

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Perencanaan**

Data perencanaan pada struktur bangunan Gedung Parkir Umum Dinas Teknis adalah sebagai berikut :

- a. Tipe bangunan : Gedung Parkir
- b. Lokasi bangunan : Jatibaru
- c. Lebar bangunan : 58,80 m
- d. Panjang bangunan : 49,75 m
- e. Ketinggian bangunan : 10 Lantai (41,75 m)
- f. Mutu Beton : 40 dan 35 MPa
- g. Mutu Tulangan Baja : BJTD 420B

#### **4.2 Preliminary Design**

*Preliminary design* dilakukan untuk menentukan dimensi kasar dari suatu komponen struktur. Standar *preliminary design* yang digunakan pada perencanaan ini mengacu pada SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 yang mengatur tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.

##### **4.2.1 Perencanaan Dimensi Balok**

Rencana dimensi balok yang digunakan pada perencanaan ini mengikuti acuan perencanaan balok jenis beton bertulang, sehingga standar acuan yang digunakan untuk penentuan tinggi balok mengikuti SNI 2847:2019 pasal 9.5.2.2 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung mengikuti ketentuan yang terdapat pada rincian tabel 9.5 (a), sementara batasan dimensi balok ditentukan dengan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1.

Untuk data rencana dimensi balok yang sudah dihitung adalah sebagai berikut:

a) Balok G1 X (Balok Induk)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok (L)} &= 6500 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi Balok (h)} &= \frac{L}{12} \\
 &= \frac{6500}{12} \\
 &= 542 \text{ mm diambil } 600 \text{ mm} \\
 \text{Lebar Balok (b)} &= \frac{1}{3} h \\
 &= \frac{1}{3} \times 600 \\
 &= 200 \text{ mm diambil } 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b) Balok B2 (Balok anak)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok (L)} &= 6500 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi Balok (h)} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{6500}{16} \\
 &= 406,25 \text{ mm diambil } 550 \text{ mm} \\
 \text{Lebar Balok (b)} &= \frac{1}{3} h \\
 &= \frac{1}{3} \times 550 \\
 &= 183,33 \text{ mm diambil } 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil rekapitulasi dari perhitungan preliminay dimensi struktur balok, sebagai berikut:

a) Lantai 1A

**Tabel 4. 1** Rekapitulasi Balok Lantai 1A

| Tipe Balok | Ukuran Balok | Bentang L (mm) | Syarat Dimensi SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 |                              |                               |                             |
|------------|--------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|            |              |                | Syarat 1 ( $\ell_n \geq 4d$ )               | Syarat 2 ( $b_w \geq 0,3h$ ) | Syarat 3 ( $b_w \geq 250$ mm) | Syarat 4 ( $b_w < b$ kolom) |
| TB1        | 350 x 600    | 6500           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| TB2        | 400 x 700    | 8400           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| TB1 K      | 350 x 600    | 3650           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |

b) Lantai 1B – Lantai 10B

**Tabel 4. 2** Rekapitulasi Dimensi Balok Lantai 1B-10B

| Tipe Balok | Ukuran Balok | Bentang L (mm) | Syarat Dimensi SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 |                              |                               |                             |
|------------|--------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|            |              |                | Syarat 1 ( $l_n \geq 4d$ )                  | Syarat 2 ( $b_w \geq 0,3h$ ) | Syarat 3 ( $b_w \geq 250$ mm) | Syarat 4 ( $b_w < b$ kolom) |
| G1 X       | 350 x 700    | 6500           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| G1X K      | 350 X 700    | 3650           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| G1 Y       | 400 x 700    | 8400           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| G6         | 350 x 900    | 10665          | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| G7         | 350 x 850    | 10085          | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| G8         | 500 x 960    | 11500          | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |

| Tipe Balok    | Ukuran Balok | Bentang L (mm) | Syarat Dimensi SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 |                              |                               |                             |
|---------------|--------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|               |              |                | Syarat 1 ( $l_n \geq 4d$ )                  | Syarat 2 ( $b_w \geq 0,3h$ ) | Syarat 3 ( $b_w \geq 250$ mm) | Syarat 4 ( $b_w < b$ kolom) |
| B1            | 250 x 550    | 8400           | OK                                          | OK                           | -                             | OK                          |
| B2            | 300 x 550    | 6500           | OK                                          | OK                           | -                             | OK                          |
| B3            | 350 x 450    | 6500           | OK                                          | OK                           | -                             | OK                          |
| B4            | 350 X 700    | 10665          | OK                                          | OK                           | -                             | OK                          |
| BR1           | 350 x 450    | 6275           | OK                                          | OK                           | -                             | OK                          |
| B1 Kantilever | 250 x 550    | 1850           | OK                                          | OK                           | -                             | OK                          |
| RMBP1         | 400 x 700    | 5750           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |

| Tipe Balok | Ukuran Balok | Bentang L (mm) | Syarat Dimensi SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 |                              |                               |                             |
|------------|--------------|----------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|            |              |                | Syarat 1 ( $l_n \geq 4d$ )                  | Syarat 2 ( $b_w \geq 0,3h$ ) | Syarat 3 ( $b_w \geq 250$ mm) | Syarat 4 ( $b_w < b$ kolom) |
| RMBP2      | 350 x 550    | 5750           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| RMBP3      | 250 x 400    | 4200           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |
| RMBP4      | 425 x 850    | 8400           | OK                                          | OK                           | OK                            | OK                          |

#### 4.2.2 Perencanaan Dimensi Pelat

Pada penentuan dimensi pelat, digunakan acuan menurut SNI 2847-2013 pasal 9.5.3 dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Jika,  $\alpha m \leq 0,2$  menggunakan pasal 9.5.3.2
- b) Untuk  $0,2 < \alpha m \leq 2,0$  sedangkan h tidak boleh kurang dari:

$$\frac{\ln \left( 0,8 + \frac{F_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha m - 0,2)}$$

- c) Untuk  $\alpha m > 2,0$ , sedangkan h tidak boleh kurang dari:

$$\frac{\ln \left( 0,8 + \frac{F_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

- d) Perhitungan preliminary tebal pelat

$$f'_c \text{ Beton} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ untuk tulangan utama} = 420 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ untuk tulangan sengkang} = 420 \text{ MPa}$$

SNI 2847:2019 memberikan batasan pada tabel 8.3.2.1 untuk ketebalan minimum pelat nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisi

Ukuran pelat

$$\text{Panjang (ly)} = 1066,5 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar (lx)} = 280 \text{ cm}$$

Dimensi penampang balok pendukung pelat

$$G2 \text{ X1} = 90,00 \times 45,00$$

$$B2 \text{ X2} = 55,00 \times 35,00$$

$$G2 \text{ Y1 Y2} = 90,00 \times 45,00$$

Bentang bersih Plat

$$\begin{aligned} \text{Ln Ly} &= \text{Ly} - \frac{\text{bw}}{2} + \frac{\text{bw}}{2} \\ &= 1066,5 - \frac{45,00}{2} + \frac{45,00}{2} \\ &= 1066,5 - 22,5 + 22,5 \\ &= 1021,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_n L_x &= 280 - \frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \\
 &= 280 - \frac{35,00}{2} + \frac{45,00}{2} \\
 &= 280 - 17,5 + 22,5 \\
 &= 240 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kategori  
Pelat

$$\begin{aligned}
 \beta &= \frac{L_{ny}}{L_{nx}} \\
 &= \frac{1021,5}{240} = 4,2562 < 5 < 2,5 \\
 &= \text{plat satu arah}
 \end{aligned}$$

Menentukan Nilai Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Kuat Lentur Plat ( $\alpha_f$ )  
 Pada Balok Melintang (Lx) G2, Mencari Lebar Efektif Flens ( $b_e$ ) > SNI  
 2847=2019 Pasal 13.2.4

$$\text{Lebar Balok } (bw) = 45,00 \text{ cm}$$

Tebal Pelat Rencana

$$(h_f) = 12 \text{ cm}$$

Tinggi Balok-Tebal Plat

$$(h_b) = 90,00 - 12$$

$$b_{e1} = bw + 2h_w < bw + 8h_f$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persamaan 1} &= bw + 2h_w \\
 &= 45,00 + 2(h-t) \\
 &= 45,00 + 156 \\
 &= 201,0 \\
 &= 0 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persamaan 2} &= bw + 8h_f \\
 &= 45,00 + 96 \\
 &= 141 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dari kedua persamaan diatas diambil nilai lebar efektif ( $b_e$ ) yang terkecil  
 $= 141,00 \text{ cm}$



Momen inersia penampang T balok

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1}{12} + \frac{0,284}{3,276} \\
 &= \frac{1,932}{1,284} = 1,504
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{1}{12} b_w h^3 k \\
 &= 0,083 \times 45,00 \times 729000,0 \times 1,504 \\
 &= 4111737 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Momen inersia pada lajur plat lantai

$$\begin{aligned}
 I_p &= b_p \times \frac{t^3}{12} \\
 &= 280 \times \frac{1728}{12} \\
 &= 40320 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok Lx pada plat lantai dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \frac{I_b}{I_p} \\
 &= \frac{4111737,3}{40320} \\
 &= 101,97761
 \end{aligned}$$

Menentukan Nilai Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Kuat Lentur Plat ( $\alpha_f$ )  
 Pada Balok Melintang (Ly) B2, Mencari Lebar Efektif Flens ( $b_e$ ) > SNI  
 2847=2019 Pasal 13.2.4

$$\text{Lebar Balok } (b_w) = 35,00 \text{ cm}$$

Tebal Pelat Rencana

$$(h_f) = 12 \text{ cm}$$

Tinggi Balok-Tebal

$$\text{Plat } (hb) = 55,00 - 12$$

$$be1 = bw + 2hw < bw + 8hf$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan 1} &= bw + 2hw \\ &= 35,00 + 2(h-t) \\ &= 35,00 + 86 \\ &= 121,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan 2} &= bw + 8hf \\ &= 35,00 + 96 \\ &= 131,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari kedua persamaan diatas diambil nilai lebar efektif (be)  
yang terkecil = 121 cm

