$Fa = 1,3 + \frac{(0,8188 - 0,75)}{(1 - 0,75)} \times (1,1 - 1,2)$$

$$Fa = 1.172 \text{ g}$$

b. Koefisien Situs  $F_v$

Koefisien situs  $F_v$  merupakan faktor yang dipakai untuk mengoreksi nilai percepatan spektral pada periode 1 detik ( $S_I$ ) dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat. Besarnya nilai  $F_v$  ditentukan berdasarkan klasifikasi jenis tanah, sehingga berbeda untuk setiap kondisi lokasi. Dengan penggunaan koefisien ini, respons spektrum gempa pada periode panjang dapat direpresentasikan secara lebih sesuai dengan kondisi aktual tanah. Berikut merupakan Tabel Koefisien Situs,  $F_v$ .

**Tabel 4. 13** Tabel Koefisien Situs,  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik ( $S_s$ )					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
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	1,4
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

$$S_{s1} = 0,3 \text{ g}$$

$$S_{s2} = 0,4 \text{ g}$$

$$\text{Nilai } S_s \text{ (MCER)} = 0.3936 \text{ g}$$

Nilai kelas situs

$$F_{v1} = 2,0 \text{ g}$$

$$F_{v2} = 1,9 \text{ g}$$

$$\text{Nilai } F_v \text{ (MCER)} = F_v = F_{a1} + \frac{(S_s - S_1)}{(S_{s2} - S_1)} \times (F_{a2} - F_{a1})$$

$$F_v = 1,3 + \frac{(0,3936 - 0,3)}{(0,4 - 0,3)} \times (2,0 - 1,9)$$

$$F_v = 1.9064 \text{ g}$$

Dalam analisis gempa, nilai respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) digunakan untuk merepresentasikan respons maksimum struktur terhadap beban gempa pada masing-masing periode getar tersebut.

$$\begin{aligned} \text{a. Nilai } S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1.172 \times 0,8188 \\ &= 0,9596 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{b. Nilai } S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$= 1,9064 \times 0.3936$$

$$= 0,7503 \text{ g}$$

6. Kategori seismik desain

Kategori desain seismik merupakan pengelompokan bangunan berdasarkan tingkat pengaruh gempa yang harus diperhitungkan. Penetapannya didasarkan pada parameter respons spektrum dan kategori risiko, yang kemudian digunakan untuk menentukan metode analisis serta persyaratan desain struktur.

a. Nilai  $S_{DS}$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,9596$$

$$= 0,6397 \text{ g}$$

b. Nilai  $S_{D1}$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,7503$$

$$= 0,5002 \text{ g}$$

c.  $T_0$

$$= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= 0,2 \times \frac{0,5002}{0,6397}$$

$$= 0,1563 \text{ detik}$$

d.  $T_S$

$$= \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= \frac{0,5002}{0,6397}$$

$$= 0,7819 \text{ detik}$$

e.  $T_l$  = 20 detik

Berikut merupakan tabel Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek dan Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode 1 detik.

**Tabel 4. 14** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

**Tabel 4. 15** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} \leq 0,133$	B	C
$0,33 \leq S_{D1} \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2019)

Kategori desain seismik ditetapkan berdasarkan nilai parameter respons spektrum desain ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ ) serta kategori risiko bangunan. Penetapan ini selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam menentukan metode analisis dan persyaratan perencanaan struktur terhadap beban gempa. Maka hasil dari nilai diatas dapat disimpulkan bahwa bangunan masuk kategori desain seismik D serta pada SNI 1726:2019 Pasal 6.5 dapat disimpulkan bahwa bangunan masuk ke kategori risiko IV pada gedung BCA KCU Millenia Tebet.

7. Nilai koefisien faktor  $R, \Omega, C_d$

Penetapan nilai faktor  $R, \Omega$ , dan  $C_d$  dilakukan berdasarkan jenis sistem pemikul gaya gempa yang digunakan pada struktur. Ketiga parameter ini berfungsi untuk menggambarkan kemampuan struktur dalam mereduksi gaya gempa, memperhitungkan kekuatan lebih, serta mengendalikan simpangan. Setelah sistem struktur ditentukan, nilai-nilai tersebut kemudian diambil sesuai dengan ketentuan yang berlaku dalam perencanaan tahan gempa. Nilai tersebut kemudian diambil dari SNI 1726:2019 pada berikut ini. Berikut merupakan

tabel Faktor koefisien modifikasi respons dan Parameter percepatan respons spektrum desain pada 1 detik, SD1.

**Tabel 4. 16** Faktor koefisien modifikasi respons

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) <sup>d</sup>				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber : SNI 1726:2019)

**Tabel 4. 17** Parameter percepatan respons spektrum desain pada 1 detik,  $S_{DI}$

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. 18** Tipe struktur rangka pemikul momen

Tipe Struktur	Ct	x
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:		
a) Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
b) Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
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)

8. Periode getaran fundamental gempa

Periode getaran fundamental adalah waktu satu siklus getaran alami struktur pada mode pertama akibat gempa. Nilainya dipengaruhi oleh massa dan

kekakuan bangunan serta digunakan untuk menentukan respons dan gaya gempa pada struktur. Nilai tersebut dapat dihitung dari persamaan dibawah ini.

a. Periode Minimum ( $T_a$  min)

$$\begin{aligned} T_a \text{ min} &= C_t \times Hn^x \\ &= 0,0466 \times 31,4^{0,9} \\ &= 1,036 \text{ detik} \end{aligned}$$

b. Periode Maksimum ( $T_a$  Max)

$$\begin{aligned} T_a \text{ max} &= C_u \times T_a \text{ min} \\ &= 1,4 \times 1,036 \\ &= 1,451 \text{ detik} \end{aligned}$$

c. Periode hasil ETABS (TC)

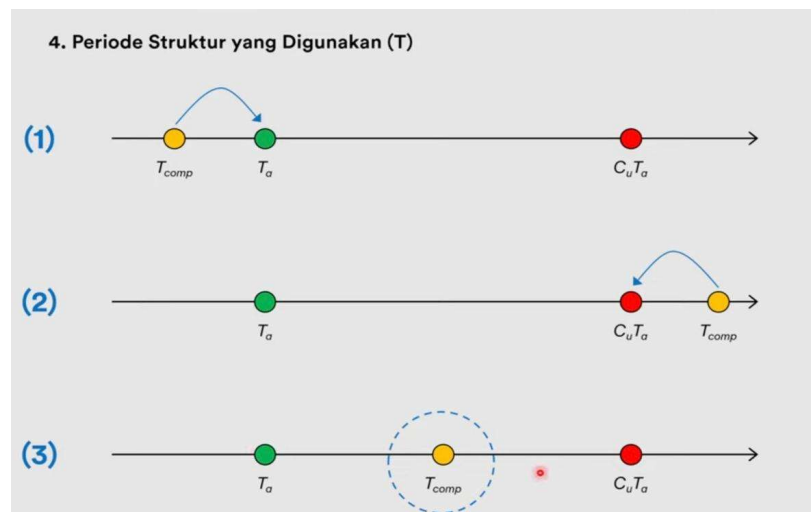
$$TC \text{ arah x} = 0,873$$

$$TC \text{ arah y} = 0,85$$

$$\text{Cek kontrol} = TC < T_a \text{ min} < T_a \text{ max} \quad (1)$$

$$\text{Arah x} = 0,873 < 1,036 < 1,415$$

$$\text{Arah y} = 0,850 < 1,036 < 1,415$$



**Gambar 4. 2** Periode struktur yang digunakan

Lalu nilai  $T_a$  ditentukan:

$$\text{Arah x} = 1,036$$

$$\text{Arah y} = 1,036$$

#### 4.3.4 Beban Angin

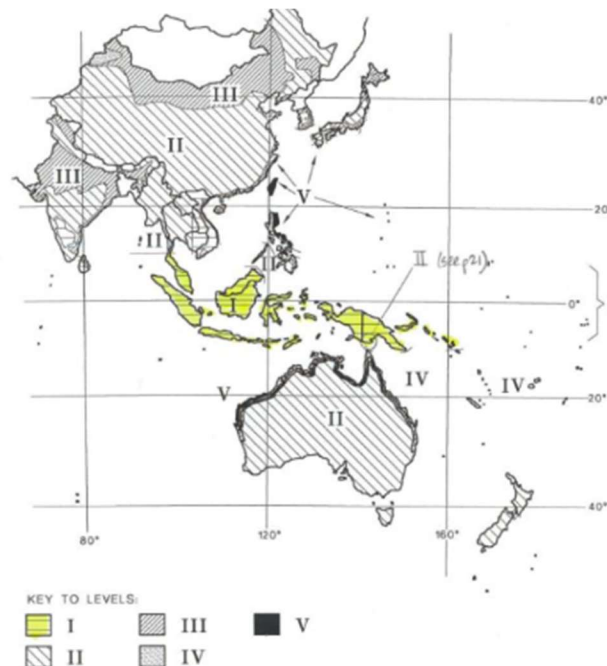
Beban angin adalah gaya horizontal akibat aliran udara yang menimbulkan tekanan dan hisapan pada struktur, sehingga perlu diperhitungkan untuk menjaga kestabilan bangunan. Berikut adalah parameter untuk menghitung beban angin :

1. Sistem penahan gaya angin

Sesuai ketentuan SNI 1727:2020, beban angin pada amplop bangunan diterima langsung oleh elemen luar seperti dinding, fasad, dan atap dalam bentuk tekanan dan hisapan. Elemen-elemen tersebut berfungsi menahan beban pada permukaan bangunan sebelum diteruskan ke sistem struktur utama.

2. Parameter beban angin

Berikut merupakan gambar Peta Angin Australia, HB 212-2002 dan Tabel kecepatan angin rencana ( $V_r$ ) berdasarkan risiko wilayah.



**Gambar 4. 3** Peta angin Australia, HB 212-2002

(Sumber : Peta Angin Australia HB 212-2002)

**Tabel 4. 19** Tabel kecepatan angin rencana ( $V_r$ ) berdasarkan risiko wilayah

<i>Handbook Level</i>	<i>Description</i>	<i>Equation for <math>V_r</math></i>	$V_{60}$	$V_{600}$
I	<i>Strong thunderstorms and monsoon winds</i>	$(70 - 56R^{-0.1})$	32	40

<i>Handbook Level</i>	<i>Description</i>	<i>Equation for Vr</i>	<i>V<sub>60</sub></i>	<i>V<sub>600</sub></i>
II	<i>Moderately severe thunderstorms and extra-tropical gales</i>	$(67 - 41R^{-0.1})$	39	45
III	<i>Severe thunderstorms and moderate or weakening typhoons/tropical cyclones</i>	$(106 - 92R^{-0.1})$	44	57
IV	<i>Strong typhoons/tropical cyclones</i>	$(122 - 104R^{-0.1})$	52	66
V	<i>Very strong typhoons/tropical cyclones</i>	$(156 - 142R^{-0.1})$	60	80

(Sumber: HB 212-2002 (*Handbook of Wind Actions*))

Mengacu pada peta kecepatan angin dalam HB 212:2002, wilayah DKI Jakarta diklasifikasikan sebagai daerah dengan kecepatan angin rencana sebesar 32 m/s. Nilai tersebut digunakan sebagai parameter utama dalam analisis beban angin dan menjadi dasar dalam perencanaan struktur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

### 3. Faktor arah angin

Faktor arah angin merupakan koefisien yang digunakan untuk memperhitungkan pengaruh arah datangnya angin dalam analisis beban angin. Faktor ini dinyatakan sebagai  $K_d$  yang mencerminkan bahwa angin tidak selalu bekerja dari arah yang paling kritis secara terus-menerus, sehingga digunakan untuk menyesuaikan besarnya beban agar lebih realistis. Nilai  $K_d$  dapat dilihat pada tabel berikut ini

**Tabel 4. 20** Faktor arah angin

Tipe Struktur	Faktor arah angin ( $K_d$ )
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85

Tipe Struktur	Faktor arah angin ( $K_d$ )
Kubah berbentuk bundar	1,0 <sup>a</sup>
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	
Persegi	0,90
Segi enam	0,95
Segi delapan	1,0 <sup>a</sup>
Bundar	1,0 <sup>a</sup>
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

(Sumber: SNI 1727:2020)

Faktor arah angin dinyatakan sebagai  $K_d$ , yang digunakan untuk memperhitungkan pengaruh variasi arah datangnya angin dalam analisis beban angin. Dalam perencanaan ini, nilai  $K_d$  diambil sebesar 0,85 berdasarkan sistem penahan gaya angin utama (SPGAU), sehingga beban angin yang dihitung lebih merepresentasikan kondisi aktual.

#### 4. Kategori eksposur

Penentuan kategori eksposur dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar serta tinggi atap rata-rata bangunan. Berdasarkan pada objek bangunan ini dapat diklasifikasikan dalam eksposur tipe B.

#### 5. Faktor topografi

Pada kasus BCA KCU Millenia Tebet, bangunan tidak berada pada kondisi topografi tersebut, sehingga pengaruh topografi dapat diabaikan dalam perhitungan beban angin. Maka dapat diambil nilai  $K_{zt} = 1,0$ .

#### 6. Faktor elevasi permukaan tanah

Faktor elevasi permukaan tanah merupakan parameter yang digunakan untuk memperhitungkan pengaruh ketinggian lokasi terhadap densitas udara dalam

analisis beban angin. Pada bangunan BCA KCU Millenia Tebet, pengaruh elevasi relatif kecil sehingga nilai faktor elevasi umumnya dapat diambil mendekati 1,0 dalam perhitungan. Berikut merupakan tabel elevasi tanah di atas dan dibawah permukaan laut (*Sea Level*).

**Tabel 4. 21** Faktor elevasi permukaan tanah

Elevasi tanah di atas permukaan laut ( <i>Sea Level</i> )		Faktor elevasi permukaan tanah ( $K_e$ )
ft	m	
< 0	< 0	Lihat catatan 2
0	0	1,00
1.000	305	0,96
2.000	610	0,93
3.000	914	0,90
4.000	1.219	0,86
5.000	1.524	0,83
6.000	1.829	0,80
> 6.000	> 1.829	Lihat catatan 2

(Sumber: SNI 1727:2020)

#### 7. Tekanan kecepatan ( $K_z$ )

Koefisien tekanan kecepatan  $K_z$  adalah faktor yang digunakan untuk menggambarkan variasi kecepatan angin terhadap ketinggian bangunan dari permukaan tanah. Nilai  $K_z$  dipengaruhi oleh kategori eksposur dan elevasi titik yang ditinjau, sehingga digunakan dalam perhitungan tekanan angin agar sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Berikut merupakan tabel tekanan kecepatan.

**Tabel 4. 22** Koefisien tekanan kecepatan angin

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur B	Eksposur C	Eksposur D
ft	m			
0–15	0–4,6	0,57 (0,70) <sup>a</sup>	0,85	1,03
20	6,1	0,62 (0,70) <sup>a</sup>	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70) <sup>a</sup>	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,12

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur B	Eksposur C	Eksposur D
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18,0	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	1,24	1,40
100	30,5	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61,0	1,20	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1,89

(Sumber : SNI 1727:2020)

8. Tekanan kecepatan velositas ( $q_z$ )

$$K_z = 0,99 + \frac{31,4 - 30,5}{36,6 - 30,5} \times (1,04 - 0,99)$$

$$K_z = 1,0018$$

Dapat disimpulkan nilai  $K_z$  yang berada di ketinggian 31,4 m didapatkan melalui interpolasi dari tabel 26.10-1 SNI 1727:2020 dengan nilai  $K_z = 1,0018$

9. Faktor pengaruh hembusan angin (G)

Faktor hembusan angin (G) dipergunakan untuk merepresentasikan dampak perubahan kecepatan angin yang tidak konstan terhadap respons struktur. Nilainya ditentukan oleh sifat bangunan, terutama terkait tingkat kekakuan sistem strukturnya. Mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 26.11.1, bangunan gedung serta struktur lain yang memiliki kekakuan tinggi dapat menggunakan nilai faktor hembusan angin sebesar 0,85.

10. Koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ )

Penentuan nilai koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ) mengacu pada ketentuan dalam SNI 1727:2020 Tabel 26.13-1, yang didasarkan pada klasifikasi tingkat

ketertutupan bangunan, yaitu tertutup, sebagian terbuka, atau terbuka. Koefisien ini digunakan untuk menggambarkan pengaruh tekanan angin di dalam bangunan yang terjadi akibat adanya bukaan pada selubung bangunan. Berikut merupakan tabel koefisien tekanan internal.

**Tabel 4. 23** Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal (GCpi)
Bangunan tertutup	Ao kurang dari terkecil 0,01Ag atau 4 ft <sup>2</sup> (0,37 m <sup>2</sup> ) dan Aoi/Agi ≤ 0,2	Sedang	-0,18
			-0,18
Bangunan tertutup sebagian	Ao > 1,1Aoi dan Ao > terkecil dari 0,01Ag atau 4 ft <sup>2</sup> (0,37 m <sup>2</sup> ) dan Aoi/Agi ≤ 0,2	Tinggi	-0,55
			-0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18
			-0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

(Sumber : SNI 1727:2020)

#### 11. Koefisien tekanan eksternal ( $C_p$ )

Koefisien tekanan eksternal merupakan besaran yang digunakan untuk menyatakan intensitas tekanan maupun gaya hisap angin yang bekerja pada sisi luar bangunan. Nilainya dipengaruhi oleh konfigurasi bentuk bangunan, arah aliran angin, serta letak elemen yang dianalisis. Dalam proses perancangan, parameter ini berperan dalam menentukan sebaran beban angin pada permukaan luar struktur sesuai pedoman dalam SNI 1727:2020. Berikut merupakan tabel koefisien tekanan eksternal ( $C_p$ ).

**Tabel 4. 24** Koefisien Tekanan Eksternal ( $C_p$ )

Permukaan	L/B	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	qz
	0 – 1	-0,5	qh
Dinding di sisi angin pergi	2	-0,3	qh
	≥ 4	-0,2	qh
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	qh

(Sumber : SNI 1727:2020)

## 12. Tekanan angin ( $p$ ) pada permukaan gedung

Mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 27.3.1, besarnya tekanan angin rencana ( $p$ ) pada permukaan bangunan dihitung dengan persamaan berikut:

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi})$$

Dengan penjelasan sebagai berikut:

$p$  merupakan tekanan angin rencana yang bekerja pada permukaan struktur ( $\text{kN/m}^2$ ). Nilai  $q$  menyatakan tekanan kecepatan angin pada elevasi tertentu  $z$  ( $\text{kN/m}^2$ ). Koefisien  $GC_p$  adalah koefisien tekanan eksternal yang telah memperhitungkan efek hembusan (*gust*). Sementara itu,  $q_i$  menunjukkan tekanan kecepatan pada ketinggian acuan untuk tekanan internal, dan  $GC_{pi}$  adalah koefisien tekanan internal yang digunakan dalam analisis.

### 4.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan adalah penggabungan beberapa jenis beban yang bekerja bersamaan untuk memperoleh kondisi paling kritis dalam perencanaan struktur (SNI, 2022).

#### a. Kombinasi pembebanan dasar SNI 1727:2020 (Pasal 2.3.1)

i. 1,4 DL

ii. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (R atau Lr)

Lalu persamaan ini dipecah menjadi :

1. 1,2 DL + 1,6 LL

iii. 1,2 DL + 1,6 (R atau Lr) + (0,5 W atau LL)

Lalu persamaan ini dipecah menjadi :

1. 1,2 DL + 1,6 R + LL

2. 1,2 DL + 1,6 R + 0,5 W

3. 1,2 DL + 1,6 R - 0,5 W

iv. 1,2 DL + W + L + 0,5 (R atau Lr)

Lalu persamaan ini dipecah menjadi :

1. 1,2 DL + W + L + 0,5 (R atau Lr)

2. 1,2 DL - W + L + 0,5 R

v.  $0,9 DL + W$

Lalu persamaam ini dipecah menjadi :

1.  $0,9 DL + W$

2.  $0,9 DL - W$

b. Kombinasi pembebanan pengaruh gempa SNI 1726:2019 (Pasal 4.2.2.3)

i.  $1,2 DL + E_v + E_h + LL$

Penjabaran dari persamaan diatas didapatkan :

$$= (1,2 DL + 0,2 S_{DS}) D + E_x + E_y + L$$

$$= (1,2 DL + 0,2 \times 0,640) D + E_x + E_y + L$$

$$= 1,328 DL + E_x + E_y + L$$

Setelah itu persamaan diatas dipecah menjadi :

1.  $1,328 D + E_x + tt + 0,3 E_y + L$

2.  $1,328 D - E_x + tt + 0,3 E_y + L$

3.  $1,328 D - E_x + tt - 0,3 E_y + L$

4.  $1,328 D + E_x + tt - 0,3 E_y + L$

5.  $1,328 D + E_x - tt + 0,3 E_y + L$

6.  $1,328 D - E_x - tt + 0,3 E_y + L$

7.  $1,328 D + E_x - tt - 0,3 E_y + L$

8.  $1,328 D - E_x - tt - 0,3 E_y + L$

9.  $1,328 D + 0,3 E_x + E_y + tt + L$

10.  $1,328 D + 0,3 E_x - E_y + tt + L$

11.  $1,328 D - 0,3 E_x + E_y + tt + L$

12.  $1,328 D - 0,3 E_x - E_y + tt + L$

13.  $1,328 D + 0,3 E_x + E_y - tt + L$

14.  $1,328 D + 0,3 E_x - E_y - tt + L$

15.  $1,328 D - 0,3 E_x + E_y - tt + L$

16.  $1,328 D - 0,3 E_x - E_y - tt + L$

c.  $0,9 DL - E_v + E_h$

Penjabaran dari persamaan diatas didapatkan :

$$= 0,9 DL - 0,2 S_{DS} DL + E_x + E_y$$

$$= (0,9 - 0,2 \times 0,640) DL + E_x + E_y$$

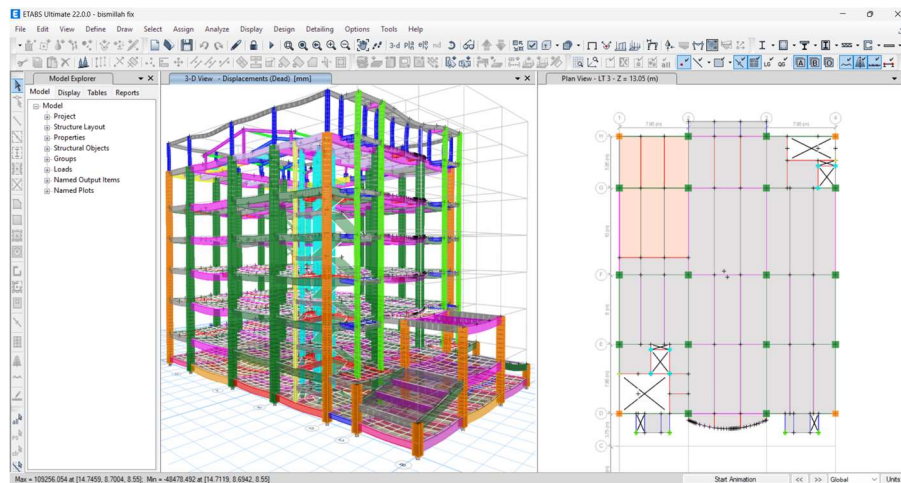
$$= 0,772 DL + E_x + E_y$$

Setelah itu persamaan diatas dipecah menjadi :

1.  $0,772 D + E_x + tt + 0,3 E_y$
2.  $0,772 D + E_x + tt - 0,3 E_y$
3.  $0,772 D - E_x + tt + 0,3 E_y$
4.  $0,772 D - E_x + tt - 0,3 E_y$
5.  $0,772 D + E_x - tt + 0,3 E_y$
6.  $0,772 D + E_x - tt - 0,3 E_y$
7.  $0,772 D - E_x - tt + 0,3 E_y$
8.  $0,772 D - E_x - tt - 0,3 E_y$
9.  $0,772 D + 0,3 E_x + E_y + tt$
10.  $0,772 D + 0,3 E_x - E_y + tt$
11.  $0,772 D - 0,3 E_x + E_y + tt$
12.  $0,772 D - 0,3 E_x - E_y + tt$
13.  $0,772 D + 0,3 E_x + E_y - tt$
14.  $0,772 D + 0,3 E_x - E_y - tt$
15.  $0,772 D - 0,3 E_x + E_y - tt$
16.  $0,772 D - 0,3 E_x - E_y - tt$

#### 4.5 Hasil Analisa Struktur

Melalui bantuan ETABS, dilakukan evaluasi terhadap respon struktur akibat kombinasi pembebanan yang bekerja. Hasil analisis memberikan informasi berupa gaya dalam (aksial, geser, dan momen), deformasi, serta simpangan antar lantai. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menilai kinerja struktur dan memastikan bahwa elemen yang direncanakan telah memenuhi ketentuan kekuatan dan kestabilan yang dipersyaratkan.



**Gambar 4. 4** Hasil analisa struktur menggunakan ETABS

Hasil analisis struktur yang dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS menunjukkan adanya beberapa parameter yang perlu dilakukan pengecekan dan peninjauan. Pemeriksaan tersebut mencakup beberapa aspek sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan Struktur

Ketidakberaturan struktur merupakan kondisi bangunan dengan distribusi bentuk, massa, serta kekakuan yang tidak seragam akibatnya respon terhadap beban, terutama gempa, menjadi tidak merata. Ketidakberaturan ini terdiri dari ketidakberaturan horizontal yang terjadi pada denah bangunan dan ketidakberaturan vertikal yang terjadi sepanjang tinggi bangunan

a. Ketidakberaturan Horizontal

Berikut merupakan tabel hasil dari Ketidakberaturan Torsi, Ketidakberaturan Sudut Dalam, dan Ketidakberaturan Diafragma.

**Tabel 4. 25** Ketidakberaturan Torsi

LANTAI	ARAH X				ARAH Y			
	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	Ratio	CEK	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	Ratio	CEK
Atap	27.763	15.893	1.747	Tidak	14.746	9.151	1.611	Tidak
Dak Atap	13.554	12.429	1.091	Regular	11.827	11.633	1.017	Regular
Lantai 5	14.84	14.045	1.057	Regular	12.835	12.192	1.053	Regular
Lantai 4	17.866	17.328	1.031	Regular	15.899	14.898	1.067	Regular
Lantai 3	18.967	18.794	1.009	Regular	17.403	16.346	1.065	Regular
Lantai 2	21.028	17.458	1.204	Tidak	16.923	16.168	1.047	Regular
Lantai 1	7.857	4.993	1.574	Tidak	5.109	4.994	1.023	Regular

LANTAI	ARAH X				ARAH Y			
	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	Ratio	CEK	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	Ratio	CEK
Lt Dasar	0.441	0.312	1.413	Tidak	0.471	0.36	1.308	Tidak

**Tabel 4. 26** Ketidakberaturan Sudut Dalam

Parameter	Nilai	Satuan
Lx	24.9	m
Px	7.95	m
Ly	43.8	m
Py	10.2	m
Px/Lx	32%	-
Py/Ly	23%	-
CEK	H.2	-

**Tabel 4. 27** Ketidakberaturan Diafragma

Parameter	Nilai	Satuan
A total	824.8675	m <sup>2</sup>
A Bukaan	378.31	m <sup>2</sup>
Cek	Reguler	-

b. Ketidakberaturan Vertikal

Berikut merupakan tabel hasil Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak, Ketidakberaturan Berat (Massa), Ketidakberaturan Geometri Vertikal dan Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat.

**Tabel 4. 28** Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
ATAP	11748.3	-	135.9792	-
DAK	73713.768	Reguler	843.7618	Reguler
LT 5	137996.866	Reguler	1695.006	Reguler
LT 4	238088.218	Reguler	2301.7194	Reguler
LT 3	441206.078	Reguler	2796.78	Reguler
LT 2	446917.778	Reguler	3122.6906	Reguler
LT 1	1367388.222	Reguler	3239.7559	Reguler

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekauan	Cek	Kekauan	Cek
	kN/m		kN/m	
LT DASAR	655625473	Reguler	3057.4305	Reguler

**Tabel 4. 29** Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Kg	Cek
	Massa	
ATAP	111898	Reguler
DAK	641227.38	Reguler
LT 5	1070048.24	Reguler
LT 4	982197.33	Reguler
LT 3	1041957.79	Reguler
LT 2	1223650.69	Reguler
LT 1	1267548.12	Reguler
LT DASAR	1391853.97	Reguler

**Tabel 4. 30** Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Lantai	L	Cek
	mm	
ATAP	750	Reguler
DAK	750	Reguler
LT 5	750	Reguler
LT 4	750	Reguler
LT 3	750	Reguler
LT 2	750	Reguler
LT 1	750	Reguler
LT DASAR	750	Reguler

**Tabel 4. 31** Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekauan	Cek	Kekauan	Cek
	kN/m		kN/m	
ATAP	0	-	0	-
DAK	867.5399	Reguler	135.9792	Reguler
LT 5	1717.8396	Reguler	843.7618	Reguler

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekauan	Cek	Kekauan	Cek
	kN/m		kN/m	
LT 4	2307.1934	Reguler	1695.006	Reguler
LT 3	2770.9743	Reguler	2301.7194	Reguler
LT 2	3060.9025	Reguler	2796.78	Reguler
LT 1	3154.4275	Reguler	3122.6906	Reguler
LT DASAR	3092.7671	Reguler	3239.7559	Reguler

Hasil penilaian menunjukkan bahwa bangunan memiliki ketidakberaturan yang cukup signifikan baik secara horizontal maupun vertikal. Dengan kondisi tersebut serta termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D, maka pemilihan metode analisis struktur mengikuti ketentuan pada SNI 1726:2019 Tabel 16 mengenai prosedur analisis yang diizinkan.

Mengacu pada ketentuan tersebut, struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan dan memenuhi batas ketinggian dapat dianalisis menggunakan *Modal Response Spectrum Analysis* (MRSA). Oleh karena itu, metode MRSA dipilih untuk mendapatkan hasil respons gempa yang lebih akurat.

## 2. *Modal Response Spectrum Analysis* (MRSA)

Pada analisis spektrum respons ragam (MRSA) menggunakan ETABS, jumlah mode yang digunakan harus menghasilkan partisipasi massa kumulatif sekurang-kurangnya 90% pada setiap arah utama struktur. Persyaratan ini diperlukan agar respons dinamis akibat gempa dapat terwakili dengan baik, sehingga hasil analisis lebih akurat dan dapat diandalkan dalam perencanaan. Berikut merupakan tabel *Modal Response Spectrum Analysis* (MRSA).

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Modal	16	0.235	9.196E-06	0.0001	0	0.6455	0.667
Modal	17	0.228	4.582E-05	6.663E-07	0	0.6455	0.667
Modal	18	0.217	0.0946	0.0001	0	0.7402	0.667
Modal	19	0.213	0.0001	0.0937	0	0.7403	0.761
Modal	20	0.204	0.0009	6.644E-07	0	0.7412	0.761
Modal	21	0.177	0.0042	0.0001	0	0.7454	0.761
Modal	22	0.15	0.0102	0.0154	0	0.7556	0.776
Modal	23	0.149	0.0182	0.0094	0	0.7738	0.78
Modal	24	0.135	0.0052	6.684E-06	0	0.779	0.78
Modal	25	0.118	0.0169	0.0002	0	0.7959	0.786
Modal	26	0.117	0.0002	0.0154	0	0.7961	0.801
Modal	27	0.109	0.0008	0.0003	0	0.7969	0.801
Modal	28	0.096	0.0044	1.227E-05	0	0.8013	0.801
Modal	29	0.081	1.434E-05	0.0541	0	0.8013	0.85
Modal	30	0.073	0.0581	1.178E-05	0	0.8594	0.85
Modal	31	0.047	0	0	0	0.8594	0.85
Modal	32	0.045	0	0	0	0.8594	0.85
Modal	33	0.044	0	9.658E-07	0	0.8594	0.85
Modal	34	0.043	0	0	0	0.8594	0.85
Modal	35	0.043	0	4.476E-06	0	0.8594	0.85
Modal	36	0.041	0	5.016E-06	0	0.8594	0.85
Modal	37	0.037	0.1167	0.0002	0	0.9761	0.856
Modal	38	0.037	0.0003	0.1436	0	0.9764	0.999

**Gambar 4. 5** Partisipasi massa pada analisa gempa hasil ETABS

Hasil analisis menunjukkan bahwa partisipasi massa mencapai 97,61% pada arah X dan 99% pada arah Y dengan jumlah 38 mode getar, sehingga telah memenuhi ketentuan minimum yang dipersyaratkan ( $\geq 90\%$ )

a. Penskalaan pada gaya gempa

Penskalaan pada analisis gempa dengan metode MRSA dilakukan untuk menyesuaikan hasil gaya gempa dinamis agar tidak lebih kecil dari hasil analisis statik ekuivalen. Jika gaya geser dasar yang diperoleh lebih rendah dari nilai yang disyaratkan, maka perlu diberikan faktor skala. Hal ini bertujuan agar hasil analisis tetap konservatif dan memenuhi ketentuan perencanaan struktur.

1) Gaya geser statik

$$V_x = 3983.3114 \text{ kN}$$

$$V_y = 3983.3090 \text{ kN}$$

## 2) Faktor penskalaan awal

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{g}{R/I} \\
 &= \frac{9,80665}{8/3} \\
 &= 1.22583125 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1225.83125 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

## 3) Gaya geser dinamik

$$\begin{aligned}
 V_{LX} &= 1686.6783 \\
 V_{LY} &= 1816.7561
 \end{aligned}$$

## 4) Penskalaan gaya gempa

$$\begin{aligned}
 F_x &= \max\left(1, \frac{V_x}{V_{Lx}}\right) \\
 &= \max\left(1, \frac{3983,3114}{1686,6783}\right) \\
 &= 2,362 \\
 F_y &= \max\left(1, \frac{V_y}{V_{Ly}}\right) \\
 &= \max\left(1, \frac{3983,309}{1816,7651}\right) \\
 &= 2,193
 \end{aligned}$$

## 5) Faktor penskalaan untuk gaya

$$\begin{aligned}
 S_{F_x} &= SF \times F_x \\
 &= 1225.83125 \times 2,362 \\
 &= 2894.960819 \text{ mm/s}^2 \\
 S_{F_y} &= SF \times F_y \\
 &= 1225.83125 \times 2,193 \\
 &= 2687.683091 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

## b. Penskalaan simpangan

Penskalaan simpangan adalah penyesuaian nilai perpindahan hasil analisis agar memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan. Jika hasil analisis terlalu kecil, maka dikalikan dengan faktor skala agar evaluasi deformasi tetap akurat dan aman berdasarkan SNI 1726:2019.

## 1) Faktor skala awal

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

## c. Simpangan antar tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, nilai simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi batas simpangan yang diizinkan. Berikut merupakan table Simpangan Antar Tingkat.

**Tabel 4. 32** Acuan simpangan antar tingkat Berdasarkan SNI

Struktur	Kategori risiko I atau II	Kategori risiko III	Kategori risiko 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	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber SNI 1726:2019)

Hasil simpangan antar lantai pada arah X dan arah Y yang didapatkan dari analisis menggunakan ETABS dapat dilihat pada **Tabel 4.33** Hasil Simpangan antar tingkat.

d. Pengaruh *P Delta*

Mengacu pada SNI 1726:2019, efek *P Delta* harus diperhitungkan guna menjamin kestabilan struktur terhadap kombinasi gaya aksial dan perpindahan lateral. Suatu struktur dapat dikategorikan aman apabila pengaruh *P Delta* masih berada dalam batas yang diperkenankan, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 4.33**. Berikut merupakan tabel Hasil Simpangan Antar Tingkat.

**Tabel 4. 33** Hasil simpangan antar tingkat menggunakan ETABS

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelestic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
lt atap tangga	40.353	41.041	0.745	4.491	4100	4.098	24.701	63.077	OK
lt dak atap	39.608	36.550	4.162	4.764	5250	22.891	26.202	80.769	OK
lt 5	35.446	31.786	5.617	5.259	4500	30.894	28.925	69.231	OK

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
lt 4	29.829	26.527	7.208	6.939	4500	39.644	38.165	69.231	OK
lt 3	22.621	19.588	8.687	7.959	4500	47.779	43.775	69.231	OK
lt 2	13.934	11.629	10.373	8.275	5000	57.052	45.513	76.923	OK
lt 1	3.561	3.354	3.342	3.118	3550	18.381	17.149	54.615	OK
lt dasar	0.219	0.236	0.219	0.236	1000	1.205	1.298	15.385	OK
base	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	

Berdasarkan **Tabel 4.33**, hasil pemeriksaan simpangan antar tingkat (*story drift*) menunjukkan bahwa perpindahan struktur pada arah X dan Y masih berada dalam batas yang diperkenankan. Nilai *elastic drift* yang diperoleh kemudian dikalikan dengan faktor modifikasi gempa untuk mendapatkan nilai *inelastic drift* ( $\Delta_x$  dan  $\Delta_y$ ) yang merepresentasikan respons struktur akibat pengaruh gempa. Hasil analisis memperlihatkan bahwa simpangan maksimum terjadi pada lantai 2 dengan nilai *inelastic drift* sebesar 57.052 mm pada arah X dan 45.513 mm pada arah Y. Pada lantai lainnya, nilai simpangan terlihat semakin kecil. Seluruh hasil simpangan masih lebih rendah dibandingkan batas simpangan izin (*drift limit*), yaitu berkisar antara 15.385 mm hingga 80.769 mm sesuai tinggi tiap lantai. Dengan demikian, struktur dinyatakan memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat yang ditetapkan. Oleh karena itu, seluruh lantai dinyatakan telah memenuhi persyaratan batas simpangan antar tingkat dengan kategori "OK". Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur mempunyai tingkat kekakuan yang cukup baik serta mampu membatasi deformasi akibat pengaruh gempa sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan

**Tabel 4. 34** Hasil pengaruh *P Delta* menggunakan ETABS

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_x$	$\Delta_y$	<i>P</i>	<i>V<sub>x</sub></i>	<i>V<sub>y</sub></i>		$\theta_x$	$\theta_y$			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)			
atap	40.353	41.041	744.549	224.706	228.8611	4100	0.0059	0.0059	0.10	0.09091	<b>OK</b>
7	39.608	36.55	6915.49	1098.47	1112.183	5250	0.0086	0.0079	0.10	0.09091	<b>OK</b>
6	35.446	31.786	19832.9	1939.9	1957.805	4500	0.0146	0.0130	0.10	0.09091	<b>OK</b>
5	29.829	26.527	32141.7	2481.22	2508.655	4500	0.0156	0.0137	0.10	0.09091	<b>OK</b>
4	22.621	19.588	44319.3	2969.98	3002.182	4500	0.0136	0.0117	0.10	0.09091	<b>OK</b>
3	13.934	11.629	58327.4	3497.15	3513.267	5000	0.0085	0.0070	0.10	0.09091	<b>OK</b>
2	3.561	3.354	72536.5	3802.62	3803.964	3550	0.0035	0.0033	0.10	0.09091	<b>OK</b>
1	0.219	0.236	91283.3	3983.31	3983.313	1000	0.0009	0.0010	0.10	0.09091	<b>OK</b>
base	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0.09091	<b>OK</b>

Berdasarkan **Tabel 4.34**, hasil analisis pengaruh *P Delta* memperlihatkan bahwa nilai simpangan inelastik ( $\Delta_x$  dan  $\Delta_y$ ) pada setiap lantai tergolong kecil. Simpangan terbesar terjadi pada lantai Atap, dengan nilai mencapai 40.353 mm pada arah X dan 41.041 mm pada arah Y. Gaya dalam struktur, seperti gaya aksial (*P*) serta gaya geser pada arah X (*V<sub>x</sub>*) dan Y (*V<sub>y</sub>*), cenderung meningkat dari lantai atas menuju lantai bawah akibat akumulasi beban dari tingkat di atasnya. Selain itu, hasil perhitungan koefisien stabilitas ( $\theta_x$  dan  $\theta_y$ ) pada seluruh lantai menunjukkan nilai sebesar 0,01 pada arah X dan 0,00 pada arah Y. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah batas pengaruh *P Delta* sebesar 0,10 maupun batas stabilitas maksimum struktur ( $\theta_{max}$ ) sebesar 0,09091. Dengan demikian, seluruh tingkat dinyatakan memenuhi persyaratan stabilitas dengan kategori “OK”. Kondisi ini menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan dan stabilitas yang cukup baik serta mampu menahan efek sekunder akibat pembebanan secara aman.

## 4.6 Hasil Desain Struktur Atas

Tahap hasil desain struktur atas menyajikan ukuran penampang serta perencanaan tulangan pada elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat lantai. Penentuan tersebut didasarkan pada hasil analisis struktur dengan mempertimbangkan kombinasi pembebanan yang bekerja. Perencanaan tulangan dilakukan agar setiap elemen mampu menahan gaya dalam berupa gaya aksial, geser, dan momen. Dengan demikian, struktur yang dirancang diharapkan memenuhi ketentuan kekuatan, kekakuan, dan kestabilan yang dipersyaratkan.

### 5.6.1 Desain Tulangan Balok

#### 1. Data Perencanaan

Tipe Balok	= B1
Panjang Balok, L	= 9000 mm
Lebar Balok, b	= 450 mm
Tinggi Balok, h	= 800 mm
Panjang Tumpuan	= 1600 mm
Diameter Tulangan <i>Longitudinal</i> , $d_b$	= 22 mm
Diameter Tulangan Pinggang, $d_{bt}$	= 16 mm
Diameter Tulangan Sengkang, $d_s$	= 10 mm
Selimit Beton, $C_c$	= 40 mm
Tinggi Efektif Balok, d	= $h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}$ = $800 - 40 - 10 - \frac{22}{2}$ = 739 mm
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	= 30 MPa
Kuat Leleh Tul. <i>Longitudinal</i> , $f_y$	= 420 MPa
Kuat Leleh Tul. <i>Transversal</i> , $f_{yv}$	= 420 MPa
$\beta_1$	= 0,835
Panjang Kolom, $c_1$	= 750 mm
Lebar Kolom, $c_2$	= 750 mm

$$\begin{aligned}
 L_n &= L - C_1/2 - C_2/2 \\
 &= 9000 - 750/2 - 750/2 \\
 &= 8250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\lambda = 1$$

## 2. Gaya Dalam

$$M_u \text{ Tumpuan (-)} = 885,4827 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Tumpuan (+)} = 419,8096 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan (-)} = 808,4665 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan (-)} = 459,003 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ Tumpuan} = 481,9529 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ Lapangan} = 453,0641 \text{ kNm}$$

$$T_u = 382,3027 \text{ kNm}$$

## 3. Syarat Gaya dan Geometri

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat Tinggi Efektif} &= L_n > 4d \\
 &= 8250 > 4(739) \\
 &= 8250 > 2956 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat Lebar 1} &= b > \min(0,3h, 250 \text{ mm}) \\
 &= 450 > \min(0,3(800), 250 \text{ mm}) \\
 &= 450 > 240 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat Lebar 2} &= b \leq c_2 + 2 \times \min(c_2, 0,75c_1) \\
 &= 450 \leq 750 + 2 \times \min(750; 0,75(750)) \\
 &= 450 \leq 1875 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

## 4. Desain Tulangan Lentur

### a. Tumpuan Negatif

$$\text{Jumlah Tulangan, } n = 10$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{450 - 2(40) - 2(10) - 10(22)}{9} \\
 &= 14,444 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih	= Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm = 14,444 $\geq$ 25 mm <b>TIDAK</b>
Jumlah Lapis	= 2
As Pasang	= $n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$ = $10 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2$ = 3801,327 mm <sup>2</sup>
$As_{min 1}$	= $\frac{f_c'^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d$ = $\frac{30^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 739$ = 1084,197 mm <sup>2</sup>
$As_{min 2}$	= $\frac{1,4}{4 \times f_y} \times b \times d$ = $\frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 739$ = 1108,500 mm <sup>2</sup>
Cek $As_{min}$	= As Pasang $\geq \max(As_{min 1}, As_{min 2})$ = 3801,327 $\geq$ 1108,500 <b>OK</b>
$\rho$	= $\frac{3801,327}{450 \times 739}$ = 1,14%
$P_{max 1}$	= $\frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times ( \frac{600}{600} + f_y )}$ = $\frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{176820}$ = 2,24%
$P_{max 2}$	= 2,5%
Cek $As_{max}$	= $\rho \leq \max(P_{max 1}, P_{max 2})$ = 2,24% $\leq$ 2,5% <b>OK</b>
a	= $As \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)}$ = 3801,327 $\times \frac{420}{(0,85 \times 30 \times 450)}$

$$\begin{aligned}
M_n &= 139,134 \text{ mm} \\
&= A_s \times f_y \times (d - a/s) \\
&= 3801,327 \times 420 \times \left( (739 - \frac{139,134}{2}) \right) / 10^6 \\
&= 1068,789 \text{ kNm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{139,134}{0,8357} \\
&= 166,485 \text{ mm} \\
\epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\
&= \frac{(739 - 166,485)}{166,485} \times 0,003 \\
&= 0,010 \\
\Phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
&= 0,65 \leq 0,65 + \frac{0,010 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\
&\leq 0,9 \\
&= 0,900 \\
\Phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,9 \times 1068,789 \\
&= 961,910 \text{ kNm} \\
M_u \text{ Tumpuan (-)} &= 885,483 \text{ kNm} \\
\text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u \\
&= 961,910 > 885,483 \quad \text{OK} \\
\text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - a/2)} \\
&= \frac{885,483}{420 \times (669,433) / 10^6} \\
&= 3149,369 \text{ mm}^2 \\
\text{b. Tumpuan Positif} & \\
\text{Jumlah Tulangan, n} &= 5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_b &= 22 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{450 - 2(40) - 2(10) - 6(22)}{4} \\
 &= 60,000 \text{ mm} \\
 \text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} \\
 &= 60,000 \geq 25 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
 \text{Jumlah Lapis} &= 1 \\
 \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2 \\
 A_{S_{\min 1}} &= \frac{f_c'^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{30^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 739 \\
 &= 1084,197 \text{ mm}^2 \\
 A_{S_{\min 2}} &= \frac{1,4}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 739 \\
 &= 1108,500 \text{ mm}^2 \\
 A_{S_{\min 4}} &= 0,5 \times A_{S_{\text{tumpuan negatif}}} \\
 &= 0,5 \times 3801,327 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_{S_{\min}} &= A_{S_{\text{Pasang}}} \geq A_{S_{\min}} \\
 &= 1900,664 \geq 1900,664 \quad \mathbf{OK} \\
 P &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1900,664}{450 \times 739} \\
 &= 0.57\% \\
 P_{\max 1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c' / \\
 & \quad f_y \times \left( \frac{600}{600} + f_y \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{176820} \\
 &= 2,24\% \\
 P_{\max 2} &= 2,5\% \\
 \text{Cek } A_{s_{\max}} &= \rho \leq \rho_{\max} \\
 &= 2,24\% \leq 2,5\% \quad \mathbf{OK} \\
 a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\
 &= 1900,664 \times 420 / (0,85 \times 30 \times 450) \\
 &= 69,567 \text{ mm} \\
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/s) \\
 &= 1900,664 \times 420 \times ((739 - \frac{69,567}{2})) \\
 & \quad / \quad 10^6 \\
 &= 562,161 \text{ kNm} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= \frac{69,567}{0,8357} \\
 &= 83,242 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\
 &= \frac{(739 - 83,242)}{83,242} \times 0,003 \\
 &= 0,024 \\
 \Phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
 &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{0,024 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq \\
 & \quad 0,9 \\
 &= 0,9 \\
 \Phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 562,161 \\
 &= 505,945 \text{ kNm} \\
 M_u \text{ Tumpuan (+)} &= 419,810 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas	$= \phi M_n > M_u$	
	$= 505,945 > 419,810$	<b>OK</b>
As Perlu	$= \frac{M_u}{f_y \times (d - a/2)}$	
	$= \frac{419,810}{420 \times (669,433) / 10^6}$	
	$= 1419,374 \text{ mm}^2$	
c. Lapangan Negatif		
Jumlah Tulangan, n	$= 9$	
$d_b$	$= 22 \text{ mm}$	
Jarak Bersih Antar Tulangan	$= \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1}$	
	$= \frac{450 - 2(40) - 2(10) - 9(30)}{8}$	
	$= 19,000 \text{ mm}$	
Cek Jarak Bersih	$= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$	
	$= 19,000 \geq 25 \text{ mm}$	<b>TIDAK</b>
Jumlah Lapis	$= 2$	
As Pasang	$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$	
	$= 9 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2$	
	$= 3421,194 \text{ mm}^2$	
$A_{S_{\min 1}}$	$= \frac{f_c'^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d$	
	$= \frac{30^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 739$	
	$= 1084,197 \text{ mm}^2$	
$A_{S_{\min 2}}$	$= \frac{1,4}{4 \times f_y} \times b \times d$	
	$= \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 739$	
	$= 1108,500 \text{ mm}^2$	
$A_{S_{\min 4}}$	$= 0,25 \times A_{S_{\text{tumpuan negatif}}}$	
	$= 0,25 \times 3801,327$	
	$= 950,332 \text{ mm}^2$	

$$\begin{aligned}
\text{Cek } A_{s_{min}} &= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min} \\
&= 3421,194 \geq 950,332 \quad \mathbf{OK} \\
P &= \frac{A_s}{b \times d} \\
&= \frac{3421,194}{450 \times 739} \\
&= 1,03\% \\
P_{\max 1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c' / f_y \times \\
&\quad \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{176820} \\
&= 2,24\% \\
P_{\max 2} &= 2,5\% \\
\text{Cek } A_{s_{max}} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\
&= 2,24\% \leq 2,5\% \quad \mathbf{OK} \\
a &= A_s \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)} \\
&= 3421,194 \times \frac{420}{(0,85 \times 30 \times 450)} \\
&= 125,220 \text{ mm} \\
M_n &= A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
&= 3421,194 \times 420 \times \left( 739 - \frac{125,220}{2} \right) \\
&\quad / 10^6 \\
&= 971,906 \text{ kNm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{125,220}{0,8357} \\
&= 149,836 \text{ mm} \\
\epsilon_s &= \frac{(d - c)}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(739 - 149,836)}{149,836} \times 0,003 \\
&= 0,012
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{0,012 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq \\ &0,9 \\ &= 0,9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 971,906 \\ &= 874,715 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u \text{ Lapangan (-)} = 808,467 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u \\ &= 874,715 > 808,467 \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y} \times (d - a/s) \\ &= \frac{808,467}{420 \times (669,433) / 10^6} \\ &= 2845,874 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

d. Lapangan Positif

$$\text{Jumlah Tulangan, } n = 5$$

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

$$\begin{aligned}\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{450 - 2(40) - 2(10) - 6(22)}{4}\end{aligned}$$

$$= 60,000 \text{ mm}$$

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

$$= 60,000 \geq 25 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

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

$$\begin{aligned}\text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 1900,664 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{S_{\min 1}} = \frac{f_c'{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{30^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 739 \\
 &= 1084,197 \text{ mm}^2 \\
 A_{S_{\min 2}} &= \frac{1,4}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 739 \\
 &= 1108,500 \text{ mm}^2 \\
 A_{S_{\min 4}} &= 0,25 \times A_{S_{\text{tumpuan negatif}}} \\
 &= 0,25 \times 3801,327 \\
 &= 950,332 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_{S_{\min}} &= A_{S_{\text{Pasang}}} \geq A_{S_{\min}} \\
 &= 1900,664 \geq 950,332 \quad \mathbf{OK} \\
 P &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1900,664}{450 \times 739} \\
 &= 0,57\% \\
 P_{\max 1} &= 0,75 \times \rho b \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c' / f_y \times \\
 &\quad \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{176820} \\
 &= 2,24\% \\
 P_{\max 2} &= 2,5\% \\
 \text{Cek } A_{S_{\max}} &= \rho \leq \rho_{\max} \\
 &= 2,24\% \leq 2,5\% \quad \mathbf{OK} \\
 a &= A_s \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)} \\
 &= 2454,369 \times \frac{420}{(0,85 \times 30 \times 450)} \\
 &= 69,567 \text{ mm} \\
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1900,664 \times 420 \times \left(739 - \frac{169,567}{2}\right) \\
&\quad / 10^6 \\
&= 562,161 \text{ kNm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{69,567}{0,8357} \\
&= 83,242 \text{ mm} \\
\epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\
&= \frac{(587,5 - 142,676)}{142,676} \times 0,003 \\
&= 0,024 \\
\Phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
&= 0,65 \leq 0,65 + \frac{0,024 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq \\
&\quad 0,9 \\
&= 0,9 \\
\Phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,9 \times 562,161 \\
&= 505,945 \text{ kNm} \\
M_u \text{ Lapangan (+)} &= 459,003 \text{ kNm} \\
\text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u \\
&= 505,945 > 459,003 \quad \mathbf{OK} \\
\text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y} \times (d - a/s) \\
&= \frac{459,003}{420 \times (669,433) / 10^6} \\
&= 1551,887 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