Momen inersia penampang T balok

$$\begin{aligned} k &= \frac{1 + 0,5361039}{1 + 0,5361039} \cdot 2,906843 \\ &= \frac{2,5583697}{1,5361039} = 1,6654926 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ib &= \frac{1}{12} bw h^3 k \\ &= 0,0833333 \times 35,00 \times 166375,00 \times 1,66549 \\ &= 808197,63 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia pada lajur plat lantai

$$\begin{aligned} Ip &= bp \times \frac{t^3}{12} \\ &= 1066,5 \times \frac{1728}{12} \\ &= 153576 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok Lx pada plat lantai dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{I_b}{I_p} \\ &= \frac{808197,63}{153576} \\ &= 5,2625256 \end{aligned}$$

Menentukan Nilai Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Kuat Lentur Plat ( $\alpha_f$ )  
Pada Balok Memanjang ( $L_y$ )

$$\text{Lebar Balok } (b_w) = 45,00 \text{ cm}$$

Tebal Pelat Rencana

$$(h_f) = 12 \text{ cm}$$

Tinggi Balok-Tebal Plat

$$(h_b) = 90,00 - 12$$

$$b_{e1} = b_w + 2h_w < b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan 1} &= b_w + 2h_w \\ &= 45,00 + 2(h-t) \\ &= 45,00 + 156 \\ &= 201,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan 2} &= b_w + 8h_f \\ &= 45,00 + 96 \\ &= 141,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari kedua persamaan di atas diambil nilai lebar efektif ( $b_e$ ) yang terkecil

$$= 141,00$$

Momen inersia penampang T balok

$$\begin{aligned} &= \frac{1 + 0,284444}{1 + 0,284444} \cdot 3,27616 \\ &= 1,9318878 = 1,5040649 \\ &\quad \underline{1,2844444} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{1}{12} b_w h^3 k \\
 &= 0,0833333 \cdot 45,00 \cdot 729000,0 \cdot 1,50406 \\
 &= 4111737,3 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Momen inersia pada lajur plat lantai

$$\begin{aligned}
 I_p &= b_p \times \frac{t^3}{12} \\
 &= 1066,5 \times \frac{1728}{12} \\
 &= 153576 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok Lx pada plat lantai dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 \alpha_2 &= \frac{I_b}{I_p} \\
 &= \frac{4111737,3}{153576} \\
 &= 26,773307
 \end{aligned}$$

Nilai Rata-rata Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Kuat Lentur Pelat (*afm*)

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= 101,97761 \\
 \alpha_3 &= 5,2625256 \\
 \alpha_2 &= \alpha_4 = 26,773307
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} \\
 &= \frac{160,78675}{4} = 40,196688
 \end{aligned}$$

Dari hasil rata-rata perhitungan rasio kekakuan balok dan pelat rata-rata yang didapat  $> 2$ ,

maka sesuai dengan SNI 03-2847-2019 Pasal 9.5.3.3 untuk menghitung tebal plat yaitu sbb :

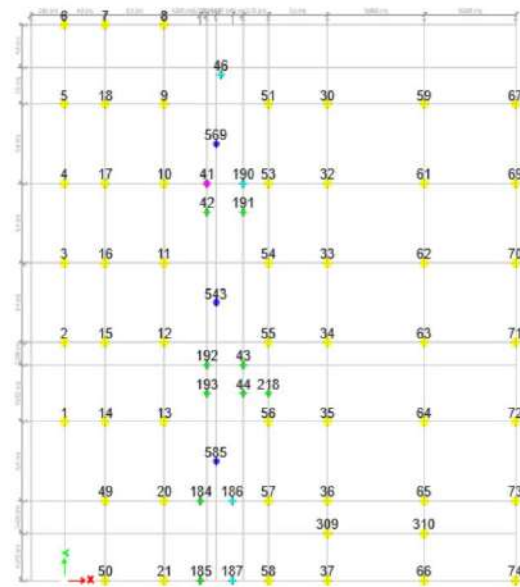
$$\begin{aligned}
 t &= \frac{l_{ny} \times 0,8 + f_y/1400}{36 + 9\beta} \\
 &= \frac{10215 \times 0,8 + \frac{420}{1400}}{74,30625} \\
 &= \frac{8172,3}{74,30625} = 109,98133 < 120\text{mm} \\
 &\hspace{15em} \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

e) Perhitungan preliminary tebal pelat

**Tabel 4. 3** Rekapitulasi Preliminary Tebal Pelat

| <b>Tipe</b> | <b>Tebal Pelat</b> | <b>Ly (m)</b> | <b>Lx (m)</b> | <b>Lny (a)</b> | <b>Ln timer (b)</b> | <b>a/b</b> | <b>Tipe Plat</b> | <b>Lokasi Plat</b>                     |
|-------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------------------|
| Pelat 1     | 12 cm              | 10,66         | 2,8           | 10,21          | 2,4                 | 4,25       | 1 Arah           | Lantai 1B-10B AS 7-9' dan AS 9'-10     |
| Pelat 2     | 12 cm              | 6,5           | 2,8           | 6,05           | 2,45                | 2,46       | 2 Arah           | Lantai 1A-10A dan Lantai 1B-10B AS 6-7 |
| Pelat 3     | 10 cm              | 4,5           | 2,8           | 4,1            | 2,35                | 1,74       | 2 Arah           | Lantai Atap dan Lantai Atap Lift       |

### 4.2.3 Perencanaan Dimensi Kolom



**Gambar 4. 1** Denah Kolom Bangunan

Penentuan dimensi kolom disyaratkan mengikuti SNI 2847-2019 pasal 18.7.2 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung yang dijelaskan sebagai berikut:

- Dimensi penampang terkecil  $\leq 300$  mm
- Rasio penampang kolom  $< 0,4$

Dimensi kolom ditentukan dengan perhitungan kekakuan kolom yang dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{I_{Kolom}}{H_{Kolom}} > \frac{I_{Balok}}{L_{Balok}}$$

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Tipe Kolom                 | = K1      |
| Tinggi Kolom               | = 350 cm  |
| Dimensi Balok ditumpu (G8) | = b       |
|                            | = 35 cm   |
|                            | h = 96 cm |
| Bentang Balok              | = 650 cm  |

Perhitungan perencanaan

$$\begin{aligned}
 I \text{ balok} &= \frac{1}{12} b x h^3 \\
 &= 0,83333 x 35 x 96 \\
 &= 2580480 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I \text{ Kolom} &= \frac{L \text{ Kolom} x I \text{ Balok}}{L \text{ Balok}} \\
 &= \frac{350 x 2580480}{650} \\
 &= 1389489,2 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{Direncanakan } b \text{ kolom} = h \text{ kolom}$$

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

$$1389489,23 = \frac{1}{12} b x h^4$$

$$h^4 = 16673871 \text{ cm}$$

$$h \text{ pakai} = 63,901214 \text{ cm} \sim 64 \text{ cm}$$

Maka, diambil dimensi kolom K1 = 80 cm x 80 cm

Berikut adalah hasil rekapitulasi dari perhitungan *preliminary* dimensi struktur kolom, sebagai berikut:

**Tabel 4. 4** Rekapitulasi Preliminary Struktur Kolom

| No | Jenis Kolom | Ukuran (mm) | Syarat SNI 2847-2019 pasal 18.7.2           |                               |
|----|-------------|-------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
|    |             |             | Dimensi Min Penampang $\geq 300 \text{ mm}$ | Rasio Penampang Kolom $> 0,4$ |
| 1. | Kolom K1    | 800 x 800   | OK                                          | OK                            |
| 2. | Kolom K3    | 500 x 500   | OK                                          | OK                            |
| 4. | Kolom K4    | 450 x 450   | OK                                          | OK                            |
| 5. | Kolom K5    | 500 x 500   | OK                                          | OK                            |
| 6. | Kolom K6    | 550 x 550   | OK                                          | OK                            |
| 7. | Kolom K7    | 600 x 600   | OK                                          | OK                            |
| 8. | Kolom K8    | 650 x 650   | OK                                          | OK                            |



### 4.3 Pemodelan Rangka Struktur dengan ETABS

Pemodelan rangka struktur Gedung Parkir Umum Dinas Teknis Jatibaru dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS v22 untuk mensimulasikan perilaku struktur dan memperoleh gaya dalam yang digunakan pada tahap perencanaan elemen. Pemodelan dimulai dengan pembuatan sistem *grid* sesuai gambar DED yang mencakup denah dan elevasi bangunan. Proses ini diawali dengan memilih opsi *New Model* → *Grid Only* dan menyesuaikan jarak antar garis grid dengan data lapangan.

Selanjutnya dilakukan *input* properti material sesuai spesifikasi perencanaan, meliputi beton bertulang ( $f_c'$ ) untuk balok, kolom, pelat, pondasi, serta baja tulangan ( $f_y$ ) untuk elemen tulangan. *Input* material dilakukan melalui menu *Define* → *Material* → *Add New Material*, kemudian disesuaikan mutu, berat jenis, dan modulus elastisitasnya sesuai SNI 2847:2019. Setelah itu, didefinisikan properti penampang balok, kolom, dan pelat menggunakan *Define* → *Section Properties* dengan dimensi yang telah diperoleh pada tahap *preliminary design*. Untuk balok dan kolom, juga diinput data tulangan rencana melalui pengaturan *Concrete Reinforcement* pada *section properties*.

Pemodelan pelat lantai dilakukan menggunakan perintah *Define* → *Section Properties* → *Area Section* → *Add New Section*, dengan ketebalan mengacu hasil perencanaan. Kondisi tumpuan dimodelkan sebagai perletakan jepit (*fixed support*) pada ujung kolom yang terhubung ke pondasi tiang pancang, melalui perintah *Assign* → *Joint* → *Restraints*. *Diaphragm constraint* diterapkan pada masing-masing lantai untuk mensimulasikan diafragma kaku sesuai ketentuan SNI 1726:2019, menggunakan *Assign* → *Joint* → *Diaphragms*.