## 5. Desain Tulangan Geser

### a. Geser Tumpuan

Gaya Desain

$$V_g \text{ Tumpuan} = 382,3027 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
As^+ \text{ Tumpuan} &= 1900,664 \text{ mm}^2 \\
As^- \text{ Tumpuan} &= 3801,327 \text{ mm}^2 \\
apr^+ &= 1,25 \times a \text{ (tumpuan positif)} \\
&= 1,25 \times 69,567 \\
&= 86,958 \text{ mm} \\
apr^- &= 1,25 \times a \text{ (tumpuan negatif)} \\
&= 1,25 \times 139,134 \\
&= 173,917 \text{ mm} \\
Mpr^+ &= As^+ \times (1,25 f_y) \times (d - \frac{apr^+}{2}) \\
&= 1900,664 \times 2,35(420) \times (739 - \frac{86,958}{2}) \\
&= 694024263 \text{ Nmm} \\
Mpr^- &= As^- \times (1,25 f_y) \times (d - \frac{apr^-}{2}) \\
&= 3801,327 \times 2,35(420) \times (739 - \frac{173,917}{2}) \\
&= 1301277165 \text{ Nmm} \\
V_{sway} \text{ atau } V_{pr} &= \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{Ln} \\
&= \frac{694024263 + 130127716}{8250} \\
&= 241855 \\
V_e &= V_g + V_{pr} \\
&= 382,3027 + 241855 \\
&= 624157 \text{ N} \\
\text{Tahanan Geser Beton} & \\
V_{pr} &= 241855 \text{ N} \\
\frac{1}{2} V_e &= 312079 \text{ N} \\
Pu &= 0 \text{ N} \\
A_g \times \frac{f'_c}{20} &= 540000 \text{ N} \\
V_c \text{ Diperhitungkan} &= V_c = 0 \text{ jika } V_{pr} \geq \frac{1}{2} V_e \text{ dan } Pu < A_g \times \frac{f'_c}{20} \\
&= \mathbf{IYA}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 309647 \text{ N} \\
 \text{Penulangan Geser} & \\
 \text{Jumlah Kaki} &= 2 \\
 A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 157,080 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi} &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 1} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{739}{4} \\
 &= 184,75 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 2} &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 3} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi} &= \text{Spasi} \leq \min (\text{Spasi Max 1, Spasi} \\
 \text{Max 2, Spasi Max 3}) & \\
 &= 75 \leq 184,75 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
 V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\
 &= 157,080 \times 420 \times \frac{739}{2} \\
 &= 650058 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times f_c'^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times 30^{0,5} \times 450 \times 739 \\
 &= 1202158 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_n &= V_c + \min (V_s, \text{Batas } V_s) \\
 &= 309647 + 650058 \\
 &= 959705 \text{ N} \\
 V_u &= 624157 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u = 1,153$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kapasitas} &= \phi V_n / V_u \geq 1 \\ &= 1,153 \geq 1 \end{aligned}$$

**OK**

## b. Geser Lapangan

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah Kaki} = 2$$

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \pi/4 \times d_s^2 \\ &= 2 \times \pi/4 \times 10^2 \\ &= 157,080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max} &= d/2 \\ &= \frac{739}{2} \\ &= 369,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Spasi} &= \text{Spasi} \leq \text{Spasi Max} \\ &= 125 \leq 369,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

**OK**

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_{yv} \times d/s \\ &= 157,080 \times 420 \times \frac{739}{2} \\ &= 390035 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times f_c'^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 30^{0,5} \times 450 \times 739 \\ &= 1202158 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times f_c'^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 30^{0,5} \times 450 \times 739 \\ &= 309647 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + \min(V_s, \text{Batas } V_s) \\ &= 309647 + 1202158 \\ &= 699682 \end{aligned}$$

$$V_u = 453064,1 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = 1,158$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi V_n / V_u \geq 1$$

$$= 1,158 \geq 1$$

**OK**

## 6. Desain Tulangan Torsi

### Parameter Geometri Penampang

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 450 \times 800 \\ &= 360000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (450 + 800) \\ &= 2500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 450 - 2(40) - 10 \\ &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 850 - 2(40) - 10 \\ &= 710 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= X_o \times Y_o \\ &= 350 \times 710 \\ &= 255600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \times 255600 \\ &= 217260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\ &= 2 \times (350 + 710) \\ &= 2140 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$T_{cr} = 0,33 \times f_c'^{0,5} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= 0,33 \times 30^{0,5} \times \frac{360000^2}{2500}$$

$$= 93699993 \text{ Nmm}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$\phi \frac{T_{cr}}{4} = 17568749 \text{ Nmm}$$

Pengecekan Tulangan Torsi  $= T_u > \phi \frac{T_{cr}}{4}$

$$= 185.0992 \times 10^6 > 17568749 \quad \mathbf{IYA}$$

Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis Torsi = Kompabilitas

$T_u$  Pakai = 70274995 Nmm

$V_u$  = 624157 N

$V_c$  =  $0,17 \times f_c'^{0,5} \times b \times d$

$$= 0,17 \times 30^{0,5} \times 450 \times 739$$

$$= 309647 \text{ N}$$

Tegangan Ultimate Geser+Torsi  $= \left( \frac{V_u^2}{b \times d} + \frac{T_u \times P_h^2}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^{0,5}$

$$= \left( \frac{624157^2}{450 \times 739} + \frac{70274995 \times 2140^2}{1,7 \times 255600} \right)^{0,5}$$

$$= 2,314$$

Kapasitas Tegangan Beton  $= \phi \times \left( \frac{V_u}{b \times d} + 0,66 \times f_c'^{0,5} \right)$

$$= 0,75 \times \left( \frac{624157}{450 \times 739} + 0,66 \times 30^{0,5} \right)$$

$$= 3,410$$

Cek Dimensi Penampang = Ruas Kiri  $\leq$  Ruas Kanan

$$= 2,314 \leq 3,410 \quad \mathbf{OK}$$

Parameter Umum Lainnya =

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = 1$$

a. Desain Penulangan *Transversal* Torsi

n kaki tumpuan = 2 kaki

n kaki lapangan = 2 kaki

s Tumpuan = 75 mm

$$\begin{aligned}
s \text{ Lapangan} &= 125 \text{ mm} \\
s \text{ max 1} &= P_h/8 \\
&= 268 \text{ mm} \\
s \text{ max 2} &= 300 \text{ mm} \\
\text{Cek spasi tumpuan} &= s \text{ Tumpuan} \leq \min (s \text{ max 1}, s \text{ max 2}) \\
&= 75 \leq 268 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
\text{Cek Spasi Lapangan} &= s \text{ Lapangan} \leq \min (s \text{ max 1}, s \text{ max 2}) \\
&= 125 \leq 300 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Pasang} &= n \times \pi/4 \times d_s^2/s \\
&= 2 \times \pi/4 \times 10^2/75 \\
&= 13404,129 \text{ mm} \\
A_{v+t}/s \text{ Lapangan Pasang} &= n \times \pi/4 \times d_s^2/s \\
&= 2 \times \pi/4 \times 10^2/125 \\
&= 8042,477 \text{ mm} \\
A_t/s &= T_u / (2 \times \varphi \times A_o \times f_{yv}) \\
&= \frac{70274995}{136873800} \\
&= 0,513 \text{ mm} \\
A_v/s \text{ Tumpuan Perlu} &= \frac{V_u \text{Tum}}{\varphi \times V_c} / (f_{yv} \times d) \\
&= 1,684 \text{ mm} \\
A_v/s \text{ Lapangan Perlu} &= \frac{V_u \text{Lap}}{\varphi \times V_c} / (f_{yv} \times d) \\
&= 0,949 \text{ m} \\
A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Perlu} &= 2 \times A_t/s + A_v/s \\
&= 2,710 \\
A_{v+t}/s \text{ Lapangan Perlu} &= 2 \times A_t/s + A_v/s \\
&= 1,975
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t}/s \text{ min 1} &= 0,062 \times f_c'^{0,5} \times b/f_{yv} \\
 &= 0,062 \times 30^{0,5} \times \frac{450}{420} \\
 &= 0,364
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t}/s \text{ min 2} &= 0,35 \times b/f_{yv} \\
 &= 0,35 \times \frac{450}{420} \\
 &= 0,375
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Geser + Torsi Tumpuan} &= A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Pasang} \geq \\
 &A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Perlu} \\
 &= 13404,129 \geq 2,710 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Geser + Torsi Lapangan} &= A_{v+t}/s \text{ Lapangan Pasang} \geq \\
 &A_{v+t}/s \text{ Lapangan Perlu} \\
 &= 8042,477 \geq 1,975 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perencanaan ulang menunjukkan bahwa nilai momen pada balok diperoleh melalui hasil analisis struktur menggunakan ETABS, kemudian data tersebut diolah kembali menggunakan *Microsoft Excel* untuk menentukan kebutuhan penulangan balok. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dimensi balok pada perencanaan ulang mengalami pengurangan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Meskipun dimensi balok dibuat lebih kecil, hasil analisis menunjukkan bahwa elemen struktur tetap memiliki kapasitas yang memadai dalam menahan beban kerja yang direncanakan. Selain itu, perencanaan balok masih memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan keamanan sesuai ketentuan SNI 2847:2019. Berikut rekapitulasi hasil perhitungan tulangan balok disajikan pada tabel berikut dan detail gambar penulangan balok.

Tabel 4. 35 Rekapitulasi hasil momen *Tie Beam* menggunakan ETABS

Kode Balok	Tingkat	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)		
		Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Vu Tumpuan	Vu Lapangan	Vg Tumpuan (1,2D+1L)
TB1 (40x80)	10m	-712.0299	422.7823	-633.8737	403.3194	448.626	443.6653	387.6306
	9m	-712.0299	422.7823	-633.8737	403.3194	448.626	435.4771	387.6306
TB2 (35x70)	7.95m	-486.4899	233.3125	-425.6131	275.0923	354.4621	357.6502	302.538
TB3 (35x65) anak	10m	-267.4391	82.0908	-156.6285	171.2506	199.3402	196.8963	166.8391
TB3 (35x65) induk	8m	-249.1975	93.8846	-174.5472	153.2791	193.8397	134.5077	166.8873
	7.95m	-249.1975	115.4037	-174.5472	153.2791	193.8397	134.5077	166.8873
TB4 (35x60) anak	8m	-221.8758	43.3246	-18.6939	113.583	129.0232	90.3275	108.0081
	7.95m	-221.8758	43.3246	-18.6939	113.583	129.0232	90.3275	108.0081
TB5 (30x55) induk	6.45m	-192.3742	61.9888	-196.6287	164.134	178.2131	262.0689	152.5248
	5.95m	-192.3742	61.9888	-196.6287	164.134	178.2131	262.0689	152.5248
TB5 (30x55) anak	7.95m	-166.3115	66.8818	-104.9113	159.0143	164.6077	162.8602	152.6607
	6.45m	-166.3115	47.3507	-101.8527	159.0143	164.6077	154.1066	152.6607
	5.95m	-166.3115	57.7667	-101.8527	159.0143	164.6077	154.1066	152.6607
TB6 (25x50) anak	4.56m	-89.5375	25.7126	-49.8252	92.8434	80.9779	76.9532	68.824
TB6 (25x50) anak	3.75m	-89.5375	38.471	-16.4186	92.8434	80.9779	71.5426	68.824
TB6 (25x50) induk	3.39m	-168.3631	31.8236	-36.3198	18.7337	187.1219	42.6864	119.3055
TB7 (25x40) anak	2.65m	-63.5571	23.5721	-24.4243	30.9824	61.2653	36.566	56.4329
TB7 (25x40) induk	3.75m	-61.2379	28.6411	-65.7116	33.1108	56.6578	62.5738	51.3588
TB7 (25x40) induk	2.01m	-65.7116	33.1108	-22.3839	29.5546	62.5738	45.0686	56.4354

Tabel 4. 36 Rekapitulasi hasil momen balok menggunakan ETABS

Kode Balok	Tingkat	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)		
		Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Vu Tumpuan	Vu Lapangan	Vg Tumpuan (1,2D+1L)
B1 (45x75)	LT1-LT 5	-885.4827	419.8096	-808.4665	459.003	481.9529	453.0641	382.3027
B2 (40x85)	LT1-LT5	-918.907	160.4759	-204.9038	486.9513	551.3603	503.0667	449.0935
B3 (40x70)	LT1-LT5 (8m)	-711.1875	391.3256	-435.6111	357.0588	467.945	477.7431	352.526
	LT1-LT5 (7.95m)	-711.1875	391.3256	-435.6111	357.0588	467.945	477.7431	352.526
B4 (30x65) anak	LT1-LT5	-274.4353	76.5991	-33.1182	187.0842	160.5071	114.4141	145.9003
B5 (30x60)	LT1-LT5 (6.45m)	-270.1251	163.5216	-254.9566	191.4646	235.2576	256.8559	170.8665
	LT1-LT5 (5.95m)	-270.1251	163.5216	-254.9566	191.4646	235.2576	256.8559	170.8665
B6 (30x55)	LT1-LT5	-203.3604	123.7694	-121.1807	117.0531	213.9886	217.4354	129.2951
B7 (25x55) anak	LT1-LT5 (8m)	-195.8662	41.3564	-102.4069	104.0733	122.0946	85.7051	99.1507
	LT1-LT5 (7.95m)	-195.8662	41.3564	-102.4069	104.0733	122.0946	85.7051	99.1507
	LT1-LT5 (6.45m)	-195.8662	41.3564	-102.4069	104.0733	122.0946	82.2236	99.1507
B8 (35x50) anak	LT1-LT5 (7.95m)	-166.5402	79.6447	-139.7399	120.6068	312.2108	201.4698	268.3421
	LT1-LT5 (5.95m)	-166.5402	79.6447	-139.7399	120.6068	312.2108	201.4698	268.3421
	LT1-LT5 (3.75m)	-166.5402	120.5971	-139.7399	97.4695	312.2108	201.4698	268.3421
BDA1 (40x75) induk	LT DAK (10m)	-558.9508	188.6425	-454.4333	283.8008	336.6506	333.7204	248.3384
BDA1 (40x75) induk	LT DAK (9m)	-558.9508	188.6425	-454.4333	283.8008	336.6506	333.7204	248.3384
BDA1 (40x75) induk	LT DAK (7.95m)	-558.9508	188.6425	-454.4333	283.8008	336.6506	333.7204	248.3384
BDA1 (40x75) kantilever	LT DAK (3.15m)	-289.3784	411.4722	-297.9133	393.6085	285.3966	296.9534	67.9139
BDA2 (35x70) anak	LT DAK (10m)	-197.298	80.5497	-61.3371	88.1145	171.301	110.7392	155.02
BDA2 (35x70) induk	LT DAK (7.95m)	-435.4496	174.1882	-150.946	183.0363	274.2117	242.8056	147.3955

Kode Balok	Tingkat	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)		
		Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Vu Tumpuan	Vu Lapangan	Vg Tumpuan (1,2D+1L)
BDA3 (35x65) anak	LT DAK (7.95m)	-234.288	62.0162	-21.2079	115.7892	141.8306	69.9448	121.9986
BDA3 (35x65) induk	LT DAK (5.95m)	-351.0251	228.8002	-145.4073	164.4683	226.3104	196.1149	109.593
BDA4 (30x60) anak	LT DAK (8m)	-152.6007	32.9614	-1.9408	71.5481	89.757	62.5331	80.1601
BDA5 (30x55) induk	LT DAK (8m)	-233.5505	109.2523	-128.5035	248.4645	534.9693	150.4266	98.0451
	LT DAK (7.95m)	-233.5505	109.2523	-121.1667	248.4645	534.9693	150.4266	98.0451
BDA5 (30x55) anak	LT DAK (7.95m)	-155.8999	71.9009	-78.4261	123.5107	98.1846	95.137	82.7219
	LT DAK (5.95m)	-155.8999	71.9009	-78.4261	123.5107	98.1846	95.137	82.7219
	LT DAK (5.55m)	-155.8999	71.9009	-78.4261	123.5107	98.1846	95.137	82.7219
BDA6 (25x50) anak	LT DAK (3.175m)	-40.4011	27.7065	-33.4831	19.8663	110.0754	29.7619	96.5144
	LT DAK (2.55m)	-40.4011	27.7065	-33.4831	19.8663	110.0754	29.7619	96.5144
BDA7 (25x45) kantilever	LT DAK	-26.617	2.1887	-26.6282	2.1834	28.4839	28.49	21.7441
BDA8 (25x40) induk	LT DAK (3.34m)	-123.728	74.3093	-40.1015	46.5369	79.5144	48.9894	31.4533
	LT DAK (2.17m)	-123.728	74.3093	-40.1015	18.8883	79.5144	48.9894	31.4533
BDA8 (25x40) anak	LT DAK (2.17m)	-10.2558	13.5548	-0.5817	14.1842	25.0614	23.6139	19.9181
BK1 (20x40) bordes	LT DASAR-LT5 (4.56m)	-90.4386	73.7945	-99.4345	79.5391	75.8818	65.944	29.9601
BK1 (20x40) induk	LT ATAP (10m)	-47.3154	39.0482	-46.222	36.9409	46.3803	49.4746	31.5533
BK1 (20x40) anak kantilever	LT DAK (9m)	-19.1879	16.0097	-20.5165	14.8094	22.8254	23.1668	21.2147
BK1 (20x40) induk	LT 1-LT ATAP (3.85m)	-37.0015	22.1353	-15.0739	19.745	37.575	30.458	21.3597
BK1 (20x40) induk	LT DAK (3m)	-47.3154	36.9409	-10.8669	18.4511	43.0275	40.3268	31.5533
BK1 (20x40) kantilever	LT ATAP (2.2m)	-29.7424	26.1742	-35.3994	22.4982	35.869	30.7028	24.1539

Kode Balok	Tingkat	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)		
		Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Vu Tumpuan	Vu Lapangan	Vg Tumpuan (1,2D+1L)
BK2 (20x35) induk	LT DAK (2.2m)	-56.1104	48.0803	-7.2009	6.9014	60.9816	53.6388	23.5563
BK2 (20x35) anak	LT DAK (2.2m)	-16.8182	3.8910	-9.1919	2.0106	13.2482	11.7984	12.2398
BK2 (20x35) kantilever	LT DAK (1.7m)	-23.7962	3.826	-13.774	1.8729	22.937	21.8977	18.7885
BK2 (20x35) anak	LT DAK (1.7m)	39.033	0.9030	-26.6005	4.8107	29.7548	28.9146	25.4889

Tabel 4. 37 Rekap desain tulangan *Longitudinal*

Type	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
TB1	400x800	Tump	Atas	712.03	2517.575	959.819	981.333	22	8	3041	OK	OK	8D22
			Bawah	500.67	1444.497			22	5	1901	OK	OK	5D22
		Lap	Atas	685.19	2215.483			22	7	2661	OK	OK	7D22
			Bawah	405.03	1362.695	959.819	981.333	22	4	1521	OK	OK	4D22
TB2	350x750	Tump	Atas	502.05	1989.080	725.732	742.000	22	6	2281	OK	OK	6D22
			Bawah	262.59	911.911			22	3	1140	OK	OK	3D22
		Lap	Atas	502.05	1740.177			22	6	2281	OK	OK	6D22
			Bawah	344.98	1091.231	725.732	742.000	22	4	1521	OK	OK	4D22
TB3A	350x650	Tump	Atas	298.56	1142.900	673.813	688.917	19	5	1418	OK	OK	5D19
			Bawah	183.42	342.610			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	183.42	653.697			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	183.42	714.723	673.813	688.917	19	3	851	OK	OK	3D19
TB3	350x650	Tump	Atas	298.56	1064.945	673.813	688.917	19	5	1418	OK	OK	5D19

Tipe	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
			Bawah	183.42	391.832			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	183.42	728.481			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	183.42	639.718	673.813	688.917	19	3	851	OK	OK	3D19
TB4A	350x600	Tump	Atas	271.76	1041.669	616.758	630.583	19	5	1418	OK	OK	5D19
			Bawah	167.35	198.187			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	167.35	85.515			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	167.35	519.583	616.758	630.583	19	3	851	OK	OK	3D19
TB5	300x550	Tump	Atas	196.93	997.097	479.746	490.500	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	150.20	315.942			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	196.93	1019.148			19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	196.93	850.725	479.746	490.500	19	4	1134	OK	OK	4D19
TB5A	300x550	Tump	Atas	196.93	862.011	479.746	490.500	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	101.80	335.294			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	150.20	534.707			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	196.93	824.189	479.746	490.500	19	4	1134	OK	OK	4D19
TB6A	250x500	Tump	Atas	132.62	516.835	359.035	367.083	19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	132.62	148.420			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	132.62	287.605			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	132.62	535.918	359.035	367.083	19	3	851	OK	OK	3D19
TB6	250x500	Tump	Atas	172.82	994.353	359.035	367.083	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	132.62	183.695			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	132.62	209.648			19	3	851	OK	OK	3D19

Tipe	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
			Bawah	132.62	108.136	359.035	367.083	19	3	851	OK	OK	3D19
TB7A	250x400	Tump	Atas	68.98	470.220	277.529	283.750	19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	68.98	174.396			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	68.98	180.700			19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	68.98	229.220	277.529	283.750	19	2	567	OK	OK	2D19
TB7	250x400	Tump	Atas	68.98	453.062	277.529	283.750	19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	68.98	211.898			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	68.98	486.160			19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	68.98	244.967	277.529	283.750	19	2	567	OK	OK	2D19
B1	450x750	Tump	Atas	890.06	3403.583	1010.842	1033.500	22	10	3801	OK	OK	10D22
			Bawah	470.02	1527.853			22	5	1901	OK	OK	5D22
		Lap	Atas	810.05	3073.038			22	9	3421	OK	OK	9D22
			Bawah	470.02	1670.493	1010.842	1033.500	22	5	1901	OK	OK	5D22
B2	400x850	Tump	Atas	1021.26	3078.315	1028.936	1052.000	22	10	3801	OK	OK	10D22
			Bawah	538.74	509.537			22	5	1901	OK	OK	5D22
		Lap	Atas	329.99	637.299			22	3	1140	OK	OK	3D22
			Bawah	538.74	1546.148	1028.936	1052.000	22	5	1901	OK	OK	5D22
B3	400x700	Tump	Atas	735.27	2978.213	833.321	852.000	22	9	3421	OK	OK	9D22
			Bawah	430.98	1553.219			22	5	1901	OK	OK	5D22
		Lap	Atas	510.42	1751.850			22	6	2281	OK	OK	6D22
			Bawah	430.98	1417.210	833.321	852.000	22	5	1901	OK	OK	5D22