**Tabel 4. 5** Rekap Parameter Pemodelan Rangka Struktur

| Komponen        | Parameter     | Spesifikasi                                                |
|-----------------|---------------|------------------------------------------------------------|
| Perangkat Lunak | Versi         | ETABs v22                                                  |
| Sistem Struktur | Jenis         | SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)                 |
| Material        | Beton         | $f_c' : 35 \text{ MPa}$                                    |
|                 | Baja Tulangan | $f_y' : 420 \text{ MPa}$                                   |
| Tumpuan         | Perletakan    | Jepit ( <i>fixed support</i> ) pada ujung kolom di pondasi |

#### 4.4 Analisis Pembebanan

##### 4.3.1 Analisis Beban Mati

Terdapat dua jenis beban mati yang digunakan pada Gedung Parkir Jatibaru yang terdiri beban mati struktur sendiri dan beban mati tambahan. Berat beban mati yang digunakan mengacu pada ketentuan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987) dan SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung. Beban mati pada pemodelan dalam *software* analisis struktur sudah terhitung secara otomatis dari hasil elemen struktur yang dimodelkan dengan *Software ETABS*. Lalu, untuk beban mati tambahan (SDL) berupa beban mati yang terdiri dari beban dinding atau struktur lain yang sifatnya tetap. Untuk beban dinding sendiri, penginputannya dimodelkan dengan beban merata pada balok yang menumpu dinding.

a) Berat mati

$$\begin{aligned} \text{Beban pelat lantai atap} & : 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 0,1 \text{ m} = 240 \text{ Kg/m}^2 \\ & = 2,4 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban pelat lantai 1 - 10} & : 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 0,12 \text{ m} = 288 \text{ Kg/m}^2 \\ & = 2,88 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

b) Beban mati tambahan pada pelat

$$\text{Beban } \textit{floor hardener} = 0,05 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban rangka dan plafond} = 0,18 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban } \textit{mechanical electrical} = 0,2 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban } \textit{plumbing} = 0,1 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Total beban tambahan pelat} = 0,53 \text{ KN/m}^2$$

c) Beban mati tambahan pada balok lantai

$$\text{Beban dinding parapet } h = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar dinding parapet } b = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Luas dinding parapet} = 1,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,24 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri dinding parapet} &= 0,24 \text{ m}^2 \times 2400 = 576 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 5,76 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

d) Beban Tangga

$$\text{Tebal pelat} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Optrade tangga} = 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 4 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} h' &= h + \text{optrade tangga} \times \cos \alpha \\ &= 12 + \left(\frac{17,5}{2}\right) \times 0,86 = 19,58 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal anak tangga} &= h' - \text{Tebal Pelat} \\ &= 19,58 \text{ cm} - 12 \text{ cm} = 0,076 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban anak tangga} &= 0,076 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 576 \text{ Kg/ m}^2 \\ &= 5,76 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Spesi (3 cm): } &3 \times 21 \text{ Kg/m}^3 = 63 \text{ Kg/ m}^2 \\ &= 0,63 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Handrill} = 15 \text{ Kg/m}^2 = 0,15 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Penutup Lantai} = 24 \text{ Kg/m}^2 = 0,24 \text{ KN/m}^2$$

#### 4.3.2 Analisis Beban Hidup

Beban hidup disyaratkan mengikuti ketentuan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (1987) dan SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung yang menyebutkan peraturan mengenai beban keberadaan manusia, berat sementara benda, dan berat sesuai fungsi ruangan. Beban hidup yang terdapat pada Gedung Parkir Jatibaru adalah sebagai berikut:

a) Beban hidup pada pelat lantai

|                                       |                         |                          |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Beban hidup gedung parkir             | = 400 Kg/m <sup>2</sup> |                          |
| Beban mobil penumpang                 | = 192 Kg/m <sup>2</sup> |                          |
| Total beban hidup pada pelat lantai   | = 592 Kg/m <sup>2</sup> | = 5,93 KN/m <sup>2</sup> |
| b) Beban hidup pada pelat lantai atap |                         |                          |
| Beban hidup lantai atap               | = 100 Kg/m <sup>2</sup> | = 1 KN/m <sup>2</sup>    |
| c) Beban hidup pada tangga            |                         |                          |
| Beban hidup tangga                    | = 300 Kg/m <sup>2</sup> | = 3 KN/m <sup>2</sup>    |

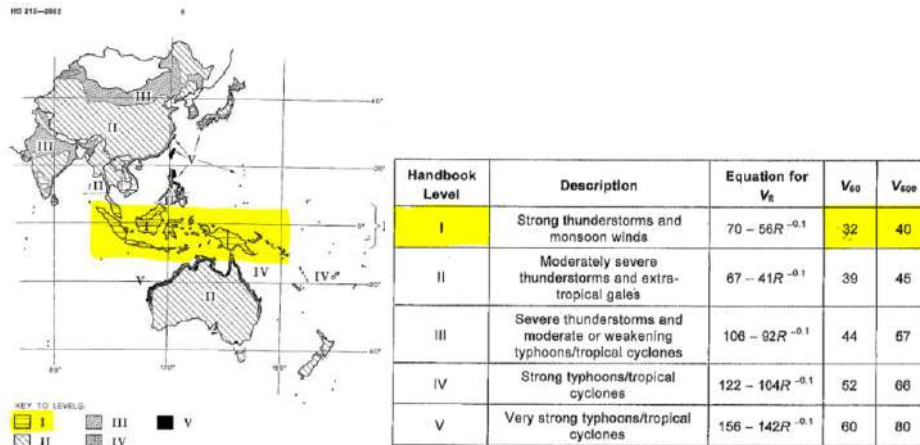
### 4.3.3 Analisis Beban Angin

#### 4.3.3.1 Data Perencanaan

- Tipe bangunan = Gedung Parkir
- Lokasi bangunan = Jatibaru
- Lebar bangunan, B = 58,80 m
- Panjang bangunan, L = 49,75 m
- Ketinggian bangunan = 10 Lantai (41,75 m)
- Mutu Beton = 35 dan 40 MPa
- Mutu Tulangan Baja = BJTD 420B

#### 4.3.3.2 Perencanaan dan Perhitungan Beban Angin

- a) Kategori risiko bangunan : II (SNI 1726:2019 dan ASCE 7-16)
- b) Kecepatan angin dasar : 25 m/s (Hb 212-2002-*Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region*, wilayah Indonesia berada di sekitar garis ekuator di level I, dengan wind speed periode 50 tahunannya 32 m/s dan 40m/s untuk periode 500 tahunan, untuk wilayah Jakarta tahun ini kecepatan angin terbesar di 76 kph atau 21,1 m/s).



**Gambar 4. 2** *Design wind Speed Asia-Pasific*

*Sumber : Hb 212-2002-Design Wind Speeds for the Asia-Pasific Region*

- c) Faktor arah angin,  $K_d$  (*Wind Directionally Factor*) : **0,85** (*building* atau bangunan gedung sesuai dengan SNI 1727:2020 tabel 26.6-1 atau ASCE 7-16 table 26.6-1).
- d) Kategori eksposur atau kekeasaran permukaan : **B** ( di daerah perkotaan, SNI 1727:2020 pasal 26.7).
- e) Faktor topografi,  $K_{zt}$  : **1** (SNI 1727:2020 pasal 26.8.2)
- f) Faktor elevasi permukaan tanah,  $K_e$  : **1** (ASCE 7-16, 26.9 tabel 26.9-1)
- g) Faktor *gust effect* atau hembusan angin,  $G$  : **0,85** (ASCE 7-16, pasal 26.11.1)
- h) Klasifikasi jenis bangunan tertutupan : *Partially open building*, bangunan terbuka sebagian (ASCE 7-16, 26.12)
- i) Koefisien tekanan internal,  $GC_{pi}$  : **± 0,18** (ASCE 7-16, tabel 26.13-1)
- j) Koefisien eksposur tekanan velositas,  $K_z$  atau  $K_h$  :

Tinggi bangunan,  $Z$  : 41,75 m

Koefisien medan paparan  $\alpha$  : 7,0 (eksposur bangunan B)

Ketinggian medan paparan,  $Z_g$  : 365,76 (eksposur bangunan B)

$K_z$ , untuk bangunan dengan ketinggian  $15 \text{ ft } (4,6 \text{ m}) \leq Z \leq Z_g$  :

$$K_z = 2,01 \left( \frac{Z}{Z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$= 2,01 \left( \frac{41,75}{365,76} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$= 2,01 (0,5379)$$

$$= 1,08118$$

$$K_h = K_z = 1,081$$

k) Tekanan velositas,  $q_z$  atau  $q_h$  : (ASCE 7-16, equation 26.10-1.si)

$$\begin{aligned} q_z = q_h &= 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \\ &= 0,613 \times 1,081 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 25^2 \\ &= 352 \text{ N/m}^2 \\ &= 0,352 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

l) Koefisien tekanan eksternal,  $C_p$  atau  $C_N$  : (ASCE 7-16, figure 27.3-1 *Wall Pressure Coefficient,  $C_p$* )

$$\text{Windward} = 0,8$$

$$\text{Leeward} = L/B$$

$$= 49,75/58,8 = 0,846, \text{ jadi digunakan } C_p : -0,5$$

$$\text{Sidewall} = -0,7$$

m) Tekanan angin disetiap sisi bangunan,  $p$  : (ASCE 7-16, equation 27.3-1)

a) *Windward pressure* :

$$p = q G C_p - q_i (G C_{pi})$$

$$p = 0,352 \times 0,85 \times 0,8 - 0,352 \times (-0,18) = 0,3027 \text{ KN/m}^2$$

b) *Leeward pressure* :

$$p = q G C_p - q_i (G C_{pi})$$

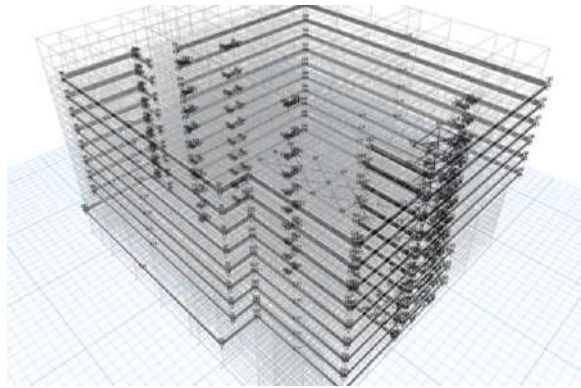
$$p = 0,352 \times 0,85 \times (-0,5) - 0,352 \times (-0,18) = -0,0862 \text{ KN/m}^2$$

c) *Sidewall pressure* :

$$p = q G C_p - q_i (G C_{pi})$$

$$p = 0,352 \times 0,85 \times (-0,7) - 0,352 \times (-0,18) = -0,1461 \text{ KN/m}^2$$

Pada penginputan beban angin dalam *software* analisa struktur digunakan beban angin sebesar 0,77 KN/m<sup>2</sup> karena besar tekanan yang dihitung masih lebih kecil dari beban desain minimum sesuai dengan standar beban angin desain minimum pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain pasal 27.1.5.



**Gambar 4. 3** *Input* Beban Angin Pada Dinding Parapet

#### 4.3.4 Analisis Beban Gempa

Dalam menganalisis beban gempa pada bangunan gedung parkir standar yang digunakan adalah SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dengan memperhitungkan lokasi bangunan yaitu di Jatibaru, Tanah Abang, Jakarta. Beberapa tahapan untuk mendapatkan beban gempa dengan menggunakan parameter respon spektrum, sebagai berikut:

1) Kategori risiko bangunan

Ditinjau dari standar SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung tabel 3-Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa, bangunan gedung parkir ini termasuk dalam kategori risiko II.

2) Faktor keutamaan gempa

Faktor keutamaan gempa,  $I_e$  sebesar 1,0 yang didapatkan berdasarkan kategori risiko bangunan dari tabel 4 SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

**Tabel 4. 6** Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, $i_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

*Sumber : SNI 1726:2019 tabel 4*

3) Klasifikasi situs

Klasifikasi situs tanah didapatkan dari pengujian SPT (*standart penetration test*). Uji SPT ini dilakukan di lokasi proyek yaitu jalan Jatibaru, Tanah Abang, Jakarta.



**Tabel 4. 7** Hasil Uji Sondir Gedung Parkir Jatibaru

| No                           | Kedalaman (m) | T (m)       | N (SPT)    | $N' = T/N$      |
|------------------------------|---------------|-------------|------------|-----------------|
| 1.                           | 0 – 4         | 4           | 3          | 1,333           |
| 2.                           | 4 – 6         | 2           | 4          | 0,5             |
| 3.                           | 6 – 8         | 2           | 6          | 0,333           |
| 4.                           | 8 – 10        | 2           | 4          | 0,5             |
| 5.                           | 10 – 12       | 2           | 3          | 0,666667        |
| 6.                           | 12 – 14       | 2           | 5          | 0,4             |
| 7.                           | 14 – 16       | 2           | 8          | 0,25            |
| 8.                           | 16 – 18       | 2           | 6          | 0,333333        |
| 9.                           | 18 – 20       | 2           | 7          | 0,285714        |
| 10.                          | 20 – 22       | 2           | 5          | 0,4             |
| 11.                          | 22 – 24       | 2           | 7          | 0,285714        |
| 12.                          | 24 – 26       | 2           | 11         | 0,181818        |
| 13.                          | 26 – 28       | 2           | 9          | 0,222222        |
| 14.                          | 28 – 30       | 2           | 13         | 0,153846        |
| 15.                          | 30 – 32       | 2           | 16         | 0,125           |
| 16.                          | 32 – 34       | 2           | 18         | 0,111111        |
| 17.                          | 34 – 36       | 2           | 29         | 0,068966        |
| 18.                          | 36 – 38       | 2           | 26         | 0,076923        |
| 19.                          | 38 – 40       | 2           | 35         | 0,057143        |
| 20.                          | 40 – 42       | 2           | 37         | 0,054054        |
| 21.                          | 42 – 44       | 2           | 43         | 0,046512        |
| 22.                          | 44 – 46       | 2           | 45         | 0,044444        |
| 23.                          | 46 – 48       | 2           | 55         | 0,036364        |
| 24.                          | 48 – 50       | 2           | 60         | 0,033333        |
| 25.                          | 50 – 52       | 2           | 60         | 0,033333        |
| 26.                          | 52 – 54,5     | 2,5         | 60         | 0,041667        |
| <b>Total</b>                 |               | <b>54,5</b> | <b>575</b> | <b>6,574831</b> |
| <b><math>\Sigma N</math></b> |               |             |            | <b>8,289186</b> |

Data dari diatas, dapat dihitung nilai  $\sum N = \frac{\sum T}{\sum N'} = \frac{54,5}{6,574831} = 8,289186$

$\sum N < 15$ , maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari perhitungan N-SPT klasifikasi situs tanah untuk bangunan tersebut digolongkan ke dalam kategori Tanag Lunak (SE).

**Tabel 4. 8** Klasifikasi Situs

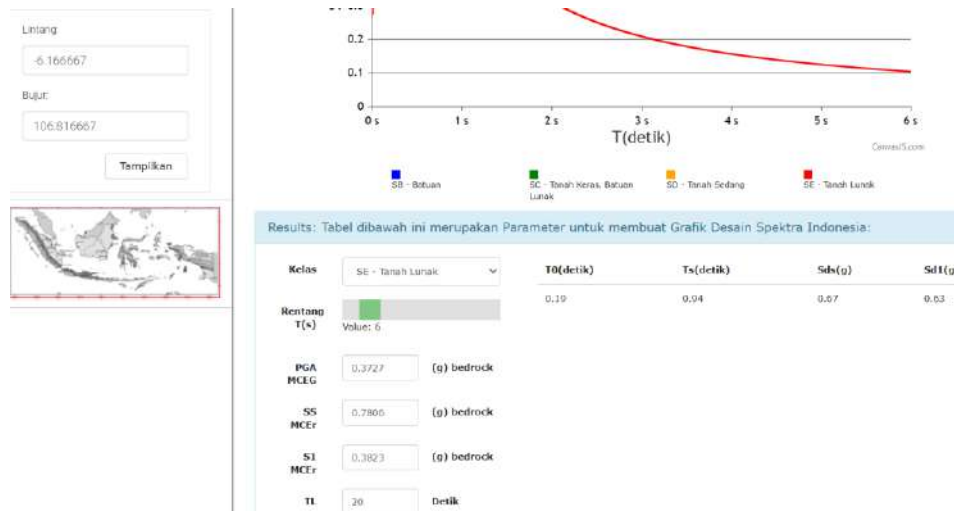
| Kelas Situs                                                                                                                  | $\bar{V}_s$ (m/s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$ | $\bar{S}_u$ (kPa) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras)                                                                                                            | >1500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | N/A                           | N/A               |
| SB (batuan)                                                                                                                  | 750-150                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | N/A                           | N/A               |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)                                                                              | 350-750                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | >50                           | $\geq 100$        |
| 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:<br>1. Indeks plastisitas, $PI > 20$<br>2. Kadar air $w \geq 40\%$<br>3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                               |                   |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:<br>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah<br>- Lempung sangat organik dan/ gambut (ketebalan $H > 3$ m)<br>- Lempung berpalstisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ )<br>Lapisan lempung lunak atau setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa |                               |                   |

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 4

4) Parameter percepatan gempa ( $S_s$  dan  $S_1$ )

Untuk mempermudah mendapatkan data parameter percepatan gempa, bisa dilihat dengan membuka *website* milik Kementerian PUPR

(<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>) dengan memasukan kota yang sesuai dengan lokasi proyek.



**Gambar 4. 4** Parameter percepatan gempa dari RSA Ciptakarya

- 5) Sehingga diperoleh nilai  $S_s$  sebesar 0,7806 g dan nilai  $S_1$  sebesar 0,3823 g serta periode transisi jangka panjang (TL) sebesar 20 s.
- 6) Koefisien situs ( $F_a$  dan  $F_s$ )

**Tabel 4. 9** Koefisien Situs

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

Sumber : SNI 1726:2019 tabel 6

Analisis koefisien situs  $F_a$  didapatkan dari data  $S_s$  yang diperoleh dari website RSA Ciptakarya, dengan cara interpolasi sebagai berikut:

- a) Nilai  $S_s = 0,7806$  g, berada diantara angka  $S_s = 0,75$  dan  $S_s = 1,0$
- b) Nilai kelas situs : 1,3 dan 1,1
- c) Nilai interpolasi  $F_a$  :  $1,3 + \left( \frac{0,7806 - 0,75}{1 - 0,75} \right) \times (1,1 - 1,3) = 1,27552$

**Tabel 4. 10** Koefisien Situs  $F_v$ 

| Kelas Situs | Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 $S$ , $S_1$ |             |              |             |              |                |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
|             | $S_s \leq 0,25$                                                                                                                              | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s = 1,25$ | $S_s \geq 1,5$ |
| SA          | 0,8                                                                                                                                          | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8          | 0,8            |
| SB          | 0,9                                                                                                                                          | 0,9         | 0,9          | 0,9         | 0,9          | 0,9            |
| SC          | 1,3                                                                                                                                          | 1,3         | 1,2          | 1,2         | 1,2          | 1,2            |
| SD          | 1,6                                                                                                                                          | 1,4         | 1,2          | 1,1         | 1,0          | 1,0            |
| SE          | 2,4                                                                                                                                          | 1,7         | 1,3          | 1,1         | 0,9          | 0,8            |
| SF          | $SS^{(a)}$                                                                                                                                   |             |              |             |              |                |

Sumber : SNI 1726:2019 tabel 7

Analisis koefisien situs  $F_v$  didapatkan dari data  $S_1$  yang diperoleh dari website RSA Ciptakarya, dengan cara interpolasi sebagai berikut :

d) Nilai  $S_1 = 0,3823$  g, berada diantara angka  $S_1 = 0,3$  dan  $S_s = 0,4$

e) Nilai kelas situs : 2,8 dan 2,4

f) Nilai interpolasi  $F_v$  :  $2,8 + \left( \frac{0,3823 - 0,3}{0,4 - 0,3} \right) \times (2,4 - 2,8) = 2,4708$

7) Menghitung parameter respon spektral

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} = 1,27552 \times 0,7806 = 0,995671 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} = 2,4708 \times 0,3823 = 0,944587 \text{ g}$$

8) Klasifikasi kategori desain seismik berdasarkan parameter respon

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,995671 = 0,6637 \text{ g}$$

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,944587 = 0,6297 \text{ g}$$

**Tabel 4. 11** KDS berdasarkan  $S_{DS}$ 

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

Sumber: SNI 1726:2019 tabel 8)

**Tabel 4. 12** KDS berdasarkan  $S_{D1}$ 

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

Sumber: SNI 1726:2019 tabel 9

Berdasarkan hasil perhitungan parameter spektrum respons gempa, diperoleh nilai  $S_{DS}$  0,6637 g dan  $S_{D1}$  0,6297 g. Mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019, khususnya tabel 8 dan tabel 9, nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur tergolong dalam kategori desain seismik D untuk periode 1 detik. Kategori ini menandakan bahwa bangunan berada pada wilayah dengan tingkat risiko gempa sedang hingga tinggi, sehingga memerlukan sistem struktur dan detailing khusus yang dirancang untuk ketahanan terhadap beban gempa besar.