Tipe	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
B4A	300x650	Tump	Atas	295.58	1184.619	577.554	590.500	19	5	1418	OK	OK	5D19
			Bawah	239.80	326.045			19	4	1134	OK	OK	4D19
		Lap	Atas	239.80	140.968			19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	239.80	796.326	577.554	590.500	19	4	1134	OK	OK	4D19
B5	300x600	Tump	Atas	285.81	1293.398	527.183	539.000	22	4	1521	OK	OK	4D22
			Bawah	218.85	766.872			22	3	1140	OK	OK	3D22
		Lap	Atas	285.81	1220.769			22	4	1521	OK	OK	4D22
			Bawah	218.85	897.917	527.183	539.000	22	3	1140	OK	OK	3D22
B6	300x550	Tump	Atas	257.07	1082.573	478.279	489.000	22	4	1521	OK	OK	4D22
			Bawah	134.53	629.503			22	2	760	OK	OK	2D22
		Lap	Atas	134.53	616.336			22	2	760	OK	OK	2D22
			Bawah	134.53	595.343	478.279	489.000	22	2	760	OK	OK	2D22
B7A	250x550	Tump	Atas	237.82	1050.804	399.789	408.750	19	5	1418	OK	OK	5D19
			Bawah	148.70	212.912			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	148.70	527.213			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	148.70	628.570	399.789	408.750	19	3	851	OK	OK	3D19
B8A	350x500	Tump	Atas	177.40	958.216	502.650	513.917	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	91.56	443.935			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	177.40	804.017			19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	135.20	682.921	502.650	513.917	19	3	851	OK	OK	3D19
B8A'	350x500	Tump	Atas	177.40	958.216	502.650	513.917	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	135.20	682.867			19	3	851	OK	OK	3D19

Tipe	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
		Lap	Atas	177.40	804.017			19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	135.20	551.909	502.650	513.917	19	3	851	OK	OK	3D19
BD1	400x750	Tump	Atas	637.91	2098.394	898.526	918.667	22	7	2661	OK	OK	7D22
			Bawah	378.02	682.914			22	4	1521	OK	OK	4D22
		Lap	Atas	466.90	1664.927			22	5	1901	OK	OK	5D22
			Bawah	286.89	1015.319	898.526	918.667	22	3	1140	OK	OK	3D22
BD1'	400x750	Tump	Atas	354.38	1041.861	900.482	920.667	19	5	1418	OK	OK	5D19
			Bawah	421.50	1494.633			19	6	1701	OK	OK	6D19
		Lap	Atas	354.38	1072.589			19	5	1418	OK	OK	5D19
			Bawah	421.50	1429.745	900.482	920.667	19	6	1701	OK	OK	6D19
BD2A	350x700	Tump	Atas	199.50	757.079	730.867	747.250	19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	199.50	309.088			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	199.50	235.365			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	199.50	338.116	730.867	747.250	19	3	851	OK	OK	3D19
BD2	350x700	Tump	Atas	504.64	1771.270	729.156	745.500	22	6	2281	OK	OK	6D22
			Bawah	263.89	677.485			22	3	1140	OK	OK	3D22
		Lap	Atas	178.50	578.632			22	2	760	OK	OK	2D22
			Bawah	263.89	711.898	729.156	745.500	22	3	1140	OK	OK	3D22
BD3A	3500x650	Tump	Atas	241.70	989.382	673.813	688.917	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	183.42	258.828			19	3	851	OK	OK	3D19
		Lap	Atas	183.42	88.512			19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	183.42	483.252	673.813	688.917	19	3	851	OK	OK	3D19

Tipe	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
BD3	350x650	Tump	Atas	391.04	1535.563	672.101	687.167	22	5	1901	OK	OK	5D22
			Bawah	242.33	969.040			22	3	1140	OK	OK	3D22
		Lap	Atas	164.13	606.200			22	2	760	OK	OK	2D22
			Bawah	242.33	696.574	672.101	687.167	22	3	1140	OK	OK	3D22
BD4A	300x600	Tump	Atas	166.28	702.571	528.650	540.500	19	3	851	OK	OK	3D19
			Bawah	112.52	149.504			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	112.52	8.803			19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	112.52	324.522	528.650	540.500	19	2	567	OK	OK	2D19
BD5	300x550	Tump	Atas	257.07	1243.287	478.279	489.000	22	4	1521	OK	OK	4D22
			Bawah	134.53	555.667			22	2	760	OK	OK	2D22
		Lap	Atas	134.53	653.581			22	2	760	OK	OK	2D22
			Bawah	257.07	1322.681	478.279	489.000	22	4	1521	OK	OK	4D22
BD5A	300x550	Tump	Atas	196.93	808.046	479.746	490.500	19	4	1134	OK	OK	4D19
			Bawah	101.80	360.456			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	101.80	393.168			19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	150.20	629.504	479.746	490.500	19	3	851	OK	OK	3D19
BD6A	250x500	Tump	Atas	90.42	228.043	359.035	367.083	19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	90.42	156.388			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	90.42	188.994			19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	90.42	112.135	359.035	367.083	19	2	567	OK	OK	2D19
BD7	250x450	Tump	Atas	79.70	170.442	318.282	325.417	19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	79.70	14.015			19	2	567	OK	OK	2D19

<b>Tipe</b>	<b>Dimensi (bxh)</b>	<b>Daerah</b>	<b>Letak Tulangan</b>	<b>Mu KNm</b>	<b>As Perlu mm<sup>2</sup></b>	<b>As min 1</b>	<b>As min 2</b>	<b>Ø (mm)</b>	<b>Jumlah</b>	<b>As Terpasang mm<sup>2</sup></b>	<b>Syarat As Terpasang ≥ As min</b>	<b>Syarat As Terpasang ≥ As Perlu</b>	<b>DIPAKAI</b>
		Lap	Atas	79.70	170.514			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	79.70	13.981	318.282	325.417	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
BD8	250x400	Tump	Atas	129.96	971.794	277.529	283.750	19	4	1134	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4D19
			Bawah	100.47	566.201			19	3	851	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
		Lap	Atas	68.98	296.686			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	68.98	344.298	277.529	283.750	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
BD8A	250x400	Tump	Atas	68.98	75.876	277.529	283.750	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	68.98	100.284			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
		Lap	Atas	68.98	4.304			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	68.98	104.940	277.529	283.750	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
BK1'	200x400	Tump	Atas	98.22	704.900	222.023	227.000	19	3	851	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
			Bawah	98.22	575.172			19	3	851	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
		Lap	Atas	125.95	805.813			19	4	1134	<b>OK</b>	<b>OK</b>	4D19
			Bawah	98.22	619.947	222.023	227.000	19	3	851	<b>OK</b>	<b>OK</b>	3D19
BK1	200x400	Tump	Atas	67.98	355.212	222.023	227.000	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	67.98	293.148			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
		Lap	Atas	67.98	347.004			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	67.98	277.327	222.023	227.000	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
BK2	200x400	Tump	Atas	57.26	500.078	189.421	193.667	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	57.26	428.511			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
		Lap	Atas	57.26	64.177			19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19
			Bawah	57.26	61.508	189.421	193.667	19	2	567	<b>OK</b>	<b>OK</b>	2D19

Tipe	Dimensi (bxh)	Daerah	Letak Tulangan	Mu KNm	As Perlu mm <sup>2</sup>	As min 1	As min 2	Ø (mm)	Jumlah	As Terpasang mm <sup>2</sup>	Syarat As Terpasang ≥ As min	Syarat As Terpasang ≥ As Perlu	DIPAKAI
BK2A	200x400	Tump	Atas	57.26	149.891	189.421	193.667	19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	57.26	34.678			19	2	567	OK	OK	2D19
		Lap	Atas	57.26	81.922			19	2	567	OK	OK	2D19
			Bawah	57.26	17.919	189.421	193.667	19	2	567	OK	OK	2D19

**Tabel 4. 38** Rekapitulas desain tulangan *transversal*

Tipe	Dimensi bxh	Daerah	Diameter mm	Vu N	Vn N	φ	Jumlah Kaki	Spasi Max 1	Spasi Max 2	Spasi Max 3	Cek Kontrol	S Pakai	DIPAKAI
								mm	mm	mm	φVn / Vu ≥ 1	mm	
TB1	400x800	Tump	13	575276	930607	0.75	2	184.00	132.00	150.00	OK	125	D13-125
		Lap	13	443665.3	684426	0.75	2	368.00			OK	200	D13-200
TB2	350x750	Tump	13	447250	774556	0.75	2	159.00	132.00	150.00	OK	125	D13-125
		Lap	13	357650.2	561824	0.75	2	318.00			OK	200	D13-200
TB3A	350x650	Tump	10	237912	582014	0.75	2	147.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	196896.3	387228	0.75	2	295.25			OK	200	D10-200
TB3	350x650	Tump	10	257432	582014	0.75	2	147.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	134507.7	387228	0.75	2	295.25			OK	200	D10-200
TB4A	350x600	Tump	10	191541	532733	0.75	2	135.13	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	90327.5	379910	0.75	2	270.25			OK	175	D10-175
TB5	300x550	Tump	10	235837	460615	0.75	2	122.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	262068.9	352749	0.75	2	245.25			OK	150	D10-150
TB5A	300x550	Tump	10	208703	460615	0.75	2	122.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100

Tipe	Dimensi	Daerah	Diameter	Vu	Vn	$\phi$	Jumlah Kaki	Spasi Max 1	Spasi Max 2	Spasi Max 3	Cek Kontrol	S Pakai	DIPAKAI
	bxh		mm	N	N			mm	mm	mm	$\phi Vn / Vu \geq 1$	mm	
TB6A	250x500	Lap	10	162860.2	352749	0.75	2	245.25			OK	150	D10-150
		Tump	10	160854	290613	0.75	2	110.13	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	76953.2	335031	0.75	2	220.25			OK	125	D10-125
TB6	250x500	Tump	10	279746	387484	0.75	2	110.13	114.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	42686.4	335031	0.75	2	220.25			OK	125	D10-125
TB7A	250x400	Tump	10	146354	299519	0.75	2	85.13	114.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	36566	303902	0.75	2	170.25			OK	100	D10-100
TB7	250x400	Tump	10	113272	299519	0.75	2	85.13	114.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	62573.8	303902	0.75	2	170.25			OK	100	D10-100
B1	450x750	Tump	10	606015	894772	0.75	2	172.25	132.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	453064.1	652342	0.75	2	344.50			OK	125	D10-125
B2	400x850	Tump	10	678052	987905	0.75	2	197.25	132.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	503066.7	710288	0.75	2	394.50			OK	125	D10-125
B3	400x700	Tump	10	570236	800090	0.75	2	159.75	132.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	477743.1	659567	0.75	2	319.50			OK	100	D10-100
B4A	300x650	Tump	10	225003	554523	0.75	2	147.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	114414.1	387563	0.75	2	295.25			OK	175	D10-175
B5	300x600	Tump	10	291550	435041	0.75	2	134.75	132.00	150.00	OK	125	D10-125
		Lap	10	256855.9	353762	0.75	2	269.50			OK	175	D10-175
B6	300x550	Tump	10	222887	459207	0.75	2	122.25	132.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	217435.4	351670	0.75	2	244.50			OK	150	D10-150
B7A	250x550	Tump	10	171566	437779	0.75	2	122.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100

Tipe	Dimensi	Daerah	Diameter	Vu	Vn	$\phi$	Jumlah Kaki	Spasi Max 1	Spasi Max 2	Spasi Max 3	Cek Kontrol	S Pakai	DIPAKAI
	bxh		mm	N	N			mm	mm	mm	$\phi Vn / Vu \geq 1$	mm	
		Lap	10	85705.1	329913	0.75	2	245.25			OK	150	D10-150
B8A	350x500	Tump	10	319182	531041	0.75	2	110.13	114.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	201469.8	337299	0.75	2	220.25			OK	150	D10-150
B8A'	350x500	Tump	10	410994	700895	0.75	2	110.13	114.00	150.00	OK	50.00	D10-50
		Lap	10	201469.8	337299	0.75	2	220.25			OK	150	D10-150
BD1	400x750	Tump	10	398137	620265	0.75	2	172.25	132.00	150.00	OK	125	D10-125
		Lap	10	333720.4	483897	0.75	2	344.50			OK	200	D10-200
BD1'	400x750	Tump	10	451466	607396	0.75	2	172.63	114.00	150.00	OK	75	D10-75
		Lap	10	296953.4	484951	0.75	2	345.25			OK	200	D10-200
BD2A	350x700	Tump	10	212131	631296	0.75	2	160.13	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	110739.2	420016	0.75	2	320.25			OK	200	D10-200
BD2	350x700	Tump	10	285655	545503	0.75	2	159.75	132.00	150.00	OK	125	D10-125
		Lap	10	242805.6	419032	0.75	2	319.50			OK	200	D10-200
BD3A	3500x650	Tump	10	199127	582014	0.75	2	147.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	69944.8	387228	0.75	2	295.25			OK	200	D10-200
BD3	350x650	Tump	10	264662	388584	0.75	2	147.25	132.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	196114.9	386244	0.75	2	294.50			OK	200	D10-200
BD4A	300x600	Tump	10	130448	507569	0.75	2	135.13	114.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	62533.1	354746	0.75	2	270.25			OK	175	D10-175
BD5	300x550	Tump	10	168009	459207	0.75	2	122.25	132.00	150.00	OK	100	D10-100
		Lap	10	150426.6	351670	0.75	2	244.50			OK	150	D10-150
BD5A	300x550	Tump	10	136730	460615	0.75	2	122.63	114.00	150.00	OK	100	D10-100

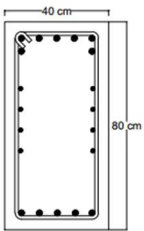
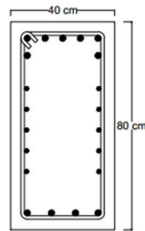
Tipe	Dimensi	Daerah	Diameter	Vu	Vn	$\phi$	Jumlah Kaki	Spasi Max 1	Spasi Max 2	Spasi Max 3	Cek Kontrol	S Pakai	DIPAKAI
	bxh		mm	N	N			mm	mm	mm	$\phi Vn / Vu \geq 1$	mm	
		Lap	10	95137	352749	0.75	2	245.25			<b>OK</b>	150	D10-150
BD6A	250x500	Tump	10	185220	393154	0.75	2	110.13	114.00	150.00	<b>OK</b>	100	D10-100
		Lap	10	29761.9	335031	0.75	2	220.25			<b>OK</b>	125	D10-125
BD7	250x450	Tump	10	50603	343502	0.75	2	97.63	114.00	150.00	<b>OK</b>	75	D10-75
		Lap	10	28490	297002	0.75	2	195.25			<b>OK</b>	125	D10-125
BD8	250x400	Tump	10	130608	299519	0.75	2	85.13	114.00	150.00	<b>OK</b>	75	D10-75
		Lap	10	48989.4	303902	0.75	2	170.25			<b>OK</b>	100	D10-100
BD8A	250x400	Tump	10	115773	299519	0.75	2	85.13	114.00	150.00	<b>OK</b>	75	D10-75
		Lap	10	23613.9	303902	0.75	2	170.25			<b>OK</b>	100	D10-100
BK1'	200x400	Tump	10	94833	246179	0.75	2	85.13	114.00	150.00	<b>OK</b>	75	D10-75
		Lap	10	65944	288049	0.75	2	170.25			<b>OK</b>	100	D10-100
BK1	200x400	Tump	10	50371	309589	0.75	2	85.13	114.00	150.00	<b>OK</b>	75	D10-75
		Lap	10	49474.6	288049	0.75	2	170.25			<b>OK</b>	100	D10-100
BK2	200x400	Tump	10	107658	210030	0.75	2	72.63	114.00	150.00	<b>OK</b>	50	D10-50
		Lap	10	53638.8	264128	0.75	2	145.25			<b>OK</b>	75	D10-75
BK2A	200x400	Tump	10	96342	210030	0.75	2	72.63	114.00	150.00	<b>OK</b>	50	D10-50
		Lap	10	11798.4	264128	0.75	2	145.25			<b>OK</b>	75	D10-75

**Tabel 4. 39** Rekapitulasi desain tulangan torsi

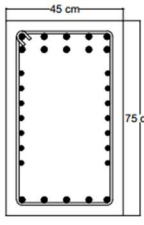
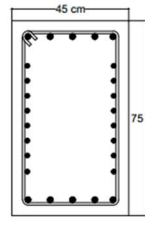
Tipe	Diameter	Daerah	As Perlu	As Pasang	Cek Kontrol $1 \leq 2$	Jumlah	Dipakai
			1	2		(n)	
TB1	16	Tump	6479.646	6550.221	<b>OK</b>	8	8D16
		Lap	6095.753	6192.079	<b>OK</b>	10	10D16
TB2	16	Tump	4890.071	5431.814	<b>OK</b>	10	10D16
		Lap	4820.488	5007.699	<b>OK</b>	6	6D16
TB3A	13	Tump	2628.411	2799.159	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	2511.320	2763.031	<b>OK</b>	8	8D13
TB3	13	Tump	2521.722	2533.694	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	2433.144	2497.566	<b>OK</b>	6	6D13
TB4A	13	Tump	2281.525	2533.694	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	1646.766	1966.637	<b>OK</b>	2	2D13
TB5	13	Tump	2310.135	2515.630	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	2866.970	3064.624	<b>OK</b>	6	6D13
TB5A	13	Tump	2059.316	2232.102	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	2220.907	2250.166	<b>OK</b>	2	2D13
TB6A	13	Tump	1182.091	1966.637	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	1340.358	1966.637	<b>OK</b>	2	2D13
TB6	13	Tump	2172.401	2250.166	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	1312.137	2232.102	<b>OK</b>	4	4D13
TB7A	13	Tump	1114.836	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	880.140	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
TB7	13	Tump	1118.021	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	1184.188	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
B1	16	Tump	8335.018	8516.858	<b>OK</b>	14	14D16
		Lap	8147.114	8538.849	<b>OK</b>	16	16D16
B2	16	Tump	6666.167	7310.486	<b>OK</b>	8	8D16
		Lap	5261.763	5855.929	<b>OK</b>	14	14D16
B3	16	Tump	7509.645	7734.601	<b>OK</b>	12	12D16
		Lap	6147.273	6192.079	<b>OK</b>	10	10D16
B4A	13	Tump	2695.283	2817.223	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	2121.913	2533.694	<b>OK</b>	2	2D13
B5	13	Tump	3353.668	3457.323	<b>OK</b>	6	6D13
		Lap	3412.084	3457.323	<b>OK</b>	6	6D13
B6	13	Tump	2794.648	2811.725	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	2294.252	2316.925	<b>OK</b>	6	6D13
B7A	13	Tump	2314.520	2533.694	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	2206.587	2232.102	<b>OK</b>	4	4D13

Tipe	Diameter	Daerah	As Perlu	As Pasang	Cek Kontrol $1 \leq 2$	Jumlah	Dipakai
			1	2		(n)	
B8A	13	Tump	2360.368	2497.566	<b>OK</b>	6	6D13
		Lap	2445.154	2515.630	<b>OK</b>	4	4D13
B8A'	13	Tump	2599.299	2781.095	<b>OK</b>	6	6D13
		Lap	2314.142	2515.630	<b>OK</b>	4	4D13
BD1	16	Tump	4879.701	4985.708	<b>OK</b>	4	4D16
		Lap	4778.640	5051.681	<b>OK</b>	10	10D16
BD1'	16	Tump	4031.126	4325.188	<b>OK</b>	6	6D16
		Lap	3996.967	4325.188	<b>OK</b>	6	6D16
BD2A	16	Tump	1823.246	2103.296	<b>OK</b>	2	2D16
		Lap	1330.560	2103.296	<b>OK</b>	2	2D16
BD2	16	Tump	4220.024	4225.442	<b>OK</b>	4	4D16
		Lap	3061.801	3107.035	<b>OK</b>	6	6D16
BD3A	16	Tump	2237.592	2386.825	<b>OK</b>	2	2D16
		Lap	1561.147	2103.296	<b>OK</b>	2	2D16
BD3	16	Tump	4040.166	4247.433	<b>OK</b>	6	6D16
		Lap	2838.338	3107.035	<b>OK</b>	6	6D16
BD4A	13	Tump	1554.646	1683.108	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	1035.896	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
BD5	16	Tump	3042.242	3487.168	<b>OK</b>	6	6D16
		Lap	3219.549	4291.416	<b>OK</b>	10	10D16
BD5A	13	Tump	1976.549	2232.102	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	1830.719	1948.573	<b>OK</b>	4	4D13
BD6A	13	Tump	612.474	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	529.172	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
BD7	13	Tump	354.899	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	354.937	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
BD8	13	Tump	2509.789	2515.630	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	1612.778	1665.044	<b>OK</b>	4	4D13
BD8A	13	Tump	276.444	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	209.528	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
BK1'	13	Tump	1984.973	2232.102	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	2130.660	2250.166	<b>OK</b>	2	2D13
BK1	13	Tump	1003.572	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
		Lap	979.543	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
BK2	13	Tump	1428.667	1665.044	<b>OK</b>	4	4D13
		Lap	625.764	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13
BK2A	13	Tump	334.459	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13

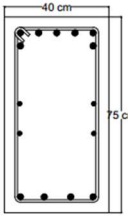
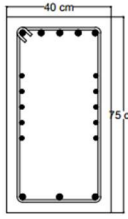
Tipe	Diameter	Daerah	As Perlu	As Pasang	Cek Kontrol $1 \leq 2$	Jumlah	Dipakai
			1	2		(n)	
		Lap	249.732	1399.580	<b>OK</b>	2	2D13

Dimensi Balok	400 x 800	
Posisi Bentang	Tumpuan L/4	Lapangan L/2
Balok TB1		
Tulangan Atas	8D22	7D22
Tulangan Bawah	5D22	4D22
Sengkang	D13-125	D13-200
Tulangan Samping	8D16	10D16
Tulangan Sepihak	2	2
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	f <sub>c</sub> 30 Mpa	
Mutu Baja Tulangan	F <sub>y</sub> 420 Mpa	

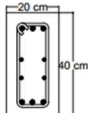
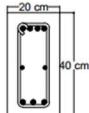
**Gambar 4. 6** Detail penulangan balok TB1

Dimensi Balok	450 x 750	
Posisi Bentang	Tumpuan L/4	Lapangan L/2
Balok B1		
Tulangan Atas	10D22	5D22
Tulangan Bawah	5D22	5D22
Sengkang	D10-75	D10-125
Tulangan Samping	14D16	16D16
Tulangan Sepihak	2	2
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	f <sub>c</sub> 30 Mpa	
Mutu Baja Tulangan	F <sub>y</sub> 420 Mpa	

**Gambar 4. 7** Detail penulangan balok B1

Dimensi Balok	400 x 750	
Posisi Bentang	Tumpuan L/4	Lapangan L/2
Balok BD1		
Tulangan Atas	7D22	5D22
Tulangan Bawah	4D22	3D22
Sengkang	D10-125	D10-200
Tulangan Samping	6D13	4D13
Tulangan Sepihak	2	2
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	f <sub>c</sub> 30 Mpa	
Mutu Baja Tulangan	F <sub>y</sub> 420 Mpa	

**Gambar 4. 8** Detail penulangan balok BD1

Dimensi Balok	200 x 400	
Posisi Bentang	Tumpuan L/4	Lapangan L/2
Balok BK1'		
Tulangan Atas	3D19	4D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19
Sengkang	D10-75	D10-100
Tulangan Samping	4D13	3D13
Tulangan Sepihak	2	2
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	f <sub>c</sub> 30 Mpa	
Mutu Baja Tulangan	F <sub>y</sub> 420 Mpa	