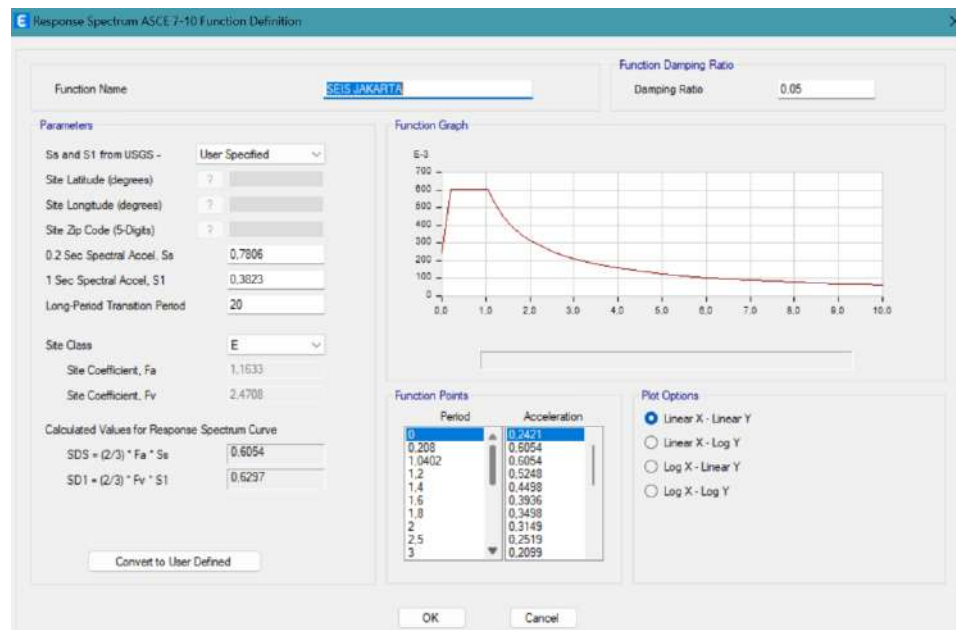
- 9) Parameter yang dipakai untuk sistem pemikul gaya seismik pada penelitian ini disesuaikan dengan ketentuan SNI 1726:2019 Tabel 12 adalah untuk rangka beton bertulang sebagai berikut:

- Koefisien modifikasi respons,  $R$  = 8
- Faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$  = 3
- Faktor pembesaran simpangan lateral,  $C_d$  = 5,5

- 10) Input hasil analisis parameter - parameter percepatan kedalam software *ETABS*

- $S_s$  : 0,7806 g

- $S_1$  : 0,3823 g
- $T_L$  : 20
- Klasifikasi situs : SE / tanah lunak



**Gambar 4. 5** Input beban di *ETABS*

#### 4.3.5 Kombinasi Pembebanan

Dalam analisis struktur atas, digunakan beberapa jenis beban utama yang merepresentasikan kondisi pembebanan aktual pada bangunan. Berikut beberapa beban yang akan digunakan pada analisis struktur atas pada perencanaan Gedung Parkir Umum Dinas Jatibaru. Salah satu beban kritis yang diperhitungkan adalah beban gempa, yang dalam perencanaan ini mencakup dua pendekatan analisis, yaitu beban gempa statis ekuivalen dan beban gempa dinamis (respons spektrum). Keduanya ditetapkan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung:

a. Kombinasi pembebanan dasar sesuai SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2.1

1,4 D

1,2 D + 1,6 L + 0,5 ( $L_r$  atau R)

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$$

$$0,9 D + 1,0 W$$

b. Kombinasi pembebanan dengan faktor kuat lebih sesuai SNI 1726:2019

Pasal 8.3.2.3

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + E_{mh} + L$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + E_{mh}$$

$$1,2 + 0,2 S_{DS} : 1,2 + 0,2 (0,6637) = 1,33274$$

$$0,9 - 0,2 S_{DS} : 0,9 - 0,2 (0,6637) = 0,76726$$

Sehingga diambil dari kombinasi pembebanan dasar dan kombinasi pembebanan dengan faktor kuat lebih didapatkan 28 kombinasi pembebanan, sebagai berikut :

1. Kombinasi 1 : 1,4 D + 1,4 SDL
2. Kombinasi 2 : 1,2 D + 1,2 SDL + 1,6 LL
3. Kombinasi 3 : 1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 WLX
4. Kombinasi 4 : 1,2 D + 1,2 SDL - 0,5 WLX
5. Kombinasi 5 : 1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 WLY
6. Kombinasi 6 : 1,2 D + 1,2 SDL - 0,5 WLY
7. Kombinasi 7 : 1,2 D + 1,2 SDL + 0,375 WLX + 0,375 WLY
8. Kombinasi 8 : 1,2 D + 1,2 SDL - 0,375 WLX - 0,375 WLY
9. Kombinasi 9 : 1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL + 1 WLX
10. Kombinasi 10 : 1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL - 1 WLX
11. Kombinasi 11 : 1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL + 1 WLY
12. Kombinasi 12 : 1,2 D + 1,2 SDL + 1 LL - 1 WLY
13. Kombinasi 13 : 1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL + 1,3 EDX + 0,39 EDY
14. Kombinasi 14 : 1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL + 1,3 EDX - 0,39 EDY
15. Kombinasi 15 : 1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL - 1,3 EDX + 0,39 EDY

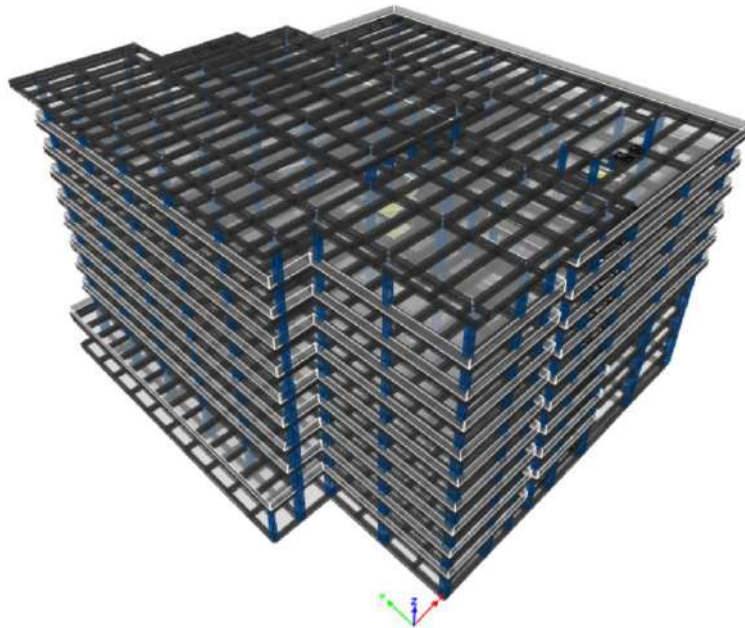
16. Kombinasi 16 :  $1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL - 1,3 EDX - 0,39 EDY$
17. Kombinasi 17 :  $1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL + 0,39 EDX + 1,3 EDY$
18. Kombinasi 18 :  $1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL + 0,39 EDX - 1,3 EDY$
19. Kombinasi 19 :  $1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL - 0,39 EDX + 1,3 EDY$
20. Kombinasi 20 :  $1,3327 D + 1,3327 SDL + 1 LL - 0,39 EDX - 1,3 EDY$
21. Kombinasi 21 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL + 1,3 EDX + 0,39 EDY$
22. Kombinasi 22 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL + 1,3 EDX - 0,39 EDY$
23. Kombinasi 23 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL - 1,3 EDX + 0,39 EDY$
24. Kombinasi 24 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL - 1,3 EDX + 0,39 EDY$
25. Kombinasi 25 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL + 0,39 EDX + 1,3 EDY$
26. Kombinasi 26 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL + 0,39 EDX - 1,3 EDY$
27. Kombinasi 27 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL - 0,39 EDX + 1,3 EDY$
28. Kombinasi 28 :  $0,7673 D + 0,7673 SDL + 1 LL - 0,39 EDX - 1,3 EDY$

#### 4.5 Analisis Struktur

Langkah yang dilakukan setelah menghitung pembebanan adalah memodelkan struktur secara keseluruhan sesuai dengan pada perhitungan *preliminary* dan DED bangunan Gedung Parkir Jatibaru yang sudah



disesuaikan menggunakan *software* analisa struktur *ETABS*, berikut adalah pemodelannya.



**Gambar 4. 6** 3D pemodelan struktur di *ETABS*

#### 4.4.1 Analisis Akibat Beban Gempa

##### 4.4.1.1 Analisis Partisipasi Massa

Dari SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 7.9.1.1 analisis ragam yang digunakan untuk menentukan getar alami pada desain struktur diambil sebanyak 12 kali. Syarat partisipasi masa yang harus dicapai adalah lebih besar dari 90% dan dengan modal 12 step tercapai sebesar 90,6% ke arah sumbu X dan 93% pada arah sumbu Y.

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios  |          |          |        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| OutputCase                              | StepType | StepNum  | Period | UX       | UY       | UZ       | SumUX    | SumUY    | SumUZ    | RX       | RY       | RZ       | SumRX    |
| Text                                    | Text     | Unitless | Sec    | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL                                   | Mode     | 1        | 1,893  | 0,0006   | 0,7667   | 0        | 0,0006   | 0,7667   | 0        | 0,2911   | 0,0001   | 0,0171   | 0,2911   |
| MODAL                                   | Mode     | 2        | 1,523  | 0,0245   | 0,0122   | 0        | 0,0252   | 0,7789   | 0        | 0,011    | 0,0127   | 0,722    | 0,3021   |
| MODAL                                   | Mode     | 3        | 1,174  | 0,7262   | 0,0016   | 0        | 0,7514   | 0,7805   | 0        | 0,0019   | 0,3252   | 0,0267   | 0,3039   |
| MODAL                                   | Mode     | 4        | 0,652  | 1,475-05 | 0,0974   | 0        | 0,7514   | 0,8779   | 0        | 0,4146   | 0,0005   | 5,976-07 | 0,7185   |
| MODAL                                   | Mode     | 5        | 0,555  | 0,017    | 2,11E-05 | 0        | 0,7683   | 0,8779   | 0        | 4,99E-05 | 0,0276   | 0,0955   | 0,7186   |
| MODAL                                   | Mode     | 6        | 0,411  | 0,0899   | 0,0008   | 0        | 0,8582   | 0,8788   | 0        | 0,0011   | 0,2475   | 0,0118   | 0,7197   |
| MODAL                                   | Mode     | 7        | 0,391  | 0,007    | 0,0137   | 0        | 0,8603   | 0,9134   | 0        | 0,053    | 0,0083   | 0,0049   | 0,7227   |
| MODAL                                   | Mode     | 8        | 0,317  | 0,0044   | 0,001    | 0        | 0,8646   | 0,9154   | 0        | 0,006    | 0,0124   | 0,0319   | 0,7287   |
| MODAL                                   | Mode     | 9        | 0,288  | 0,0315   | 0,0012   | 0        | 0,8962   | 0,9167   | 0        | 0,0035   | 0,0687   | 0,0025   | 0,7822   |
| MODAL                                   | Mode     | 10       | 0,279  | 0,0009   | 0,0379   | 0        | 0,8971   | 0,9346   | 0        | 0,0481   | 0,0014   | 0,0043   | 0,8303   |
| MODAL                                   | Mode     | 11       | 0,235  | 0,009    | 0,0002   | 0        | 0,9061   | 0,9348   | 0        | 0,0003   | 0,0241   | 0,0138   | 0,8305   |
| MODAL                                   | Mode     | 12       | 0,208  | 0,0055   | 0,0116   | 0        | 0,9066   | 0,9464   | 0        | 0,0304   | 0,0012   | 0,0023   | 0,861    |
| Syarat : Partisipasi massa harus > 90 % |          |          |        |          |          |          | OK       | OK       |          |          |          |          |          |

**Gambar 4. 7** Analisis ragam dengan Microsoft Excel

#### 4.4.1.2 Analisis Perbandingan Geser Statis dan Dinamis

Dari SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 7.9.1.4.1 untuk mencapai kontrol pada geser statis dan dinamis aman perlu adanya modifikasi pada *scale factor* pada beban gempa dinamis, dengan faktor pembebanan:

$$\frac{1}{R} g$$

$$\frac{1}{8} 9,81 = 1,226$$

Namun apabila belum tercapai 100% maka perlu mengalikan angka *scale factor* 1,226 dengan faktor skala hasil analisis pada *excel* dengan cara membagi  $V_s/V_b$ .

| TABLE: Base Reactions |             |          |                                     |                                    |                             |             |                            |              |         |         |         |             |             |
|-----------------------|-------------|----------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|-------------|
| OutputCase            | CaseType    | StepType | GlobalFX                            | GlobalFY                           | GlobalFZ                    | GlobalMX    | GlobalMY                   | GlobalMZ     | GlobalX | GlobalY | GlobalZ | XCentroidFX | YCentroidFX |
| Text                  | Text        | Text     | Kgf                                 | Kgf                                | Kgf                         | Kgf-m       | Kgf-m                      | Kgf-m        | m       | m       | m       | m           | m           |
| EQSX                  | LinStatic   |          | -8197,6988                          | 187,3299                           | -0,1595                     | -2145,7074  | -235852,1421               | 202798,8738  | 0       | 0       | 0       | 0           | 28,49286    |
| EQSY                  | LinStatic   |          | -207,9804                           | -7188,2456                         | -0,1244                     | 201775,092  | 6665,9798                  | -181569,4759 | 0       | 0       | 0       | 0           | 27,72003    |
| EQDX                  | LinRespSpec | Max      | 8207,0133                           | 411,923                            | 0,2393                      | 16309,6606  | 220594,8573                | 258240,3895  | 0       | 0       | 0       | 0           | 0           |
| EQDY                  | LinRespSpec | Max      | 608,8604                            | 7528,4693                          | 0,1253                      | 190095,7068 | 20506,0246                 | 203934,6094  | 0       | 0       | 0       | 0           | 0           |
|                       |             |          |                                     |                                    |                             |             |                            |              |         |         |         |             |             |
| Base Shear            |             |          | Dinamik (Vo)<br>Geser Dasar<br>(kN) | Statis (Vs)<br>Geser Dasar<br>(kN) | Faktor skala<br>$V_s / V_D$ |             | kontrol<br>(Vo) >= 100% Vs |              |         |         |         |             |             |
| arah x                |             |          | 8207,01                             | 8197,70                            | 0,998865                    |             | OK                         |              |         |         |         |             |             |
| arah y                |             |          | 7628,47                             | 7188,25                            | 0,9548083832                |             | OK                         |              |         |         |         |             |             |

Jika tidak terpenuhi maka perlu dikalikan faktor skala (load case)

**Gambar 4. 8** Analisis perbandingan geser

#### 4.4.1.3 Kontrol Gaya Geser pada Beban Gempa

Dari SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 7.8.1 terkait geser dasar seismik dan perhitungan koefisien respon seismik pada pasal 7.8.1.1, dapat diperhitungkan kontrol gaya geser dinamis untuk mengontrol respon spektrum yang digunakan sudah sesuai dengan persyaratan.

1. Kontrol nilai  $C_s$  Minimum :

$$C_{s \text{ Min}} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ Min}} = 0,044 (0,6637) (1) \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ Min}} = 0,0292 \geq 0,01 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

2. Menghitung nilai  $C_s$  :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{1}\right)}$$

$$= \frac{0,6637}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0829$$

3. Menghitung nilai  $C_{s \text{ Maksimum}}$  :

$$C_{s \text{ Max}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$= 0,0466 \times 41,75^{0,9} = 1,3396$$

$$C_{s \text{ Max}} = \frac{0,6297}{1,3396\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0587$$

4. Menghitung gaya geser seismik (V) :

$$V = C_s W$$

$$= 0,0829 \times 29928,48$$

$$= 2481,071 \text{ KN}$$

5. Menghitung gaya geser seismik (V) :

| TABLE: Base Reactions |             |          |           |           |
|-----------------------|-------------|----------|-----------|-----------|
| OutputCase            | CaseType    | StepType | GlobalFX  | GlobalFY  |
| Text                  | Text        | Text     | Kgf       | Kgf       |
| EQDX                  | LinRespSpec | Max      | 9178,7041 | 333,3372  |
| EQDY                  | LinRespSpec | Max      | 524,6837  | 7732,8177 |

**Gambar 4. 9** Hasil gaya geser dari *ETABS*

Untuk kontrol gaya geser seismic nilai  $V_{dasar}$  harus lebih besar dari 0,85 V, maka :

$$V_{dasar} > 0,85 V$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk arah -x} & : 9178,7041 \text{ KN} > 0,85 (2481,071) \\ & : 9178,7041 \text{ KN} > 2108,9103 \text{ KN} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk arah -y} & : 7732,8177 \text{ KN} > 0,85 (2481,071) \\ & : 7732,8177 \text{ KN} > 2108,9103 \text{ KN} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

#### 4.4.1.4 Analisis Simpangan Antar Lantai

Dari SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 7.12.1 Simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) tidak boleh lebih besar dari simpangan izin ( $\Delta_a$ ) yang didapat

yaitu dengan syarat izin  $0,025 h_{sx}$ , dimana  $h_{sx}$  adalah jarak dari titik x dibawah lantai atau ketinggian setiap lantai.