**Gambar 4. 9** Detail penulangan balok BK1'

### 5.6.2 Desain Tulangan Pelat

#### 1. Data Perencanaan

Panjang Pelat Arah Sumbu 1, L1 = 3390 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2, L2	= 3630 mm
Tebal Pelat, t	= 125 mm
Diameter Tulangan, db	= 10 mm
Selimut Bersih, cc	= 20 mm
Tebal Efektif Penampang, d	= h - cc - ds - db/2 = 125 - 20 - 10 - 10/2 = 90 mm
Kuat Tekan Beton, fc'	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan, fy	= 420 MPa
Modulus Elastisitas Beton, Ec	= 4700 x $\sqrt{fc'}$ = 4700 x $\sqrt{30}$ = 25743
$\beta_1$	= $0,65 \leq 0,85 - 0,05 \times (fc'/30)/7 \leq 0,85$ = 0,8357
$\lambda$	= 1
2. Gaya Dalam (Hasil dari ETABS)	
M Max akibat M22 Max	= 7,031 kNm
M Min akibat M22 Min	= 28,395 kNm
M Max akibat M11 Max	= 12,052 kNm
M Min akibat M11 Min	= 21,677 kNm
3. Penulangan Lentur (Analisa Untuk Per Meter Lari)	
Momen Positif M22 → Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 2 (Y)	
Spasi Tulangan, s	= 200
Spasi Maksimum, $s_{max}$	= 2 x t dan 450 mm = 2 x 125 = 250 mm
Cek Spasi Maksimum	= $s \leq s_{max}$ = 200 $\leq$ 250 mm <b>OK</b>
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n	= $\frac{b}{s} = \frac{1000}{s}$ (Analisis untuk per 1 m)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1000}{200} \\
 &= 5 \\
 d_b &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= s - d_b \\
 &= 200 - 10 \\
 &= 190 \text{ mm} \\
 \text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ Mm} \\
 &= 190 \geq 25 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
 A_s \text{ Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 392,699 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min } (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\
 &= 0,2\% \times 1000 \times 125 \\
 &= 250 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min } (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t \text{ dan } 0,14\% \times b \\
 &\quad \times t \\
 &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 125 \text{ dan} \\
 &\quad 0,14\% \times 1000 \times 125 \\
 &= 225 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_s \text{ min} &= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min} \\
 &= 392,699 \geq 225 \text{ MPa} \quad \mathbf{OK} \\
 \text{Tinggi Blok Beton, } a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} \\
 &= 6,468 \text{ mm} \\
 \text{Kapabilitas Lentur, } M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 392,699 \times 420 \times (90 - \frac{6,468}{2}) \\
 &= 12,661 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lokasi Garis Netral, } c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{6,468}{0,8357} \\
&= 7,739 \text{ mm} \\
\text{Regangan Tulangan Tarik, } \varepsilon_s &= \frac{(d - c)}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{1000 - 7,739}{7,739} \times 0,003 \\
&= 0,032 \\
\text{Faktor Reduksi, } \phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
&= 0,9 \\
\text{Kapabilitas Lentur Tereduksi, } \phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,9 \times 12,661 \\
&= 11,395 \text{ kNm} \\
\text{Momen Ultimit, } M_u &= 7,013 \text{ kNm} \\
\text{Cek Kapabilitas} &= \phi M_n > M_u \\
&= 11,395 > 7,013 \text{ kNm} \quad \mathbf{OK} \\
\text{Momen Negatif M22 Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 2 (Y)} & \\
\text{Spasi Tulangan, } s &= 50 \\
\text{Spasi Maksimum, } s_{max} &= 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm} \\
&= 2 \times 125 \\
&= 250 \text{ mm} \\
\text{Cek Spasi Maksimum} &= s \leq s_{max} \\
&= 50 \leq 250 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
\text{Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, } n &= \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} \text{ (Analisis untuk per 1 m)} \\
&= \frac{1000}{50} \\
&= 20 \\
d_b &= 10 \text{ mm} \\
\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= s - d_b \\
&= 50 - 10 \\
&= 40 \text{ mm} \\
\text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 40 \geq 25 \text{ mm} && \text{OK} \\
 \text{Jumlah Lapis} &= 2 \\
 A_s \text{ Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 20 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 1570,796 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min } (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\
 &= 0,2\% \times 1000 \times 125 \\
 &= 250 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min } (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t \text{ dan } 0,14\% \times b \\
 &\quad \times t \\
 &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 125 \text{ dan} \\
 &\quad 0,14\% \times 1000 \times 125 \\
 &= 225 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_s \text{ min} &= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min} \\
 &= 1570,796 \geq 225 \text{ MPa} && \text{OK} \\
 \text{Tinggi Blok Beton, } a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 1570,796 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} \\
 &= 25,872 \text{ mm} \\
 \text{Kapabilitas Lentur, } M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1570,796 \times 420 \times (90 - \frac{12,936}{2}) \\
 &= 44.244 \text{ kNm} \\
 \text{Lokasi Garis Netral, } c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{25,872}{0,8357} \\
 &= 30,958 \text{ mm} \\
 \text{Regangan Tulangan Tarik, } \epsilon_s &= \frac{(d - c)}{c} \times 0.003 \\
 &= \frac{(90 - 30,958)}{30,958} \times 0.003 \\
 &= 0,014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Faktor Reduksi, } \phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
&= 0,9 \\
\text{Kapabilitas Lentur Tereduksi, } \phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,9 \times 44.244 \\
&= 39,820 \text{ kNm} \\
\text{Momen Ultimit, } M_u &= 28.395 \text{ kNm} \\
\text{Cek Kapabilitas} &= \phi M_n > M_u \\
&= 39,820 > 28.395 \text{ kNm} \quad \mathbf{OK} \\
\text{Momen Positif M11 (Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 1 (x))} & \\
\text{Spasi Tulangan, } s &= 200 \text{ mm} \\
\text{Spasi Maksimum, } s_{max} &= 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm} \\
&= 2 \times 125 \\
&= 250 \text{ mm} \\
\text{Cek Spasi Maksimum} &= s \leq s_{max} \\
&= 200 \leq 250 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
\text{Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, } n &= \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} \text{ (Analisis untuk per 1 m)} \\
&= \frac{1000}{200} \\
&= 5 \\
d_b &= 10 \text{ mm} \\
\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= s - d_b \\
&= 200 - 10 \\
&= 190 \text{ mm} \\
\text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} \\
&= 190 \geq 25 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
A_s \text{ Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
&= 7 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
&= 392,699 \text{ mm}^2 \\
A_s \text{ min (} f_y < 420 \text{ MPa)} &= 0,2\% \times b \times t \\
&= 0,2\% \times 1000 \times 125
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min } (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 250 \text{ mm}^2 \\
 &= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t \text{ dan } 0,14\% \times b \\
 &\quad \times t \\
 &= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 125 \text{ dan} \\
 &\quad 0,14\% \times 1000 \times 125 \\
 &= 225 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_s \text{ min} &= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min} \\
 &= 392,699 \geq 225 \text{ mm} \quad \mathbf{OK} \\
 \text{Tinggi Blok Beton, } a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} \\
 &= 6,468 \text{ mm} \\
 \text{Kapabilitas Lentur, } M_n &= A_s \times f_y \times (d - d_b - \frac{a}{2}) \\
 &= 392,699 \times 420 \times (90 - \frac{6,468}{2}) \\
 &= 14,311 \text{ kNm} \\
 \text{Lokasi Garis Netral, } c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{6,468}{0,8357} \\
 &= 7,739 \text{ mm} \\
 \text{Regangan Tulangan Tarik, } \epsilon_s &= \frac{(d - c)}{c} \times 0.003 \\
 &= \frac{(90 - 7,739)}{7,739} \times 0.003 \\
 &= 0,032 \\
 \text{Faktor Reduksi, } \phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
 &= 0,9 \\
 \text{Kapabilitas Lentur Tereuksi, } \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 14,311 \\
 &= 12,880 \text{ kNm} \\
 \text{Momen Ultimit, } M_u &= 12,052 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas	$= \phi M_n > M_u$	
	$= 12,880 > 12,052 \text{ kNm}$	<b>OK</b>
Momen Negatif M11 Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 1(X)		
Spasi Tulangan, s	$= 100 \text{ mm}$	
Spasi Maksimum, $s_{max}$	$= 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm}$	
	$= 2 \times 125$	
	$= 250 \text{ mm}$	
Cek Spasi Maksimum	$= s \leq s_{max}$	<b>OK</b>
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n	$= \frac{b}{s} = \frac{1000}{s}$ (Analisis untuk per 1 m)	
	$= \frac{1000}{100}$	
	$= 10$	
$d_b$	$= 10 \text{ mm}$	
Jarak Bersih Antar Tulangan	$= s - d_b$	
	$= 100 - 10$	
	$= 90 \text{ mm}$	
Cek Jarak Bersih	$= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$	
	$= 90 \geq 25 \text{ mm}$	<b>OK</b>
Jumlah Lapis	$= 2$	
$A_s$ Pasang	$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$	
	$= 10 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2$	
	$= 785,398 \text{ mm}^2$	
$A_s$ min ( $f_y < 420 \text{ MPa}$ )	$= 0,2\% \times b \times t$	
	$= 0,2\% \times 1000 \times 125$	
	$= 250 \text{ mm}^2$	
$A_s$ min ( $f_y \geq 420 \text{ MPa}$ )	$= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t \text{ dan } 0,14\% \times b$	
	$\times t$	
	$= 0,18\% \times \frac{420}{420} \times 1000 \times 125 \text{ dan}$	
	$0,14\% \times 1000 \times 125$	
	$= 225 \text{ mm}^2$	

Cek $A_s$ min	$= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min}$	
	$= 785,398 \geq 225 \text{ mm}^2$	<b>OK</b>
Tinggi Blok Beton, $a$	$= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$	
	$= 785,398 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000}$	
	$= 12,936 \text{ mm}$	
Kapasitas Lentur, $M_n$	$= A_s \times f_y \times (d - d_b - \frac{a}{2})$	
	$= 785,398 \times 420 \times (90 - \frac{12,936}{2})$	
	$= 27,554 \text{ kNm}$	
Lokasi Garis Netral, $c$	$= \frac{a}{\beta_1}$	
	$= \frac{12,936}{0,8357}$	
	$= 15,479 \text{ mm}$	
Regangan Tulangan Tarik, $\epsilon_s$	$= \frac{(d - c)}{c} \times 0.003$	
	$= \frac{(90 - 15,479)}{15,479} \times 0.003$	
	$= 0,014$	
Faktor Reduksi, $\phi$	$= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$	
	$= 0,9$	
Kapasitas Lentur Tereduksi, $\phi M_n$	$= \phi \times M_n$	
	$= 0,9 \times 27,554$	
	$= 24,799 \text{ kNm}$	
Momen Ultimit, $M_u$	$= 21.677 \text{ kNm}$	
Cek Kapasitas	$= \phi M_n > M_u$	
	$= 24,799 > 21.677 \text{ kNm}$	<b>OK</b>
Tulangan Minimum (Untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, arah X dan Y)		
Spasi Tulangan, $s$	$= 200 \text{ mm}$	
Spasi Maksimum, $s_{max}$	$= 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm}$	
	$= 2 \times 125$	
	$= 250 \text{ mm}$	

Cek Spasi Maksimum	$= s \leq s_{max}$	<b>OK</b>
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n	$= \frac{b}{s} = \frac{1000}{s}$ (Analisis untuk per 1 m)	
	$= \frac{1000}{200}$	
	$= 5$	
$d_b$	$= 10 \text{ mm}$	
Jarak Bersih Antar Tulangan	$= s - d_b$	
	$= 200 - 10$	
	$= 190 \text{ mm}$	
Cek Jarak Bersih	$= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$	
	$= 190 \geq 25 \text{ mm}$	<b>OK</b>
Jumlah Lapis	$= 2$	
$A_s$ Pasang	$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$	
	$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2$	
	$= 392,699 \text{ mm}^2$	
$A_s$ min ( $f_y < 420 \text{ MPa}$ )	$= 0,2\% \times b \times t$	
	$= 0,2\% \times 1000 \times 125$	
	$= 250 \text{ mm}^2$	
$A_s$ min ( $f_y \geq 420 \text{ MPa}$ )	$= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t \text{ dan } 0,14\% \times b$	
	$\times t$	
	$= 0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 125 \text{ dan}$	
	$0,14\% \times 1000 \times 125$	
	$= 225 \text{ mm}^2$	
Cek $A_s$ min	$= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min}$	
	$= 392,699 \geq 225 \text{ mm}^2$	<b>OK</b>

Berdasarkan hasil analisis dan desain tulangan pelat yang telah dilakukan, Pada kondisi eksisting sistem pelat yang diterapkan menggunakan sistem penulangan pelat dua arah. Sementara itu, dalam perencanaan ulang ini digunakan sistem pelat satu arah dan dua arah karena perbandingan bentang

telah memenuhi ketentuan pelat satu arah, yaitu  $L_n > 2$ . Berdasarkan hasil analisis struktur, sistem tersebut tetap memiliki kapasitas yang memadai dan telah memenuhi ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019.

Pemilihan pelat satu arah juga dilakukan dengan mempertimbangkan aspek efisiensi pelaksanaan dan penghematan biaya konstruksi. Pada sistem ini, kebutuhan tulangan menjadi lebih sedikit karena penggunaan diameter tulangan yang relatif lebih kecil serta jarak pemasangan antar tulangan yang lebih besar dibandingkan pelat dua arah. Kondisi tersebut menyebabkan volume material baja tulangan yang digunakan menjadi lebih rendah, sehingga perencanaan struktur dapat dilakukan secara lebih ekonomis tanpa mengurangi mutu maupun keamanan struktur bangunan.

Berdasarkan hasil perbandingan, pelat S1 hasil redesain menggunakan pelat satu arah dengan D10-200 pada tulangan bawah, D10-100 pada tulangan atas, dan D10-450 untuk tulangan pembagi lebih jarang dibandingkan kondisi eksisting yang menggunakan D10-150 pada sistem penulangan dua arah. Penyesuaian tersebut menurunkan kebutuhan tulangan dari 444,734 kg menjadi 317,385 kg, sehingga biaya pekerjaan berkurang dari Rp 7,212,069 menjadi Rp 5,146,904 (untuk perbandingan satu panel pelat S1 bentang 2,3m x 10m As 1-1'/F-G dengan *overlapping* 40D dan panjang penyaluran 12D). Hasil perencanaan ulang menunjukkan penurunan kebutuhan volume tulangan sebesar 40,12% dibandingkan desain eksisting. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan material dapat dioptimalkan tanpa mengurangi pemenuhan persyaratan kekuatan, kekakuan, dan keamanan struktur sesuai ketentuan SNI 2847:2019.

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan tulangan pelat tersebut ditampilkan pada tabel berikut dan gambar detail penulangan pelat.

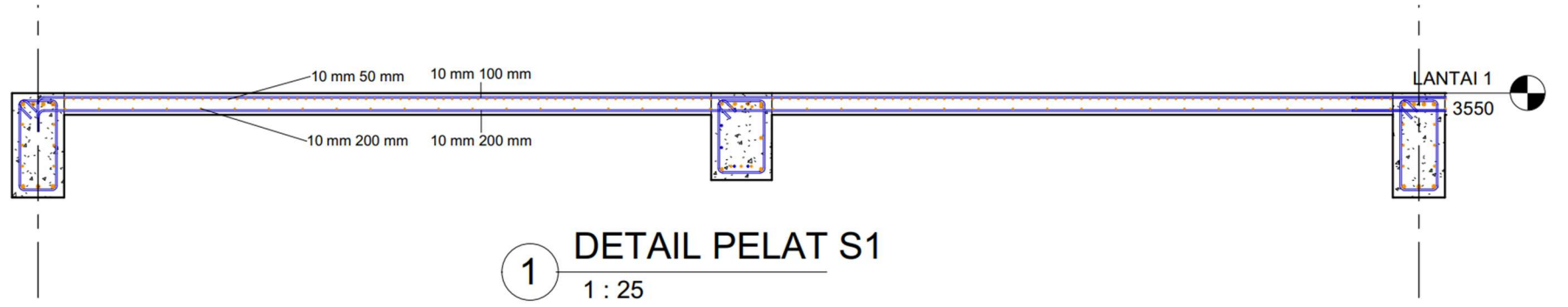
**Tabel 4. 40** Rekapitulasi penulangan pelat lantai 2 arah

<b>Tipe Plat</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Arah Tulangan</b>	<b>Letak</b>	<b>Mu kNm</b>	<b>d' mm</b>	<b>Spasi Tulangan</b>	<b>Ø mm</b>	<b><math>\phi M_n</math></b>	<b>Cek <math>\phi M_n &gt; Mu</math></b>	<b>Dipasang</b>
S1	125	Tulangan Arah X	Atas	21.677	90	100	10	24.79903	OK	D10-100
			Bawah	12.052	90	200	10	12.87957	OK	D10-200
		Tulangan Arah Y	Atas	28.395	90	50	10	39.82001	OK	D10-50
			Bawah	7.013	90	200	10	11.39517	OK	D10-200
S2	150	Tulangan Arah X	Atas	23.05	115	125	10	26.08407	OK	D10-125
			Bawah	11.725	115	200	10	16.59057	OK	D10-200
		Tulangan Arah Y	Atas	20.266	115	125	10	23.70902	OK	D10-125
			Bawah	15.68	115	125	10	23.70902	OK	D10-125
S3	180	Tulangan Arah X	Atas	27.039	140.5	200	13	33.87531	OK	D13-200
			Bawah	17.529	140.5	200	13	33.87531	OK	D13-200
		Tulangan Arah Y	Atas	28.394	140.5	200	13	30.61408	OK	D13-200
			Bawah	15.097	140.5	200	13	30.61408	OK	D13-200
S4	250	Tulangan Arah X	Atas	63.907	206	200	16	75.13537	OK	D16-200
			Bawah	31.043	206	200	16	75.13537	OK	D16-200
		Tulangan Arah Y	Atas	52.663	206	200	16	69.05525	OK	D16-200
			Bawah	29.011	206	200	16	69.05525	OK	D16-200

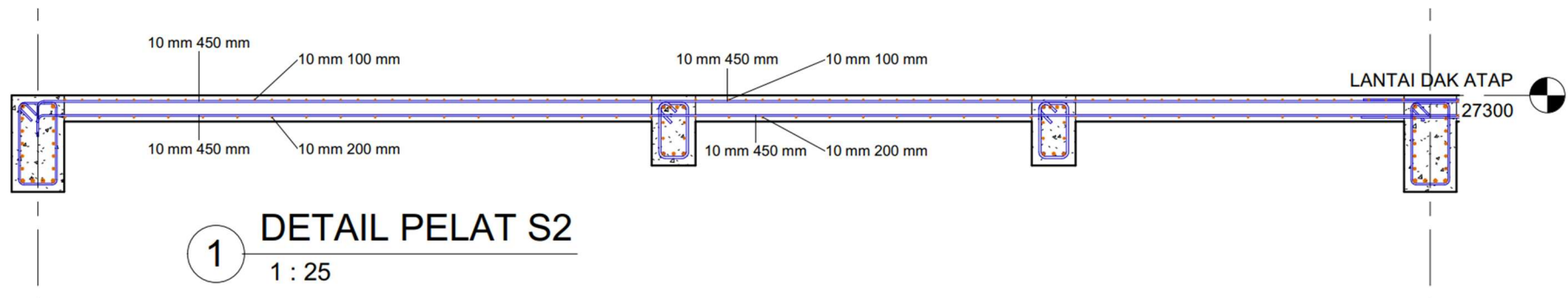
**Tabel 4. 41** Rekapitulasi penulangan pelat 1 arah

<b>Tipe Plat</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Arah Tulangan</b>	<b>Letak</b>	<b>Mu kNm</b>	<b>d' mm</b>	<b>Spasi Tulangan</b>	<b>Ø mm</b>	<b><math>\phi M_n</math></b>	<b>Cek <math>\phi M_n &gt; M_u</math></b>	<b>Dipasang</b>	<b>Tulangan Pembagi</b>
S1	125	Tulangan Arah X	Atas	21.987	90	100	10	24.79903	OK	D10-100	D10-450
			Bawah	8.857	90	200	10	12.87957	OK	D10-200	
S2	150	Tulangan Arah X	Atas	29.788	115	100	10	32.22104	OK	D10-100	D10-450
			Bawah	13.033	115	200	10	16.59057	OK	D10-200	
S3	180	Tulangan Arah X	Atas	32.328	140.5	200	13	33.87531	OK	D13-200	D10-450
			Bawah	16.783	140.5	200	13	33.87531	OK	D13-200	
S4	250	Tulangan Arah X	Atas	47.924	206	200	16	75.13537	OK	D16-200	D10-450
			Bawah	25.692	206	200	16	75.13537	OK	D16-200	

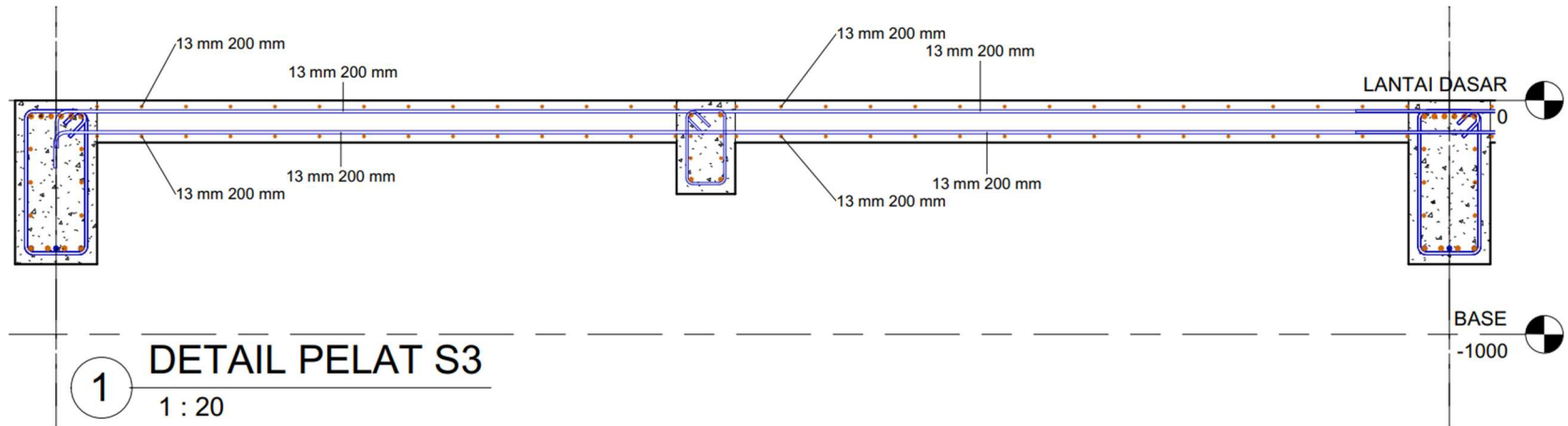
Berikut ini merupakan gambar detail hasil desain penulangan pelat lantai :



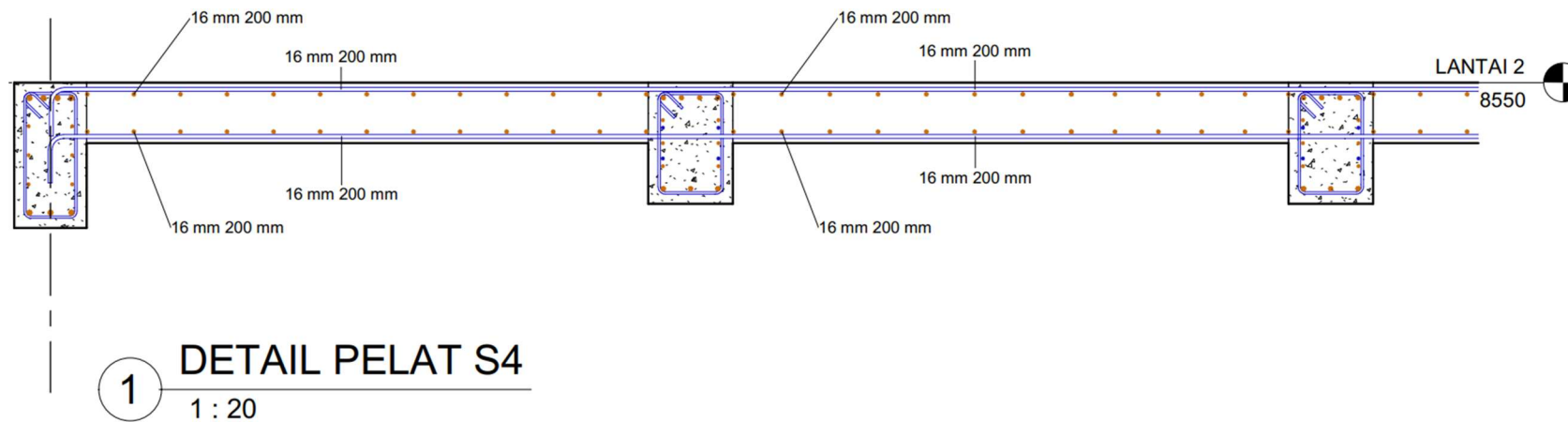
Gambar 4. 10 Detail penulangan pelat S1



Gambar 4. 11 Detail penulangan pelat S2



Gambar 4. 12 Detail penulangan pelat S3



Gambar 4. 13 Detail penulangan pelat S4

### 5.6.3 Desain Tulangan Kolom

#### 1. Properti Material dan Penampang

Jenis Kolom	= K1
Panjang/Tinggi Kolom, L	= 4500 mm
Sisi Pendek Kolom, b	= 750 mm
Sisi Panjang Kolom, h	= 750 mm
Diameter Tulangan <i>Longitudinal</i> , db	= 25 mm
Diameter Tulangan Sengkang, ds	= 13 mm
Selimit Bersih, cc	= 40 mm
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	= 30 MPa
Kuat Leleh Tul. <i>Longitudinal</i> , $f_y$	= 420 MPa
Kuat Leleh Tul. <i>Transversal</i> , $f_{yv}$	= 420 MPa
Tinggi Balok, hb	= 550 mm
$L_n$	= L - hb
	= 4500 - 550
	= 3950 mm

#### 2. Gaya Dalam Kolom (Hasil dari ETABS)

Dalam perencanaan struktur, gaya dalam pada kolom menjadi parameter utama yang digunakan untuk menentukan dimensi serta kebutuhan tulangan elemen tersebut. Hasil analisis struktur menunjukkan bahwa gaya dalam yang bekerja terdiri dari gaya aksial (P), momen lentur pada sumbu utama (M2 dan M3), serta gaya geser (V) yang timbul akibat berbagai kombinasi pembebanan. Nilai-nilai tersebut kemudian dijadikan dasar dalam proses desain kolom agar elemen struktur mampu menahan beban yang terjadi secara aman dan sesuai ketentuan perencanaan. Berikut merupakan tabel data gaya aksial dan gaya geser kolom.