| TABLE: Joint Displacements |                    |                  |                  |         |         |         |               |               |               |
|----------------------------|--------------------|------------------|------------------|---------|---------|---------|---------------|---------------|---------------|
| Joint<br>Text              | OutputCase<br>Text | CaseType<br>Text | StepType<br>Text | U1<br>m | U2<br>m | U3<br>m | R1<br>Radians | R2<br>Radians | R3<br>Radians |
| LANTAI ATAP                | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 41,134  | 12,98   | 0,344   | 0,000281      | 0,000921      | 0,000429      |
| LANTAI ATAP                | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 16,337  | 46,754  | 0,369   | 0,000646      | 0,000186      | 0,000517      |
| 10A                        | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 36,26   | 11,547  | 0,333   | 0,000236      | 0,000606      | 0,000387      |
| 10A                        | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 15,544  | 42,938  | 0,364   | 0,000735      | 0,000199      | 0,000489      |
| 9A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 33,862  | 10,822  | 0,319   | 0,000273      | 0,000706      | 0,000366      |
| 9A                         | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 14,636  | 40,131  | 0,354   | 0,000895      | 0,000334      | 0,000456      |
| 8A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 30,89   | 9,984   | 0,298   | 0,0003        | 0,000869      | 0,000343      |
| 8A                         | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 13,298  | 36,516  | 0,334   | 0,001087      | 0,000441      | 0,000408      |
| 7A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 27,129  | 8,854   | 0,266   | 0,000329      | 0,001058      | 0,000309      |
| 7A                         | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 11,639  | 32,15   | 0,303   | 0,001227      | 0,000534      | 0,000353      |
| 6A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 22,775  | 7,444   | 0,235   | 0,000411      | 0,001261      | 0,000262      |
| 6A                         | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 9,803   | 27,188  | 0,268   | 0,001445      | 0,000524      | 0,000296      |
| 5A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 18,088  | 5,919   | 0,208   | 0,000432      | 0,001339      | 0,00021       |
| 5A                         | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 7,878   | 21,873  | 0,238   | 0,001538      | 0,000578      | 0,000237      |
| 4A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 13,126  | 4,306   | 0,173   | 0,000449      | 0,00139       | 0,000155      |
| 4A                         | EQDY               | LinRespSpec      | Max              | 5,794   | 16,171  | 0,199   | 0,001618      | 0,00061       | 0,000174      |
| 3A                         | EQDX               | LinRespSpec      | Max              | 8,076   | 2,662   | 0,131   | 0,00044       | 0,001361      | 9,70E-05      |

| Cd =                                   | 5,5         | (tabel 12 SNI 1726 : 2019) |                    |                           |                                  |  |  |  |  |
|----------------------------------------|-------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|--|--|--|--|
| I =                                    | 1           | (tabel 4 SNI 1726 : 2019)  |                    |                           |                                  |  |  |  |  |
| Simpangan Lantai Arah x ( $\Delta x$ ) |             |                            |                    |                           |                                  |  |  |  |  |
| Lantai                                 | Hsx<br>(mm) | dx<br>(mm)                 | $\Delta x$<br>(mm) | $\Delta a$ (ijin)<br>(mm) | kontrol<br>$\Delta x < \Delta a$ |  |  |  |  |
| ATAP                                   | 5250        | 41,1340                    | 26,8070            | 131                       | OK                               |  |  |  |  |
| 10                                     | 3500        | 36,2600                    | 13,1890            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 9                                      | 3500        | 33,8620                    | 16,3480            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 8                                      | 3500        | 30,8900                    | 20,6855            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 7                                      | 3500        | 27,1290                    | 23,9470            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 6                                      | 3500        | 22,7750                    | 25,7785            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 5                                      | 3500        | 18,0880                    | 27,2910            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 4                                      | 3500        | 13,1260                    | 27,7750            | 88                        | OK                               |  |  |  |  |
| 3                                      | 2500        | 8,0760                     | 24,9865            | 63                        | OK                               |  |  |  |  |
| LT.2                                   | 2500        | 3,5330                     | 19,4315            | 63                        | OK                               |  |  |  |  |
| Dasar                                  | 0,0000      | 0                          | 0                  | 0                         |                                  |  |  |  |  |

$$\Delta a = \frac{(\delta_2 - \delta_1) \times C_d}{I} < \Delta a \rightarrow \Delta a = 0,025 h_x$$

Keterangan :

$\Delta x$  = simpangan antar lantai

$\delta$  = defleksi yang terjadi

$I$  = faktor kekakuan gempa

$h_x$  = tinggi tingkat di bawah tingkat x

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

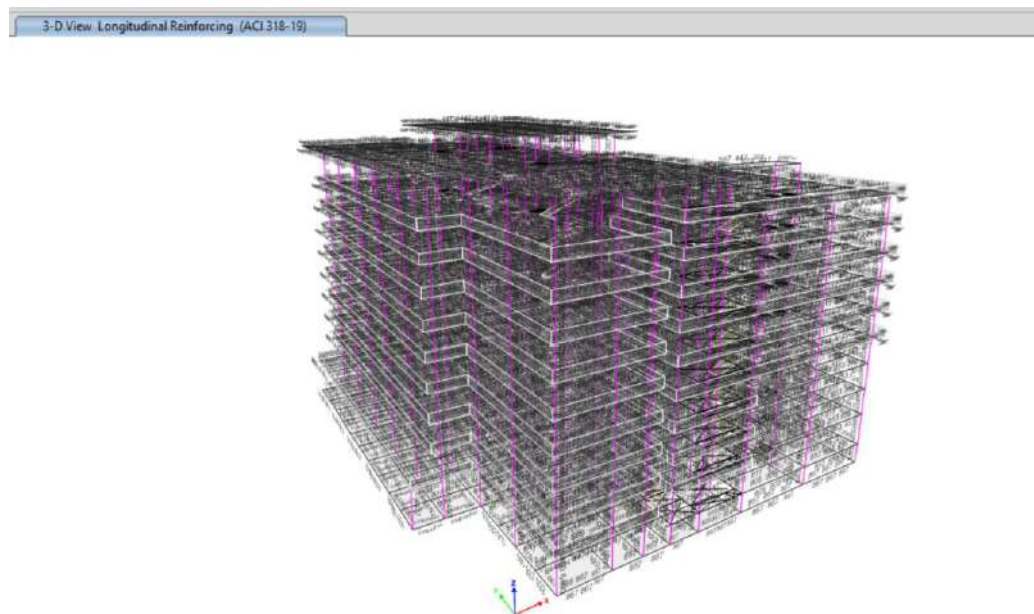
| Simpangan Lantai Arah y ( $\Delta y$ ) |             |            |                    |                           |                                  |
|----------------------------------------|-------------|------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Lantai                                 | Hsx<br>(mm) | dy<br>(mm) | $\Delta y$<br>(mm) | $\Delta a$ (ijin)<br>(mm) | kontrol<br>$\Delta y < \Delta a$ |
| ATAP                                   | 5250        | 46,7540    | 20,9880            | 131                       | OK                               |
| 10                                     | 3500        | 42,9380    | 15,4385            | 88                        | OK                               |
| 9                                      | 3500        | 40,1310    | 19,8825            | 88                        | OK                               |
| 8                                      | 3500        | 36,5160    | 24,0130            | 88                        | OK                               |
| 7                                      | 3500        | 32,1500    | 27,2910            | 88                        | OK                               |
| 6                                      | 3500        | 27,1880    | 29,2325            | 88                        | OK                               |
| 5                                      | 3500        | 21,8730    | 31,3610            | 88                        | OK                               |
| 4                                      | 3500        | 16,1710    | 32,5270            | 88                        | OK                               |
| 3                                      | 2500        | 10,2570    | 30,9265            | 63                        | OK                               |
| LT.2                                   | 2500        | 4,6340     | 25,4870            | 63                        | OK                               |
| Dasar                                  | 0           | 0          | 0                  | 0                         |                                  |

Gambar 4. 10 Analisis simpangan antar lantai

#### 4.4.2 Analisis Rasio Keamanan Struktur

Analisis rasio batang dilakukan untuk pengecekan apakah struktur sudah aman dari beban-beban yang diberikan terhadap beban aksial, *shear*, maupun momen dan torsi. Dalam aplikasi *ETABS*, nilai rasio diperoleh dari perbandingan antara kapasitas desain elemen (*capacity*) dengan tuntutan beban yang terjadi (*demand*). Rasio  $\leq 1,00$  menunjukkan bahwa elemen tersebut memenuhi syarat desain sesuai kode yang digunakan.

Saat menjalankan perintah *Verify All Members*, status “*Passed*” menandakan bahwa seluruh rasio kontrol baik rasio beban aksial, rasio shear, rasio momen, maupun rasio torsi pada setiap elemen telah berada di bawah atau sama dengan batas maksimum yang diizinkan oleh standar desain. Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, jumlah ragam yang digunakan dalam analisis spektrum respons ragam harus cukup banyak sehingga massa ragam terkombinasi mencapai 100% dari massa aktual struktur, dengan pengecualian bahwa massa ragam terkombinasi yang digunakan boleh tidak kurang dari 90% dari massa aktual untuk masing-masing arah horizontal ortogonal yang dianalisis. Apabila hasil analisis menunjukkan bahwa syarat partisipasi massa ini telah terpenuhi pada kedua arah utama struktur, dengan demikian, struktur dapat dinyatakan aman berdasarkan hasil analisis dan desain.



**Gambar 4. 11** Analisis Ratio

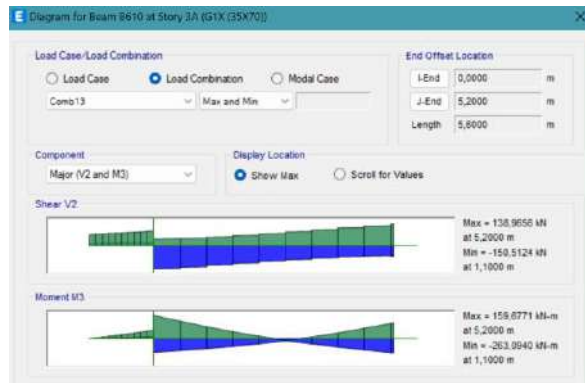
#### 4.6 Perhitungan Penulangan Struktur

Perhitungan penulangan balok didapatkan dari *output* perhitungan analisis struktur dari *software ETABS* yang menghasilkan gaya-gaya dalam seperti momen dan As tulangan *longitudinal* dan *shear* untuk mendesain tulangan.