**Tabel 4. 42** Hasil gaya dalam kolom menggunakan ETABS

Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	3394.0013	35.8495	0.8158
P min	-7651.3753	-543.4319	-205.6803
M2 Max	-108.2966	824.3502	203.6002

Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
M2 Min	-417.1717	-777.0814	-324.1901
M3 Max	-2895.347	421.8304	862.7417
M3 Min	-4247.0841	-237.1417	-853.8069

**Tabel 4. 43** Hasil gaya geser kolom menggunakan ETABS

Tumpuan	
V2 (kN)	1039.0081
V3 (kN)	571.7843
Lapangan	
V2 (kN)	1039.008
V3 (kN)	571.784

Gaya Tekan

$$N_u = -0.2275 \text{ kN}$$

3. Syarat Gaya dan Geometri

$$\begin{aligned} \text{Syarat Gaya Aksial} &= P_u > 0,1 \times A_g \times f_c' \\ &= 76513753 > 1687500 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat Sisi Terpendek} &= b \geq 300 \text{ mm} \\ &= 750 \geq 300 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat Rasio Dimensi Penampang} &= b/h \geq 0,4 \\ &= 750/750 \geq 0,4 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial - Lentur

$$\text{Jumlah Tulangan, } n = 24$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan } \textit{Longitudinal}, A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 24 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2 \\ &= 11781 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio Tulangan, } \rho &= \frac{A_s}{b \times h} \\ &= \frac{11781}{750 \times 750} \\ &= 2,09 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } \rho_{\min} \text{ dan } \rho_{\max} &= 1\% \leq \rho \leq 6\% \\ &= 1\% \leq 2,09\% \leq 6\% \quad \text{OK} \end{aligned}$$

5. Pengecekan *Strong Column Weak Beam* (SCWB)

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Nominal Kolom, } M_{nc} &= 271,67 \text{ kNm} \\
 M_n^- \text{ Tumpuan Balok} &= 285,630 \text{ kNm} \\
 M_n^+ \text{ Tumpuan Balok} &= 149,479 \text{ kNm} \\
 \text{Cek SCWB} &= 2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_n^- + M_n^+) \\
 &= 2(271,67) \geq 1,2(285,630 + 149,479)
 \end{aligned}$$

**OK**

## 6. Panjang Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 l_{01} &= h \\
 &= 750 \text{ mm} \\
 l_{02} &= \frac{L_n}{6} \\
 &= \frac{3950}{6} \\
 &= 658,3 \text{ mm} \\
 l_{03} &= 450 \text{ mm} \\
 l_0 &= \text{Max}(l_{01}; l_{02}; l_{03}) \\
 &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

7. Tulangan *Transversal* Zona Sendi Plastis / Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 &= 4 \\
 \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 &= 4 \\
 \text{Spasi, } s &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Kaki Terbesar, } x_i \text{ max} &= 150 \text{ mm} \\
 A_{sh1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh2} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s}, 1 &= 5,309
 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s}, 2 = 5,309$$

8. *Confinement* / Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} \text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c &= b - 2c_c \\ &= 750 - 2(40) \\ &= 670 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c &= h - 2c_c \\ &= 750 - 2(40) \\ &= 670 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang Kolom, } A_g &= b \times h \\ &= 750 \times 750 \\ &= 562500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \times h_c \\ &= 670 \times 670 \\ &= 448900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sisi Pendek/ Sumbu Lemah

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min, } 1 &= 0,3 \left( b_c \times \frac{f_c'}{f_{yv}} \right) \times \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 3,633 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min, } 2 &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_{yv}} \\ &= 4,307 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } \frac{A_{sh}}{s} 1 &= \frac{A_{sh}}{s} 1 \geq \max \left( \frac{A_{sh}}{s} \text{ min } 1, \frac{A_{sh}}{s} \text{ min } 2 \right) \\ &= 4,307 \geq 3,633 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Sisi Panjang/ Sumbu Kuat

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min, } 1 &= 0,3 \left( b_c \times \frac{f_c'}{f_{yv}} \right) \times \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 3,633 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min, } 2 &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_{yv}} \\ &= 4,307 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } \frac{A_{sh}}{s} 2 &= \frac{A_{sh}}{s} 2 \geq \max \left( \frac{A_{sh}}{s} \text{ min } 1, \frac{A_{sh}}{s} \text{ min } 2 \right) \\ &= 4,307 \geq 3,633 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Cek Spasi

$$s_{max, 1} = \frac{b}{4}$$

$$= \frac{750}{4}$$

$$= 187,5 \text{ mm}$$

$$s_{max, 2} = 6 \times d_b$$

$$= 6 \times 25$$

$$= 150 \text{ mm}$$

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

$$= 150 \text{ mm}$$

$$s_{max, 2} = s_o = 100 \leq 100 + \frac{350 - H_x}{3} \leq 150$$

$$= 100 \leq 100 + \frac{350 - 150}{3} \leq 150$$

$$= 150 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \text{Min} (s_{max1}, s_{max2}, s_{max3})$$

$$= 150 \text{ mm}$$

Cek Spasi

$$= s \leq s_{max}$$

$$= 100 \leq 150 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

## 9. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya Geser Desain

$$M_{pr} \text{ Kolom (SPColum)} = 1350.46 \text{ kNm}$$

$$V_{u1} = 2 \times \frac{M_{pr} \text{ Kolom}}{L_n}$$

$$= 2 \times \frac{1350.46}{3950}$$

$$= 683777 \text{ N}$$

Gaya Geser Hasil Analisa Struktur

$$V_{u2, \text{ Sumbu Lemah}} = 1039008 \text{ N}$$

$$V_{u2, \text{ Sumbu Kuat}} = 571784 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

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

$$= 1039008 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,75 \\ V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \times f_c'^{0,5} \times h \times (b - c_c \\ &\quad - d_s - d_b/s) \\ &= 478032 \text{ N} \\ V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{1039008}{0,75} - 478032 \\ &= 907312 \text{ N} \\ \frac{A_s}{s} \text{ Perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b/s)} \\ &= 3,1560 \text{ mm} \\ \frac{A_s}{s} \text{ Min 1} &= 0,062 \times f_c'^{0,5} \times \frac{h}{f_{yv}} \\ &= 0,062 \times 30^{0,5} \times \frac{750}{420} \\ &= 0,6064 \text{ mm} \\ \frac{A_s}{s} \text{ Min 2} &= 0,35 \times \frac{h}{f_{yv}} \\ &= 0,35 \times \frac{750}{420} \\ &= 0,6250 \text{ mm} \\ \text{Cek } \frac{A_s}{s} &= \frac{A_s h}{s} \geq \text{Max} \left( \frac{A_s}{s} \text{ Perlu}, \frac{A_s}{s} \text{ Min} \right) \\ &= 5,309 \geq 3,1560 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$\begin{aligned} V_u &= \text{Max} (V_{u1}, V_{u2}) \\ &= 683777 \text{ N} \\ \Phi &= 0,75 \\ V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \times f_c'^{0,5} \times h \times (b \\ &\quad - c_c - d_s - d_b/s) \\ &= 478032 \text{ N} \\ V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{683777}{0,75} - 478032 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_s}{s} \text{ Perlu} &= 433671 \text{ N} \\
 &= \frac{V_s}{f_{yv} \times (b - c_c - d_s - d_b/s)} \\
 &= 1.5085 \text{ mm} \\
 \frac{A_s}{s} \text{ Min 1} &= 0,062 \times f_c'^{0,5} \times \frac{h}{f_{yv}} \\
 &= 0,062 \times 30^{0,5} \times \frac{750}{420} \\
 &= 0,6064 \text{ mm} \\
 \frac{A_s}{s} \text{ Min 2} &= 0,35 \times \frac{h}{f_{yv}} \\
 &= 0,35 \times \frac{750}{420} \\
 &= 0,6250 \text{ mm} \\
 \text{Cek } \frac{A_s}{s} &= \frac{A_s h}{s} \geq \text{Max} \left( \frac{A_s}{s} \text{ Perlu}, \frac{A_s}{s} \text{ Min} \right) \\
 &= 5,309 \geq 1.5085 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

10. Tulangan *Transversal* Luar Zona Sendi Plastis / Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 &= 3 \\
 \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 &= 3 \\
 \text{Spasi, } s &= 125 \text{ mm} \\
 A_v \text{ Sumbu Lemah} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 398,197 \text{ mm}^2 \\
 A_v \text{ Sumbu Kuat} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 398,197 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

11. Confinement / Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi max 1} &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 \text{Spasi max 2} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi} &= \text{Spasi} \leq \text{min} (\text{spasi 1}, \text{spasi 2}) \\
 &= 125 \leq 150 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

## 12. Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1039008 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \times f_c'^{0,5} \times h \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{s}) \\
 &= 478032 \text{ N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= \text{Max} \left(\frac{V_u}{\Phi} - V_c\right) \\
 &= \text{Max} \left(\frac{1039008}{0,75} - 478032\right) \\
 &= 907312 \\
 \frac{A_s}{s} \text{ Perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv} \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{s})} \\
 &= 3,1560 \\
 \frac{A_s}{s} \text{ Min 1} &= 0,062 \times f_c'^{0,5} \times \frac{h}{f_{yv}} \\
 &= 0,062 \times 30^{0,5} \times \frac{750}{420} \\
 &= 0,6064 \text{ mm} \\
 \frac{A_s}{s} \text{ Min 2} &= 0,35 \times \frac{h}{f_{yv}} \\
 &= 0,35 \times \frac{750}{420} \\
 &= 0,6250 \text{ mm} \\
 \text{Cek } \frac{A_s}{s} &= \frac{A_s h}{s} \geq \max \left(\frac{A_v}{s} \text{ perlu}, \frac{A_v}{s} \text{ min 1}, \frac{A_v}{s} \text{ min 2}\right) \\
 &= \frac{398,197}{125} \geq 1,0841 \text{ mm} \\
 &= 3,185 \geq 3,156 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 V_u &= 571784 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \times f_c'^{0,5} \times h \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{s})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 478032 \text{ N} \\
V_s \text{ Perlu} &= \text{Max} \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) \\
&= \text{Max} \left( \frac{571784}{0,75} - 478032 \right) \\
&= 284347 \\
\frac{A_v}{s} \text{ Perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv} \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{s})} \\
&= 0,9891 \\
\frac{A_s}{s} \text{ Min 1} &= 0,062 \times f_c'^{0,5} \times \frac{h}{f_{yv}} \\
&= 0,062 \times 30^{0,5} \times \frac{750}{420} \\
&= 0,6064 \text{ mm} \\
\frac{A_s}{s} \text{ Min 2} &= 0,35 \times \frac{h}{f_{yv}} \\
&= 0,35 \times \frac{750}{420} \\
&= 0,6250 \text{ mm} \\
\text{Cek } \frac{A_s}{s} &= \frac{A_s h}{s} \geq \max \left( \frac{A_v}{s} \text{ perlu}, \frac{A_v}{s} \text{ min 1}, \frac{A_v}{s} \text{ min 2} \right) \\
&= \frac{398,197}{125} \geq 0,9891 \text{ mm} \\
&= 3,185 \geq 0,9891 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}
\end{aligned}$$

Perhitungan pada elemen kolom menunjukkan besarnya kebutuhan tulangan *Longitudinal* (lentur) dan tulangan *transversal* (senggang) yang harus dipenuhi agar kekuatan serta daktilitas struktur tetap terjamin. Perencanaan ini memperhitungkan kombinasi gaya aksial serta momen yang bekerja pada kolom, dengan mengacu pada ketentuan perencanaan beton bertulang sesuai standar yang berlaku. Selain itu, dilakukan verifikasi rasio tulangan untuk memastikan bahwa jumlah tulangan yang direncanakan masih berada dalam batas minimum maupun maksimum yang diperkenankan. Hasil perhitungan tersebut kemudian dirangkum dalam bentuk rekapitulasi, sehingga memudahkan proses evaluasi antara kebutuhan tulangan hasil analisis dengan tulangan yang diterapkan di lapangan, baik pada daerah sendi plastis (tumpuan)

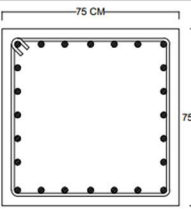
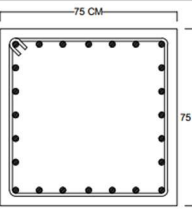
maupun di luar daerah tersebut. Berikut rekapitulasi hasil perhitungan tulangan kolom dan gambar detail penulangannya.

**Tabel 4. 44** Rekapitulasi desain penulangan kolom

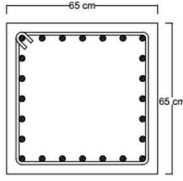
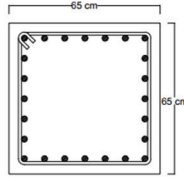
Tipe Kolom	Dimensi		Tulangan Utama		Sengkang		Rasio Tulangan
	b	h	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
K1	750	750	24D25	24D25	D13-100	D13-125	2.09%
K2	650	650	24D25	24D25	D13-100	D13-150	2.79%
KL	400	400	16D25	16D25	D13-100	D13-100	4.91%
KT	300	300	12D22	12D22	D13-75	D13-100	5.07%
KK	250	500	8D19	8D19	D13-50	D13-100	1.81%
KA	300	300	8D19	8D19	D10-50	D10-100	2.52%

**Tabel 4. 45** Rekapitulasi perhitungan kolom

Tipe Kolom	Tumpuan (Sendi Plastis)				Lapangan (Diluar Sendi Plastis)			
	Ash/s Perlu		Ash/s Pakai		Ash/s Perlu		Ash/s Pakai	
	Sumbu Kuat	Sumbu Lemah	Sumbu Kuat	Sumbu Lemah	Sumbu Kuat	Sumbu Lemah	Sumbu Kuat	Sumbu Lemah
K1	1.508	3.156	5.309	5.309	0.989	3.156	3.186	3.186
K2	1.827	2.481	3.982	3.982	1.391	2.481	2.655	2.655
KL	1.193	2.151	3.982	3.982	1.193	2.151	2.655	2.655
KT	0.133	0.129	5.309	5.309	0.133	0.129	2.655	2.655
KK	0.046	0.292	7.964	7.964	0.002	0.002	2.655	2.655
KA	0.024	0.024	4.712	4.712	0.007	0.007	1.571	1.571

Dimensi Kolom	750 x 750	
Posisi Bentang	Tumpuan L/4	Lapangan L/2
Kolom K1		
Tulangan Utama	24D25	24D25
Tulangan Sengkang	D13-100	D13-125
Tulangan Sepihak	4 & 4	3 & 3
Selimut Beton	40 mm	
Mutu Beton	f <sub>c</sub> 30 Mpa	
Mutu Baja Tulangan	F <sub>y</sub> 420 Mpa	

**Gambar 4. 14** Detail penulangan kolom K1

Dimensi Kolom	650 x 650	
Posisi Bentang	Tumpuan L/4	Lapangan L/2
Kolom K2		
Tulangan Utama	24D25	24D25
Tulangan Sengkang	D13-100	D13-150
Tulangan Sepihak	3 & 3	3 & 3
Selimit Beton	40 mm	
Mutu Beton	f <sub>c</sub> 30 Mpa	
Mutu Baja Tulangan	F <sub>y</sub> 420 Mpa	

**Gambar 4. 15** Detail penulangan kolom K2

## 4.7 Hasil Desain Struktur Bawah

### 4.7.1 Perencanaan Pondasi Borepile

#### 1. Properti Material dan Penampang

Jenis Pondasi	= P1
Diameter Pondasi	= 700 mm
Kedalaman Pondasi	= 24000 mm
Tebal Selimut	= 75 mm
Mutu Beton	= 30 MPa
E <sub>c</sub>	= $4700 \times \sqrt{f'_c}$ = 25742,96
Tegangan Leleh	= 420 MPa
E <sub>s</sub>	= 200000 Mpa

#### 2. Menentukan Kuat Izin *Bored Pile* Berdasarkan Kekuatan Material Tiang

$$\begin{aligned} \sigma \text{ Bahan} &= 0,25 \times f'_c \\ &= 0,25 \times 30 \\ &= 76,4775 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$A \text{ Tiang} = \frac{1}{4} \times \pi \times Q^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 70^2 \\
 &= 3850 \text{ cm}^2 \\
 \text{P Tiang} &= \sigma \text{ Bahan} \times A \text{ Tiang} \\
 &= 76,4775 \times 3850 \\
 &= 294438,375 \text{ kg} \\
 &= 294,4384 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Menentukan Kuat Izin *Bored Pile* Berdasarkan Kekuatan Tanah, berikut merupakan tabel hasil N-SPT Gedung BCA KCU Millenia Tebet.

**Tabel 4. 46** Hasil bacaan grafik N-SPT lokasi proyek

No	Jarak	BH-01	di/BH-1
1	1.5	9	6.0000
2	3	5	1.6667
3	4.5	8	1.7778
4	6	1	0.1667
5	7.5	3	0.4000
6	9	2	0.2222
7	10.5	1	0.0952
8	12	10	0.8333
9	13.5	10	0.7407
10	15	7	0.4667
11	16.5	39	2.3636
12	18	50	2.7778
13	19.5	20	1.0256
14	21	50	2.3810
15	22.5	50	2.2222
16	24	50	2.0833
17	25.5	50	1.9608
18	27	50	1.8519
19	28.5	28	0.9825
20	30	31	1.0333
21	31.5	31	0.9841
22	33	27	0.8182
23	34.5	39	1.1304
24	36	50	1.3889
25	37.5	24	0.6400
26	39	20	0.5128

No	Jarak	BH-01	di/BH-1
27	40.5	22	0.5432

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai N-SPT di atas ujung tiang} &= 8D \\
 &= 8 \times 70 \\
 &= 560 \text{ cm} \\
 &= 5,6 \text{ m} \\
 \text{N-SPT} &= 50 + 50 + 20 + 50 \\
 &= 170 \\
 \text{Nilai N-SPT di bawah ujung tiang} &= 4D \\
 &= 4 \times 70 \\
 &= 280 \text{ cm} \\
 &= 2,8 \text{ m} \\
 \text{N-SPT} &= 50 + 50 + 28 \\
 &= 128 \\
 \text{NP (rata rata disekitar ujung tiang)} &= \frac{170+128}{7} \\
 &= 42.57 \\
 \emptyset &= 70 \text{ cm} = 2,296 \text{ ft} \\
 A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times Q^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,296^2 \\
 &= 4,141984 \text{ ft}^2 \\
 Q_p \text{ tiang} &= 4 \times A_p \text{ tiang} \times N_p \\
 &= 4 \times 4,141984 \times 42,57 \\
 &= 705,320704 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### 3. Menentukan Tahanan Selimut *Bored Pile*

$$\begin{aligned}
 \text{N (rata rata di sepanjang tiang)} &= 19,6875 \\
 \text{L (Kedalaman tiang)} &= 2400 \text{ cm} \\
 A_s \text{ tiang} &= \pi \times \emptyset \times L \\
 &= \pi \times 2,296 \times 78,72 \\
 &= 568,04352 \text{ ft}^2 \\
 Q_s \text{ tiang} &= (A_s \text{ tiang} \times \text{N rata rata}) / 50
 \end{aligned}$$

$$= (568,04352 \times 19,6875) / 50$$

$$= 223,667136 \text{ ton}$$

4. Menghitung Daya Dukung *Ultimate* dan *Allowable Tiang*

$$Q_u \text{ tiang} = Q_p \text{ tiang} + Q_s \text{ tiang}$$

$$= 705,320704 + 223,667136$$

$$= 928,98784 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u \text{ tiang}}{SF}$$

$$= \frac{928,98784}{4}$$

$$= 232,24696 \text{ ton}$$

$$\text{Berat Sendiri Tiang} = A \times L \times \text{Massa jenis}$$

$$= 3850 \times 2400 \times 0,0024$$

$$= 22176 \text{ kg}$$

$$= 22,176 \text{ ton}$$

$$Q_{netto} = Q_{all} - \text{Berat sendiri tiang}$$

$$= 232,24696 - 22,176$$

$$= 210,07096 \text{ ton}$$

$$\text{Syarat} = P \text{ tiang} > Q_{netto}$$

$$= 294,438375 > 210,07096 \quad \mathbf{OK}$$

5. Menentukan Jumlah Kebutuhan *Bored Pile*

$$\text{Gaya Aksial Kolom (p)} = 1453,3015 \text{ KN}$$

$$= 148,1449 \text{ ton}$$

$$n \text{ tiang} = \frac{P_{max}}{Q_{netto}}$$

$$= \frac{148,1449}{210,07096}$$

$$= 0,705213625$$

$$= 1 \text{ buah tiang}$$

6. Menentukan Efisiensi Kelompok Tiang

$$\text{Jarak Antar Tiang (s)} = 2,5D - 4D$$

$$= 2,5(700) - 4(700)$$

$$= 1750 - 2800$$

$$\begin{aligned}
S \text{ Pakai} &= 3000 \text{ mm} = 300 \text{ cm} \\
\text{Jarak Tiang ke Tepi (s')} &= 1,25D - 2D \\
&= 1,25(700) - 2(700) \\
&= 875 - 1400 \\
S' \text{ Pakai} &= 1000 \text{ mm} \\
\theta &= \arctan \frac{D}{S} \\
&= \arctan \frac{700}{3000} \\
&= 13,13402231 \\
\text{Jumlah Baris Tiang (m)} &= 1 \text{ baris} \\
\text{Jumlah Tiang Tiap Baris (n)} &= 1 \text{ baris} \\
E_g &= 1 - \frac{\theta}{90} \times \left( \frac{(n-1)m + (m-1)m}{mn} \right) \\
&= 1 - \frac{13,13402231}{90} \times \left( \frac{(1-1)1 + (1-1)1}{1 \times 1} \right) \\
&= 1 \\
&= 100 \%
\end{aligned}$$

#### 7. Analisa Daya Dukung Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}
Q_{tk} &= E_g \times n \text{ tiang} \times Q_{netto} \\
&= 1 \times 1 \times 210,07096 \\
&= 210,07096 \text{ ton} \\
\text{Syarat} &= Q_{tk} > \text{Gaya aksial bangunan} \\
&= 210,07096 > 148,1449032 \text{ ton}
\end{aligned}$$

**OK**

#### 8. Desain Penulangan *Bored Pile*

$$\begin{aligned}
\text{Tulangan Utama} &= 22 \text{ mm} \\
\text{Tulangan Sengkang} &= 13 \text{ mm} \\
\text{Selimut Beton} &= 75 \text{ mm} \\
\text{Tebal Efektif Tiang} &= 601 \text{ mm} \\
\text{Jumlah Tulangan } Longitudinal &= 6 \text{ buah} \\
A_s \text{ tul. total} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 6
\end{aligned}$$

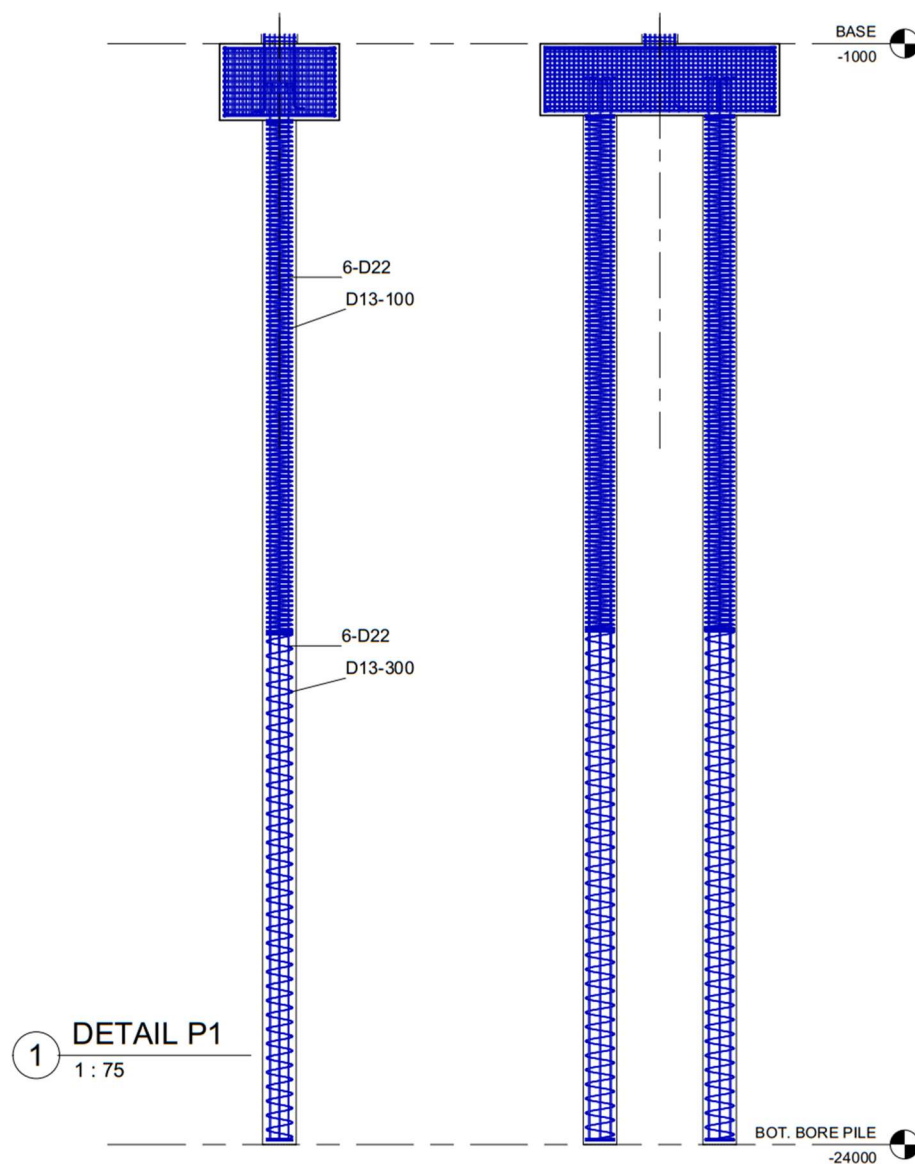
$$\begin{aligned}
 &= 2281,714286 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ tiang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 700^2 \\
 &= 385000 \text{ mm}^2 \\
 p &= \frac{A_s \text{ tul.total}}{A_s \text{ tiang}} \\
 &= \frac{2281,714286}{385000} \\
 &= 0,005926531 \\
 p \text{ min} &= \frac{A_s \text{ tul.total}}{A_s \text{ tiang}} \\
 &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= 0,00333 \\
 p \text{ pakai} &= 0,005926531 \\
 \text{Syarat} &= p \text{ pakai} \geq p \text{ min} \\
 &= 0,005926531 \geq 0,0033 \quad \mathbf{OK} \\
 \text{Panjang Sendi Plastis} &= 7D \\
 &= 7(700) \\
 &= 4900 \text{ mm} \\
 s \text{ Pakai di Dalam Sendi Plastis} &= s \leq \min \left( \frac{1}{4} D, 6d_b, 100 \right) \\
 &= s \leq \min \left( \frac{1}{4} (700), 6(22), 100 \right) \\
 &= 100 \text{ mm} \\
 s \text{ Pakai di Luar Sendi Plastis} &= s \leq \min \left( \frac{1}{2} D, 16d_b, 300 \right) \\
 &= s \leq \min \left( \frac{1}{2} (700), 16(22), 300 \right) \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

9. Kapasitas Lentur Tiang

$$\text{Luas Beton, } A_g = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 700^2 \\
&= 385000 \text{ mm}^2 \\
\text{Luas Tulangan } , A_s &= \text{Jumlah Tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
&= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
&= 2281,714286 \text{ mm}^2 \\
\text{Luas Beton Efektif, } A_c &= A_g - A_s \\
&= 385000 - 2281,714286 \\
&= 382718,2857 \text{ mm}^2 \\
\text{Kapasitas Nominal, } P_u &= 0,85 \times f'_c \times A_c + f_y \times A_s \\
&= 0,85 \times 30 \times 382718,2857 + 420 \times \\
&\quad 2281,714286 \\
&= 10717636,29 \text{ N} \\
\text{Faktor Reduksi, } \phi P_n &= \phi \times P_n \\
&= 0,65 \times 10717636,29 \\
&= 6966463,586 \text{ N} \\
&= 6966,463586 \text{ KN} \\
&= 710,1389996 \text{ Ton} \\
\text{Syarat} &= \phi P_n > P_u \\
&= 710,1389996 > 148,1449032 \text{ ton} \\
&\quad \mathbf{OK}
\end{aligned}$$

Untuk detail penulangan *bored pile* P1 dapat dilihat pada **Gambar 4.16** dibawah ini.



Gambar 4. 16 Detail penulangan *bored pile* P1

#### 4.7.2 Perencanaan Pilecap

##### 1. Analisa Gaya Geser 1 Arah *Pilecap* Arah Y

Jenis Pilecap	= PC1
Panjang (x)	= 2500 mm
Lebar (y)	= 2000 mm
Tebal (t)	= 1600 mm
Tulangan Utama	= 22 mm

$$\begin{aligned}
 h/b \text{ Kolom} &= 750 \text{ mm} \\
 \text{Selimut} &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Mutu Beton, } f'_c &= 30 \text{ MPa} \\
 \beta_c &= \frac{L_x}{L_y} \\
 &= \frac{2500}{2000} \\
 &= 1,25 \\
 \lambda &= 1 \text{ (beton normal)} \\
 \alpha_s &= 40 \\
 s \text{ (jarak tiang)} &= 300 \text{ cm} \\
 P_u &= 1453,3015 \text{ KN} \\
 \text{Jumlah Tiang} &= 1 \text{ buah} \\
 f_y &= 420 \text{ MPa} \\
 \sigma &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{1453,3015}{2,5 \times 2} \\
 &= 290,6603 \text{ KN/m}^2 \\
 G' &= \text{Panjang} - \left( \frac{\text{Panjang}}{2} + \frac{h \text{ Kolom}}{2} \right) + d \\
 &= 2500 - \left( \frac{2500}{2} + \frac{750}{2} \right) + 1500 \\
 &= 625 \text{ mm} \\
 &= 0,625 \text{ m} \\
 V_u &= \sigma \times L \times G' \\
 &= 290,6603 \times 2,5 \times 0,625 \\
 &= 454,1567188 \text{ KN} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times \frac{f'_c}{6} \times L \times d \\
 &= 0,75 \times \frac{30}{6} \times 2500 \times 1500 \\
 &= 2567449,488 \text{ N} \\
 &= 2567,449488 \text{ KN} \\
 \text{Syarat} &= \phi V_c > V_u
 \end{aligned}$$

$$= 2567,449488 > 454,1567188 \text{ KN}$$

**OK**

2. Analisa Gaya Geser 1 Arah *Pilecap* Arah X

Jenis Pilecap = PC1

Panjang (x) = 2500 mm

Lebar (y) = 2000 mm

Tebal (t) = 1600 mm

Tulangan Utama = 22 mm

h/b Kolom = 750 mm

Selimut = 75 mm

Mutu Beton,  $f'_c$  = 30 MPa

$$\beta_c = \frac{Lx}{Ly}$$

$$= \frac{2500}{2000}$$

$$= 1,25$$

$\lambda$  = 1 (beton normal)

$\alpha_s$  = 40

s (jarak tiang) = 300 cm

$P_u$  = 1453,3015 KN

Jumlah Tiang = 1 buah

$f_y$  = 420 MPa

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{1453,3015}{2,5 \times 2}$$

$$= 290,6603 \text{ KN/m}^2$$

$$G' = \text{Panjang} - \left( \frac{\text{Panjang}}{2} + \frac{h \text{ Kolom}}{2} \right) + d$$

$$= 2000 - \left( \frac{2000}{2} + \frac{750}{2} \right) + 1500$$

$$= 875 \text{ mm}$$

$$= 0,875 \text{ m}$$

$V_u = \sigma \times L G'$

$$\begin{aligned}
 &= 290,6603 \times 2 \times 0,875 \\
 &= 508,655525 \text{ KN} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times \frac{f'_c}{6} \times L \times d \\
 &= 0,75 \times \frac{30}{6} \times 2000 \times 1500 \\
 &= 2053959,591 \text{ N} \\
 &= 2053,959591 \text{ KN} \\
 \text{Syarat} &= \phi V_c > V_u \\
 &= 2053,959591 > 508,655525 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

**OK**

### 3. Analisa Daerah Gaya Geser Dua Arah *Pilecap*

$$\begin{aligned}
 B' &= b \text{ kolom} + \frac{d}{2} \times 2 \\
 &= 750 + \frac{1500}{2} \times 2 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 &= 2,25 \text{ m} \\
 B' &= L' \text{ (Panjang daerah keliling kritis} \\
 &\quad \text{sisi lain)} \\
 &= 2,25 \text{ m} \\
 b_0 &= 2(B' + L') \\
 &= 2(2,25 + 2,25) \\
 &= 9 \text{ m} \\
 &= 9000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### 4. Nilai Kuat Geser Dua Arah

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d' \\
 &= 32682,60501 \text{ KN} \\
 V_{c2} &= 0,083 \times \left(\frac{a_s \times d'}{b_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d' \\
 &= 53189,33756 \text{ KN} \\
 V_{c3} &= 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d' \\
 &= 24401,03994 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c \text{ pakai} &= 24401 \text{ KN} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 24401 \\
 &= 18300,77995 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

#### 5. Tegangan Yang Terjadi Pada Tanah

$$\begin{aligned}
 V_u &= \sigma (1 \times b - L' \times B') \\
 &= 290,6603 \times (2,5 \times 2 - 2,25 \times 2,25) \\
 &= -18,16626875 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \phi V_c > V_u \\
 &= 18300,77995 > -18,16626875 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

**OK**

#### 6. Perhitungan Penulangan *Pilecap*

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\text{Lebar Pilecap}}{2} - \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} \\
 &= \frac{2}{2} - \frac{0,75}{2} \\
 &= 0,625 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### Berat Pilecap Pada Penampang Kritis

$$\begin{aligned}
 q' &= \gamma \times d \times t \\
 &= 2400 \times 2,5 \times 1,6 \\
 &= 9600 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 2 \left( \frac{P_u}{n_s} \times s \right) - 0,5 \times q' \times B^2 \\
 &= 8701,41525 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n \text{ arah x} &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{8701415250}{0,9 \times 2500 \times 1500^2} \\
 &= 1,71879 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\
 &= 0,00424
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu arah x} &= p \text{ perlu} \times b \times d \\
 &= 0,00424 \times 2500 \times 1500
 \end{aligned}$$

$$= 15901,72224 \text{ mm}^2$$

Tulangan Bawah Arah x

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$S = 75 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times \frac{2500}{75}$$

$$= 16369,04762 \text{ mm}^2$$

Syarat

$$= A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$= 16369,04762 > 15901,72224 \text{ mm}^2$$

**OK**

Tulangan Atas Arah x

$$A_s \text{ perlu} = 20\% \times A_s \text{ pakai tulangan bawah}$$

$$= 20\% \times 16369,04762$$

$$= 3273,809524 \text{ mm}^2$$

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times \frac{2500}{200}$$

$$= 3545,535714 \text{ mm}^2$$

Syarat

$$= A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$= 3545,535714 > 3273,809524 \text{ mm}^2$$

**OK**

$$R_n \text{ arah y} = \frac{M_u}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{8701415250}{0,9 \times 2000 \times 1500^2}$$

$$= 1,71879 \text{ N/mm}^2$$

P perlu

$$= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right)$$

$$= 0,004240459$$

$A_s$  perlu arah y

$$= p \text{ perlu} \times b \times d$$

$$= 0,004240459 \times 2000 \times 1500$$

$$= 12721,3778 \text{ mm}^2$$

Tulangan Bawah Arah y

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$S = 75 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times \frac{2000}{75}$$

$$= 13095,2381 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$= 2836,428571 > 12721,3778 \text{ mm}^2$$

**OK**

Tulangan Atas Arah y

$$A_s \text{ perlu} = 20\% \times A_s \text{ pakai tulangan bawah}$$

$$= 20\% \times 13095,2381$$

$$= 2619,047619 \text{ mm}^2$$

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times \frac{2000}{200}$$

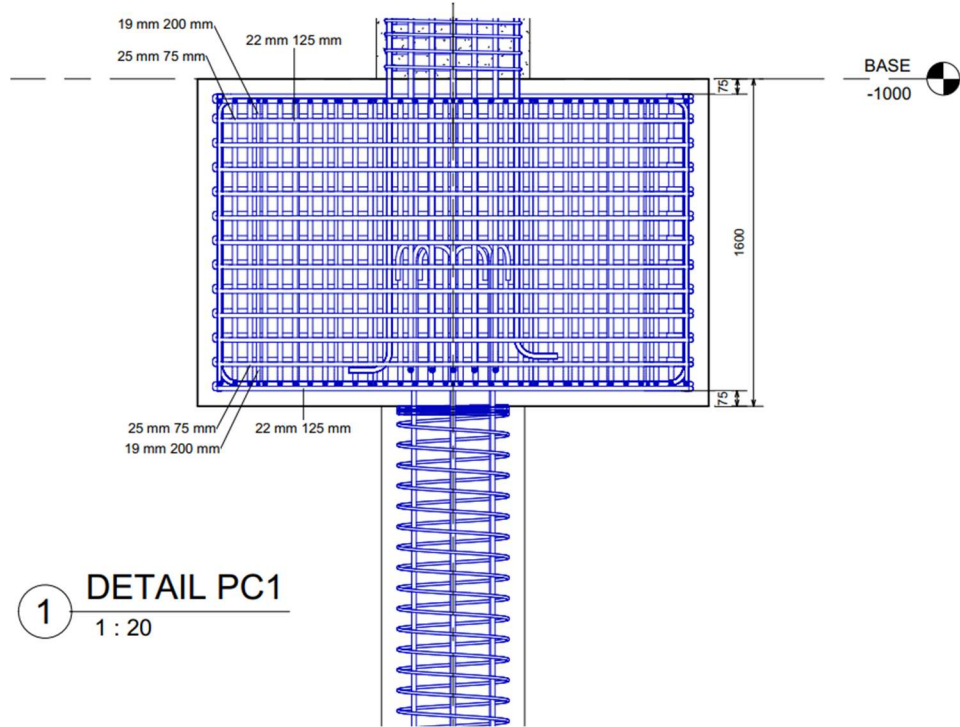
$$= 2836,428571 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

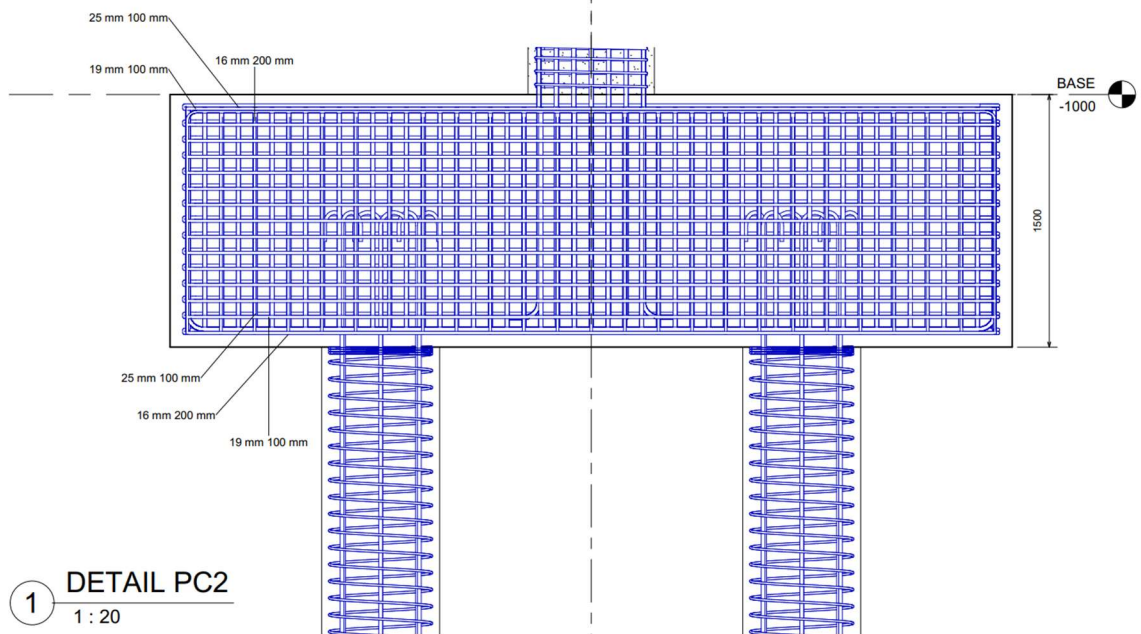
$$= 2836,428571 > 2619,047619 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Berdasarkan hasil perencanaan ulang, kebutuhan tulangan pada *bored pile* dan *pile cap* diperoleh melalui pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil analisis menunjukkan bahwa dimensi pondasi dapat dibuat lebih kecil dibandingkan kondisi awal, tetapi tetap memiliki kapasitas yang cukup dalam menahan beban kerja sesuai ketentuan SNI 2847:2019. Selain tetap aman, pengurangan dimensi tersebut juga membuat penggunaan material menjadi lebih hemat sehingga biaya

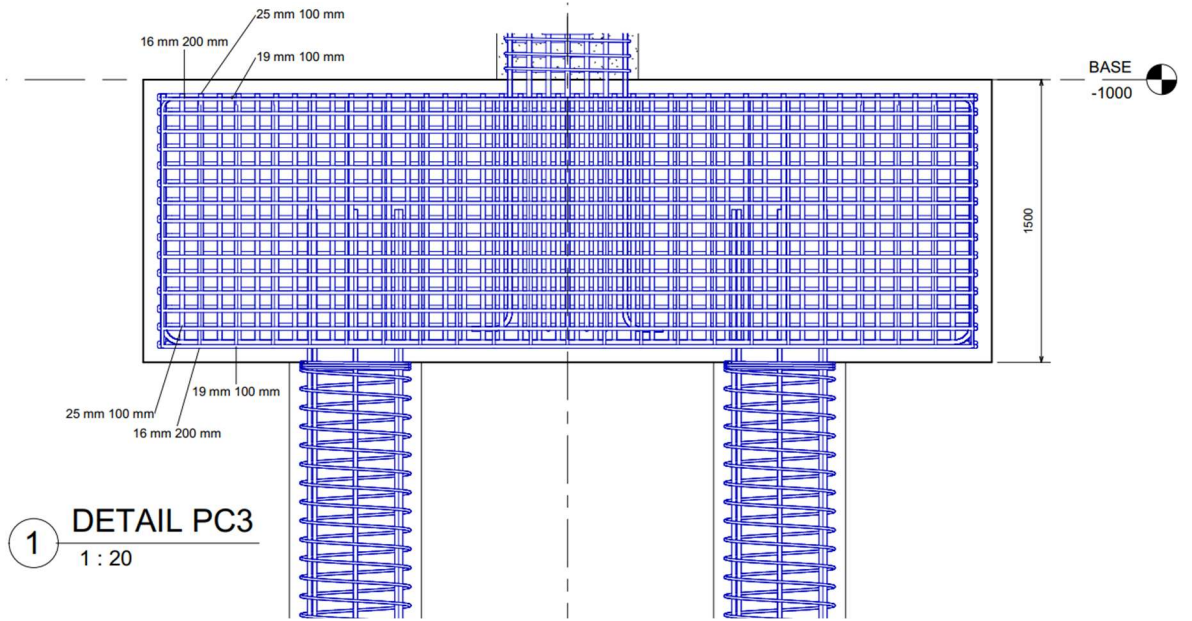
pelaksanaan konstruksi dapat lebih efisien. Berikut rekapitulasi hasil perhitungan penulangan pada *bored pile* dan *pile cap* serta gambar detail penulangannya.



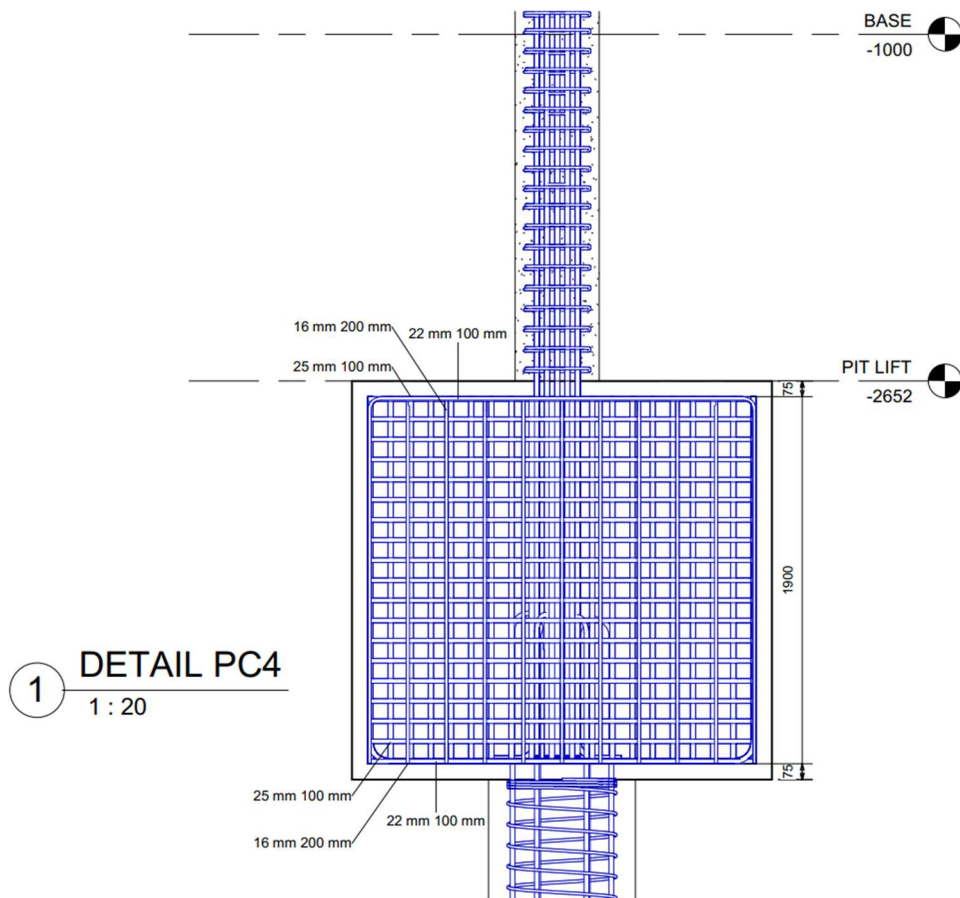
Gambar 4. 17 Detail penulangan PC1



Gambar 4. 18 Detail penulangan PC2



Gambar 4. 19 Detail penulangan PC3



Gambar 4. 20 Detail penulangan PC

**Tabel 4. 47** Rekapitulasi jumlah tiang *bored pile* pada *pile cap*

<b>Tipe</b>	<b>Dimaeter</b>	<b>Jumlah Tiang</b>	<b>Qtk</b>	<b>Gaya Aksial Bangunan</b>
PC1	700	1	210.071	148.1449
PC2	700	2	408.136	384.4135
PC3	700	4	752.023	633.3313
PC4	700	1	220.13	108.2006

**Tabel 4. 48** Rekapitulasi perhitungan penulangan *pile cap*

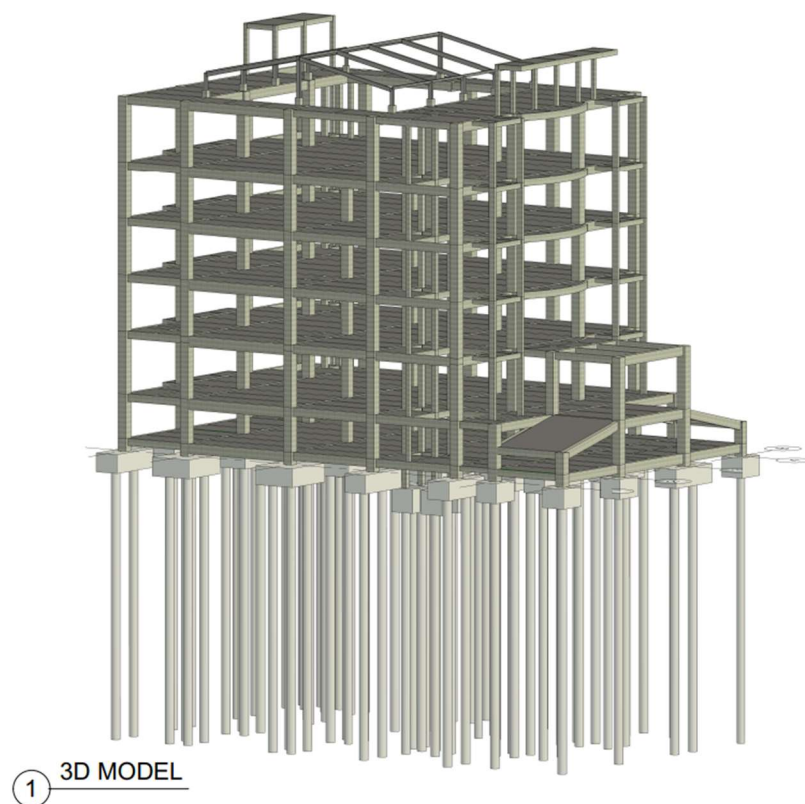
<b>Tipe Pilecap</b>	<b>Ukuran</b>			<b>Tulangan</b>				<b>As Perlu</b>				<b>As Pakai</b>			
	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>t</b>	<b>Tul. Atas (x)</b>	<b>Tul. Bawah (x)</b>	<b>Tul. Atas (Y)</b>	<b>Tul. Bawah (Y)</b>	<b>Tul. Atas (x)</b>	<b>Tul. Bawah (x)</b>	<b>Tul. Atas (Y)</b>	<b>Tul. Bawah (Y)</b>	<b>Tul. Atas (x)</b>	<b>Tul. Bawah (x)</b>	<b>Tul. Atas (Y)</b>	<b>Tul. Bawah (Y)</b>
PC1	2500	2000	1600	D19-200	D25-75	D19-200	D25-75	2619.05	12721.4	2619.05	12721.4	2836.43	13095.2	2836.43	13095.2
PC2	5000	2000	1500	D16-200	D25-100	D16-200	D25-100	1964.29	8750.37	1964.29	8750.37	2011.43	9821.43	2011.43	9821.43
PC3	4500	3500	1500	D16-200	D25-100	D16-200	D25-100	1473.21	6004.51	1473.21	6004.51	1508.57	7366.07	1508.57	7366.07
PC4	2000	1000	1900	D16-200	D25-100	D16-200	D25-100	982.143	4784.32	982.143	4784.32	1005.71	4910.71	1005.71	4910.71

**Tabel 4. 49** Rekapitulasi penulangan hasil perhitungan desain penulangan *pile cap*

<b>Tipe <i>Pile Cap</i></b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Arah</b>	<b>Tulangan Bawah</b>	<b>Tulangan Atas</b>	<b>Tulangan Samping</b>
PC1 (2500 x 2000)	1600	Arah X	D25-75	D19-200	D25-125
		Arah Y	D25-75	D19-200	
PC2 (5000 x 2000)	1500	Arah X	D25-100	D16-200	D19-100
		Arah Y	D25-100	D16-200	
PC3 (4500 x 3500)	1500	Arah X	D25-100	D16-200	D19-100
		Arah Y	D25-100	D16-200	
PC4 (2000 x 1000)	1900	Arah X	D25-100	D16-200	D22-100
		Arah Y	D25-100	D16-200	

#### 4.8 Hasil Desain 3D

Pemodelan tiga dimensi (3D) dalam penelitian ini disusun sebagai gambaran akhir dari hasil analisis dan perencanaan struktur yang sudah dilakukan sebelumnya. Model tersebut menampilkan susunan elemen bangunan secara menyeluruh, mulai dari dimensi masing-masing komponen, karakteristik material, hingga sistem struktur yang diterapkan sesuai dengan hasil perhitungan. Melalui pemodelan ini, kondisi bangunan dapat divisualisasikan secara lebih jelas dan mendekati kondisi sebenarnya, sehingga mempermudah pemahaman terhadap keterkaitan antar elemen struktur. Selain berfungsi sebagai media visual, model 3D juga digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil desain, memastikan bahwa setiap bagian telah direncanakan secara terpadu dan memenuhi ketentuan teknis. Dengan demikian, model yang dihasilkan dapat menjadi dasar dalam proses peninjauan serta pengembangan lebih lanjut pada tahap perencanaan konstruksi. Berikut merupakan gambar Pemodelan Struktur Gedung BCA KCU Millenia Tebet.

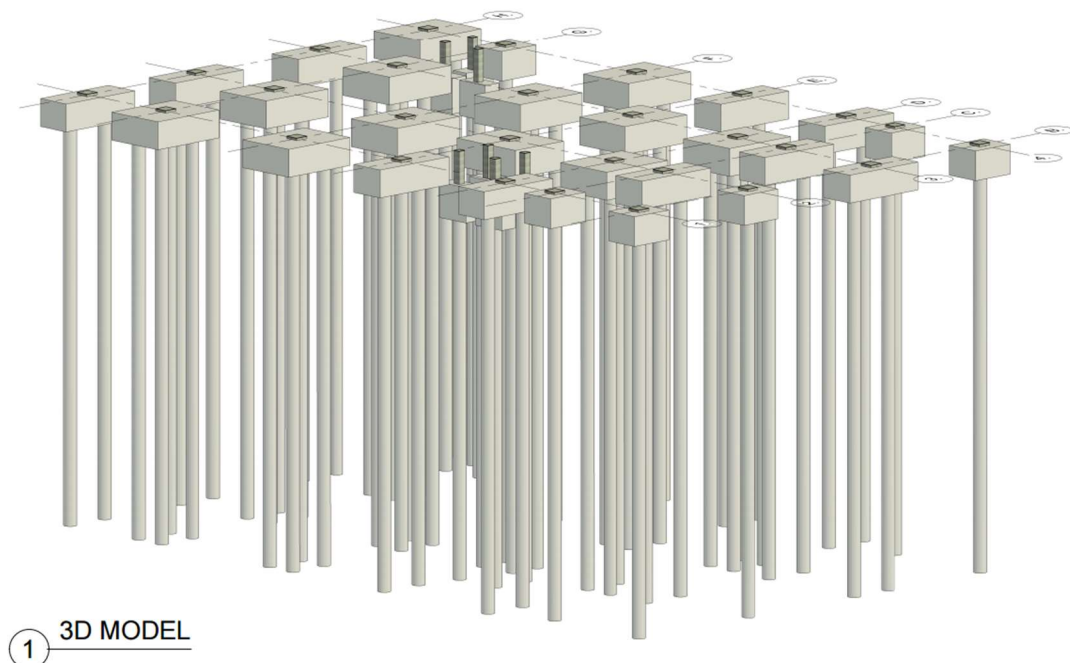


**Gambar 4. 21** Hasil permodelan 3D menggunakan *Autodesk Revit*

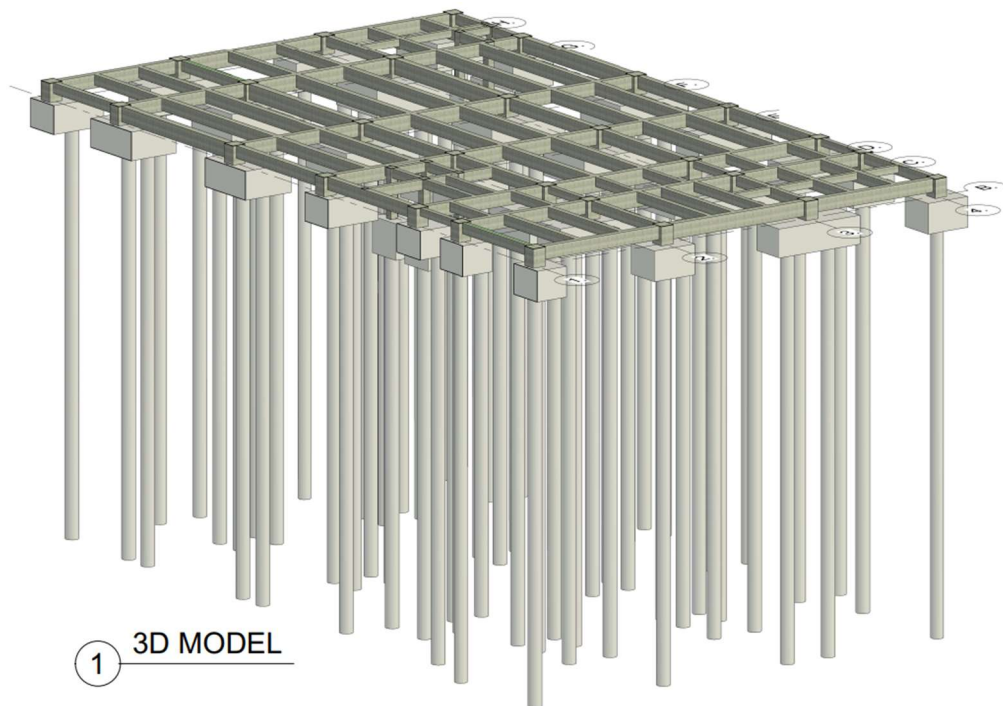
Pemodelan tiga dimensi (3D) pada penelitian ini dibuat sebagai hasil akhir dari proses analisis dan perencanaan struktur. Model ini menggambarkan keseluruhan sistem bangunan berdasarkan dimensi, material, dan konfigurasi yang telah ditentukan, meliputi elemen pelat, balok, kolom, serta pondasi yang saling terintegrasi. Dengan model tersebut, kondisi struktur dapat divisualisasikan secara lebih jelas dan digunakan sebagai acuan dalam evaluasi desain.

#### 4.8.1 Pemodelan Struktur Bawah

Pemodelan tiga dimensi (3D) dalam penelitian ini disajikan sebagai tahap akhir dari rangkaian analisis dan perencanaan struktur. Model yang dihasilkan menggambarkan sistem bangunan secara menyeluruh berdasarkan dimensi, material, dan susunan elemen yang telah ditentukan. Cakupan pemodelan meliputi struktur atas berupa pelat, balok, dan kolom, serta struktur bawah yang terdiri dari *bore pile*, *pile cap*, dan *Tie Beam* yang terintegrasi dalam satu kesatuan sistem. Permodelan 3D pada struktur bawah dapat dilihat pada **Gambar 4.22** dibawah ini.



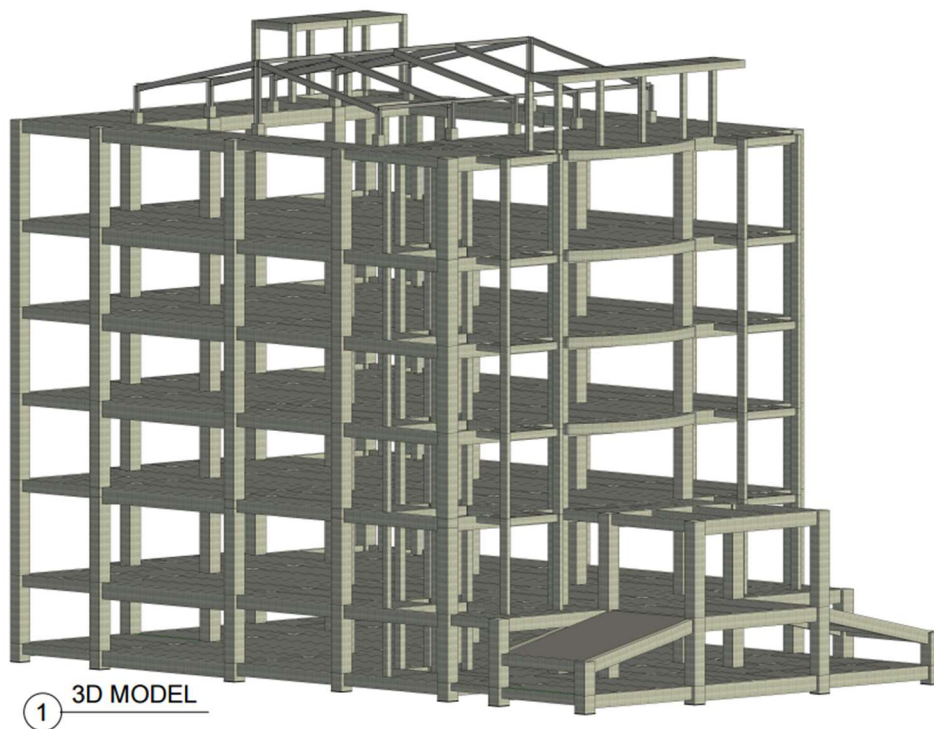
**Gambar 4. 22** Hasil permodelan 3D struktur bawah menggunakan *Autodesk Revit*



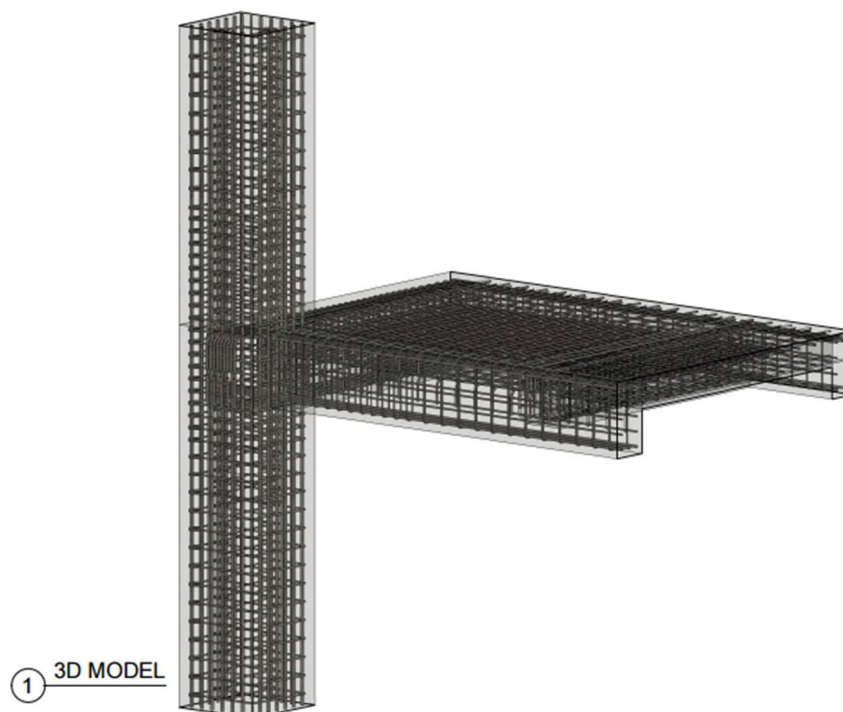
**Gambar 4. 23** Hasil permodelan 3D *Tie Beam* menggunakan *Autodesk Revit*

#### 4.8.2 Permodelan Struktur Atas

Pemodelan struktur atas pada perencanaan ini meliputi pelat, balok, dan kolom yang disusun berdasarkan dimensi, jenis material, serta konfigurasi yang telah direncanakan. Pelat direpresentasikan sebagai komponen yang menampung beban dari penggunaan bangunan dan meneruskannya ke balok, sekaligus berperan dalam menjaga kestabilan bidang lantai. Balok dimodelkan sebagai elemen yang menahan gaya lentur dan geser serta berfungsi menyalurkan beban menuju kolom. Selanjutnya, kolom digambarkan sebagai elemen vertikal yang membawa beban ke pondasi dan berkontribusi terhadap kestabilan struktur secara keseluruhan. Keseluruhan elemen tersebut disusun dalam satu model terpadu sehingga alur penyaluran beban dapat dipahami dengan jelas. permodelan struktur atas Gedung BCA KCU Millenia Tebet dapat dilihat pada **Gambar 4.24** dibawah ini.



**Gambar 4. 24** Hasil permodelan 3D struktur atas menggunakan *Autodesk Revit*



**Gambar 4. 25** Hasil 3D *joint* kolom-balok-pelat dengan *Autodesk Revit*

## 4.9 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

### 4.9.1 *Quantity Take Off* (QTO).

Perhitungan *quantity take off* pada penelitian ini dilakukan untuk seluruh elemen struktur, meliputi bagian atas dan bawah bangunan. Pada struktur atas meliputi pelat, balok, dan kolom, sedangkan struktur bawah terdiri dari *bore pile*, *pile cap*, dan *Tie Beam*. Perhitungan didasarkan pada ukuran geometris, detail penulangan, serta spesifikasi material yang telah direncanakan sebelumnya. Hasil dari proses ini menghasilkan estimasi volume beton, kebutuhan tulangan, dan item pekerjaan terkait lainnya secara sistematis. Data tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai acuan dalam penyusunan rencana anggaran biaya, perencanaan waktu pelaksanaan, serta pengendalian pekerjaan di lapangan agar pelaksanaan konstruksi dapat berjalan lebih efektif dan terorganisir. Berikut merupakan gambar hasil QTO yang diambil dari *revit*.

K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 75 x 5.63		5.63 m <sup>3</sup>	10000
K1 P (1): 10		5.63 m <sup>3</sup>	10000
K1 P (2)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (2)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (2)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (2)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (2)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K1 P (2)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 75 x 3.38		3.38 m <sup>3</sup>	6000
K1 P (2): 6		3.38 m <sup>3</sup>	6000
K2 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000
K2 P (1)	M_Concrete-Rectan	0.56 m <sup>3</sup>	1000

Gambar 4. 26 *Quantity take off* kolom dengan *Autodesk Revit*

Floor: S4 250: 4		47.35 m <sup>3</sup>	189 m <sup>2</sup>
: 57		531.50 m <sup>3</sup>	3843 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (1)	Floor: S3 180	2.37 m <sup>3</sup>	13 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (1)	Floor: S3 180	2.43 m <sup>3</sup>	14 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (1)	Floor: S3 180	2.27 m <sup>3</sup>	13 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (1)	Floor: S3 180	13.94 m <sup>3</sup>	77 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (1)	Floor: S3 180	37.37 m <sup>3</sup>	208 m <sup>2</sup>
Floor: S3 180: 5		58.39 m <sup>3</sup>	324 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (1): 5		58.39 m <sup>3</sup>	324 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (2)	Floor: S3 180	29.80 m <sup>3</sup>	166 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (2)	Floor: S3 180	28.41 m <sup>3</sup>	158 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (2)	Floor: S3 180	37.19 m <sup>3</sup>	207 m <sup>2</sup>
Floor: S3 180: 3		95.40 m <sup>3</sup>	530 m <sup>2</sup>
S3 LTDASAR (2): 3		95.40 m <sup>3</sup>	530 m <sup>2</sup>

**Gambar 4. 27** *Quantity take off* pelat dengan Autodesk Revit

: 549	633.23 m <sup>3</sup>		3347040
TB1 LT DASAR (1)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000
TB1 LT DASAR (1)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000
TB1 LT DASAR (1)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000
TB1 LT DASAR (1)	2.96 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	10000
TB1 LT DASAR (1)	2.96 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	10000
TB1 LT DASAR (1)	2.96 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	10000
TB1 LT DASAR (1)	2.96 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	10000
M_Concrete-Rectan	19.76 m <sup>3</sup>		67000
TB1 LT DASAR (1):	19.76 m <sup>3</sup>		67000
TB1 LT DASAR (2)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000
TB1 LT DASAR (2)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000
TB1 LT DASAR (2)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000
TB1 LT DASAR (2)	2.64 m <sup>3</sup>	M_Concrete-Rectan	9000

**Gambar 4. 28** *Quantity take off* balok dengan Autodesk Revit

PC.1: PC.1	8.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.1: PC.1: 1	8.00 m <sup>3</sup>	
PC.2: PC.2	15.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.2: PC.2	15.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.2: PC.2	15.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.2: PC.2	15.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.2: PC.2	15.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.2: PC.2	15.00 m <sup>3</sup>	PC2 (2)
PC.2: PC.2: 7	105.00 m <sup>3</sup>	
PC2 (2): 8	113.00 m <sup>3</sup>	
PC.3: PC.3	23.63 m <sup>3</sup>	PC3 (1)

**Gambar 4. 29** *Quantity take off* pondasi dengan Autodesk Revit

#### 4.9.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Hasil penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan struktur pada proses redesign Gedung BCA KCU Millenia yaitu sebesar Rp13,662,974,831.08 (termasuk PPN 11%). Perhitungan tersebut dilakukan dengan memperhatikan volume masing-masing pekerjaan struktur, analisis harga satuan, penggunaan material, serta metode pelaksanaan konstruksi yang diterapkan. Pada Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat dilihat pada **Gambar 4.30**.

Proyek : Gedung BCA KCU MILLENIA TEBET  
 Alamat : Jl. Letjen M.T. Haryono No.11, RT.11/RW.5,  
 Tebet Bar., Kec. Tebet, Kota Jakarta Selatan,

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp.)
1	<b>PEKERJAAN PERSIAPAN</b>	
	Pekerjaan Persiapan	312,788,068
2	<b>PEKERJAAN STRUKTUR BAWAH</b>	
	Pekerjaan Boredpile	1,704,173,613
	Pekerjaan Pilecap	1,283,863,553
	Pekerjaan Tiebeam	537,306,258
3	<b>PEKERJAAN STRUKTUR ATAS</b>	
	Pekerjaan Pelat	2,877,260,551
	Pekerjaan Kolom	1,855,618,138
	Pekerjaan Balok	3,331,182,792
	Pekerjaan Rangka Atap Baja	406,793,363
	<b>Jumlah</b>	<b>12,308,986,334.31</b>
	<b>PPN 11%</b>	<b>1,353,988,496.77</b>
	<b>Total Harga</b>	<b>13,662,974,831.08</b>

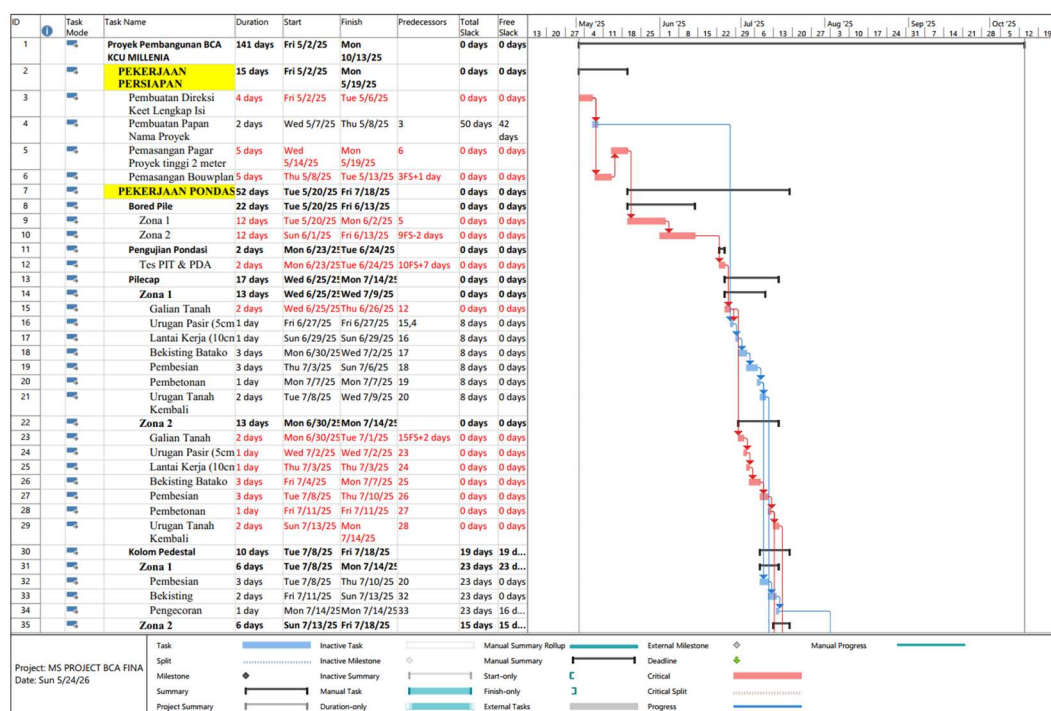
**Gambar 4. 30** Rekapitulasi hasil rencana anggaran biaya (RAB)

#### 4.10 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah salah satu tahapan yang berperan penting dalam mendukung kelancaran pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Untuk menyusun urutan kegiatan secara terarah dan sistematis, digunakan metode *Networking Planning* (NWP) yang mampu menggambarkan hubungan ketergantungan antar aktivitas pekerjaan dalam suatu proyek. Melalui metode ini, setiap tahapan pekerjaan dapat disusun berdasarkan keterkaitan dan urutan pelaksanaannya sehingga proses konstruksi dapat berjalan dengan lebih efektif dan terorganisasi.

Dalam Perencanaan ini, penyusunan *Networking Planning* dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Microsoft Project* sebagai alat bantu dalam menentukan durasi pekerjaan, mengatur hubungan antaraktivitas, serta menganalisis jalur kritis (*critical path*). Hasil perencanaan tersebut digunakan sebagai dasar penyusunan jadwal pelaksanaan pada pekerjaan redesain Gedung BCA KCU Millenia Tebet agar seluruh rangkaian pekerjaan dapat terlaksana sesuai target waktu yang telah direncanakan.

Diagram NWP pada penelitian ini dicantumkan pada bagian lampiran sebagai bentuk visualisasi hubungan antarpekerjaan dan urutan aktivitas proyek. Diagram tersebut digunakan untuk memperlihatkan alur pelaksanaan pekerjaan sehingga setiap tahapan kegiatan dalam proyek dapat dipahami secara lebih jelas dan terstruktur.



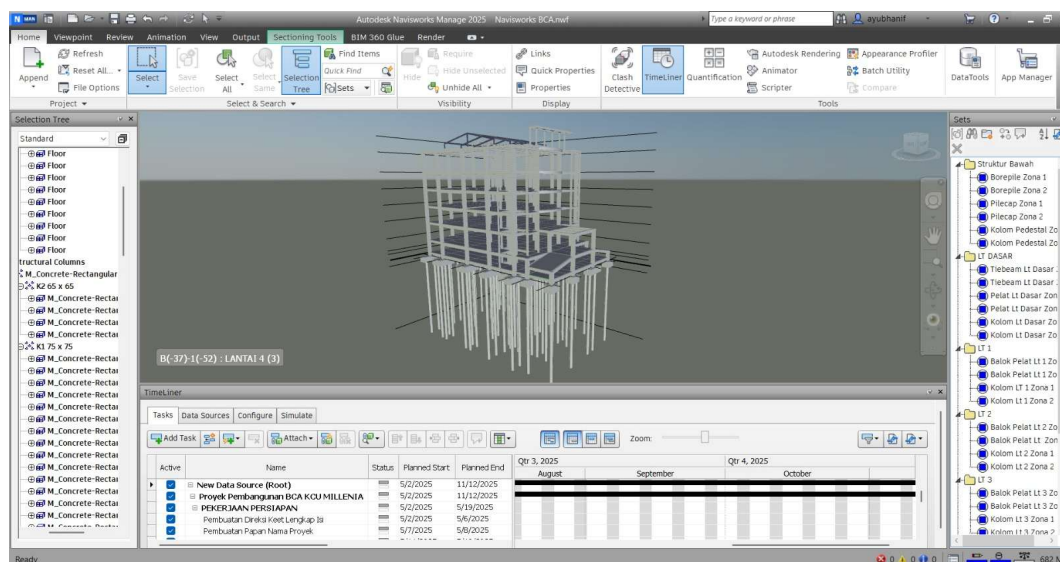
**Gambar 4. 31** Penjadwalan proyek menggunakan *Microsoft Project*

Berdasarkan **Gambar 4.31** diatas, pekerjaan struktur bawah hingga struktur atas pada Gedung BCA KCU Millenia Tebet didapatkan hasil durasi rencana yaitu 141 hari kalender dengan menerapkan sistem pembagian zona pekerjaan menjadi 2 bagian.

#### 4.11 Integrasi *Building Information Modelling* (BIM)

Pada perencanaan proyek pembangunan Gedung BCA KCU Millenia Tebet, integrasi model struktur dilakukan dengan bantuan *Autodesk Navisworks* untuk menyatukan seluruh elemen struktur, seperti struktur bawah dan struktur atas bangunan, penjadwalan, dan juga biaya ke dalam satu model terintegrasi. Tahapan ini bertujuan agar keseluruhan antar dimensi *Building Information Modelling* 3D, 4D, serta 5D dapat ditampilkan dan ditinjau secara lebih mudah. Model struktur yang telah dibuat sebelumnya dimasukkan ke dalam *Autodesk Navisworks*, kemudian dilakukan penyesuaian posisi dan koordinat agar setiap komponen tersusun sesuai perencanaan. Setelah itu, model dihubungkan dengan data penjadwalan dan juga biaya proyek sehingga terbentuk simulasi pekerjaan konstruksi berbasis 4D sesuai urutan pelaksanaan di lapangan.

Hasil integrasi tersebut memudahkan proses visualisasi, pemantauan progres pekerjaan, serta membantu pengendalian pelaksanaan konstruksi pada proyek pembangunan Gedung BCA KCU Millenia Tebet. Berikut merupakan gambar Integrasi *Building Information Modelling* (BIM) 5D yang dihasilkan dari *Autodesk Navisworks*.



**Gambar 4. 32** Integrasi *Building Information Modelling* (BIM) 5D