#### 4.5.1 Perhitungan Penulangan Balok Struktur

Berikut merupakan penjelasan perhitungan tulangan balok dengan metode SRPMK pada Gedung Parkir Jatibaru

##### 4.5.1.1 Perhitungan Penulangan Balok Induk (G1)



**Gambar 4. 12** Hasil analisis gaya pada balok induk

##### a. Data Balok Lantai

|                                                         |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Kuat tekan beton ( $f'_c$ )                             | = 35 MPa     |
| Tegangan leleh baja tulangan leleh dan lentur ( $f_y$ ) | = 420 MPa    |
| Lebar balok                                             | = 350 mm     |
| Tinggi balok                                            | = 700 mm     |
| Diameter tulangan utama ( $d_b$ )                       | = 22 mm      |
| Diameter sengkang ( $d_s$ )                             | = 13 mm      |
| Tebal selimut beton ( $t_s$ )                           | = 40 mm      |
| Momen rencana positif ( $M_u^+$ )                       | = 110,391 kN |
| Momen rencana negatif ( $M_u^-$ )                       | = 263,094 kN |

##### b. Perhitungan Tulangan

$$\text{Untuk } f'_c > 30 \text{ MPa } (\beta_1) = 0,85 - 0,05 * (f'_c - 30) / 7$$

$$= 0,814285714$$

$$\text{Faktor bentuk distribusi tegangan beton } \beta_1 = 0,814285714$$

##### c. Rasio tulangan kondisi *balance*

$$P_b = \beta_1 \times 0.85 \times f'_c / f_y \times 600 / (600 + f_y)$$

$$= 0,0814285714 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{420+600}$$

$$= 0,034$$

d. Faktor tahanan momen maksimum

$$\begin{aligned} R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c}\right) \\ &= 0,75 \times 0,034 \times 420 \times \left(1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,034 \times \frac{420}{0,85 \times 35}\right) \\ &= 8,768 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan lentur } \Phi = 0,85$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (ds)

$$\begin{aligned} ds &= t_s + \varnothing + D/2 \\ &= 40 + 22 + 22/11 \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

e. Perhitungan tulangan tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Momen negatif nominal rencana } (M_n) &= \frac{Mu^-}{\varnothing} \\ &= \frac{263,094}{0,85} = 309,522 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak pusat tulangan ke sisi beton (ds)} = 64 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok (d)} &= h - ds \\ &= 700 - 64 = 636 \text{ mm} \end{aligned}$$

f. Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned} R_n &= M_n \times \frac{10^6}{bd^2} \\ R_n &= 309,522 \times \frac{10^6}{350 \times 636^2} = 2,186 \\ \text{Syarat } R_n &\leq R_{\max} = 2,186 > 8,768 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

g. Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{35}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{2,186}{0,85 \times 35}}\right) \\ &= 0,0054 \\ \rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} \\ &= \frac{\sqrt{35}}{4 \times 420} = 0,0035 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0034 = 0,00254 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio tulangan yang digunakan } \rho &= 0,0054 \\
 \text{Luas tulangan yang diperlukan } A_s &= \rho \times b \times d \\
 \text{Jumlah tulangan yang diperlukan } (n) &= \frac{A_s}{\pi \times d^2} \\
 &= \frac{1205}{\pi \times 22^2} = 3,169 \\
 \text{Digunakan tulangan 4 D22} \\
 \text{Luas tulangan terpakai} &= \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n \\
 &= 1521 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

#### h. Pengecekan atau analisis balok

Tinggi blok tegangan tekanan beton ekivalen

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c \times b)} \\
 &= 1521 \times \frac{420}{(0,85 \times 35 \times 350)} = 61,332 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\
 &= 1521 \times 420 \times \left(636 - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\
 &= 386,580 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tahanan momen balok } &= \Phi \times M_n \\
 &= 0,85 \times 386,580 \text{ kNm} \\
 &= 328,593 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat  $\Phi M_n \geq M_u^-$

$$328,593 \text{ kNm} \geq 263,094 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

#### i. Cek rasio tulangan Terpasang

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{A_s \text{ Terpasang}}{b \text{ balok} \times h \text{ balok}} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{1521}{300 \times 750} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = 0,00676 < 0,025 \quad (\text{OK})$$

#### j. Perhitungan tulangan lapangan

$$\begin{aligned}
 \text{Momen positif nominal rencana } (M_n) &= \frac{Mu^+}{\phi} \\
 &= \frac{110,391}{0,85} = 129,872 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Jarak pusat tulangan ke sisi beton (ds) = 64 mm

Tinggi efektif balok (d) = h – ds

$$= 700 - 64 = 636 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = M_n \times \frac{10^6}{bd^2}$$

$$R_n = 129,872 \times \frac{10^6}{350 \times 636^2} = 0,9173$$

$$\text{Syarat } R_n \leq R_{\max} = 0,9173 \leq 8,768 \quad (\text{OK})$$

Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{35}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{0,9173}{0,85 \times 35}}\right) \\ &= 0,0022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} \\ &= \frac{\sqrt{35}}{4 \times 420} = 0,0035 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,0254$$

Rasio tulangan yang digunakan  $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan yang diperlukan } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 350 \times 636 = 784 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang diperlukan (n)} &= \frac{A}{\pi \times d^2} \\ &= \frac{784}{\pi \times 22^2} = 2,062 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4 D22

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan terpakai} &= \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n \\ &= 1521 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

k. Pengecekan atau analisis balok

Tinggi blok tegangan tekanan beton ekuivalen

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c \times b)} \\ &= 1521 \times \frac{420}{(0,85 \times 35 \times 350)} = 61,332 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\
 &= 1521 \times 420 \times \left(636 - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\
 &= 386,580 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tahanan momen balok} &= \Phi \times M_n \\
 &= 0,85 \times 386,580 \text{ kNm} \\
 &= 328,593 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat  $\Phi M_n \geq M_u$

$$328,593 \text{ kNm} \geq 110,391 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

l. Cek rasio tulangan Terpasang

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{A_s \text{ Terpasang}}{b \text{ balok} \times h \text{ balok}} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{1521}{300 \times 750} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = 0,00676 < 0,025 \quad (\text{OK})$$

m. Perhitungan tulangan geser

$$\text{Gaya geser ultimit rencana (V}_u\text{)} = 196,852 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } (\Phi) = 0,75$$

$$\text{Tegangan leleh tulangan geser} = 420 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser beton (V}_c\text{)} &= \frac{\sqrt{f_c}}{6 \times b \times d \times 10^{-3}} \\
 &= \frac{\sqrt{35}}{6 \times 300 \times 550 \times 10^{-3}} = 143,317 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tahanan geser beton} &= \Phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 143,317 = 107,488 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perlu tulangan geser

$$\text{Kuat geser sengkang} = 119,152 \text{ kN}$$

$$\text{Digunakan sengkang diameter} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan geser perlu (A}_v\text{)} &= \frac{V_s \times S}{f_y \times d} \\
 &= \frac{119,152 \times 1000}{420 \times 485} = 0,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{As Perlu} = 0,586 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak sengkang maksimum} = d/2 = 485/2 = 242,5 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil jarak sengkang} = D13 - 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan pakai geser (A}_v\text{)} &= 2 \times 0,25 \times \pi^2 \times \Theta^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi^2 \times 13^2 \\ &= 265 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{As pakai} = \frac{265}{100} = 2,65 \text{ mm}$$

Syarat sengkang  $A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ Perlu}$

$$2,65 \text{ mm} > 0,563 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

## n. Rekapitulasi Tulangan Balok Induk

**Tabel 4. 13** Rekapitulasi Tulangan Balok Induk

| Tipe | Dimensi   | Daerah | Letak Tulangan | As Perlu (ETABS) mm <sup>2</sup> | As Hitung mm <sup>2</sup> | As Min mm <sup>2</sup> | As Pakai mm <sup>2</sup> | Ø Senggang (mm) | Ø Tul. Utama (mm) | As Terpasang | Syarat AS Pasang ≥ As Perlu | Tulangan Pasang |
|------|-----------|--------|----------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| G1 X | 350 x 700 | Tump.  | Atas           | 1091                             | 1205                      | 742                    | 1204,8                   | 13              | 22                | 1520,531     | OK                          | 4D22            |
|      |           |        | Bawah          | 811                              | 380                       | 742                    | 811,0                    | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D22            |
|      |           | Lap.   | Atas           | 811                              | 380                       | 742                    | 811,0                    | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D22            |
|      |           |        | Bawah          | 811                              | 784                       | 742                    | 811,0                    | 13              | 22                | 1520,531     | OK                          | 4D22            |
| G1 K | 350 x 700 | Tump.  | Atas           | 2810                             | 3366                      | 718                    | 3365,9                   | 13              | 22                | 3421,194     | OK                          | 9D22            |
|      |           |        | Bawah          | 1339                             | 855                       | 718                    | 1339                     | 13              | 22                | 1520,531     | OK                          | 4D22            |
|      |           | Lap.   | Atas           | 1657                             | 475                       | 718                    | 1657                     | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
|      |           |        | Bawah          | 811                              | 782                       | 718                    | 811                      | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
| G1 Y | 400 x 700 | Tump.  | Atas           | 3472                             | 4169                      | 820,3                  | 4169,4                   | 13              | 25                | 4417,865     | OK                          | 9D25            |
|      |           |        | Bawah          | 926                              | 1104                      | 820,3                  | 1104,5                   | 13              | 25                | 1472,622     | OK                          | 3D25            |
|      |           | Lap.   | Atas           | 2029                             | 614                       | 820,3                  | 2029,0                   | 13              | 25                | 2454,369     | OK                          | 5D25            |
|      |           |        | Bawah          | 1722                             | 1630                      | 820,3                  | 1722,0                   | 13              | 25                | 2452,369     | OK                          | 5D25            |
| G6   | 350 x 900 | Tump.  | Atas           | 1532                             | 1786                      | 975,3                  | 1786,4                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
|      |           |        | Bawah          | 1056                             | 475                       | 975,3                  | 1056,0                   | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D22            |
|      |           | Lap.   | Atas           | 1056                             | 475                       | 975,3                  | 1056,0                   | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D22            |
|      |           |        | Bawah          | 1056                             | 1030                      | 975,3                  | 1056,0                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
| G7   | 350 x 850 | Tump.  | Atas           | 1695                             | 1983                      | 954,3                  | 2280,80                  | 13              | 22                | 2280,796     | OK                          | 6D22            |
|      |           |        | Bawah          | 570                              | 570                       | 954,3                  | 1140,40                  | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D22            |
|      |           | Lap.   | Atas           | 570                              | 570                       | 954,3                  | 1140,40                  | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D22            |
|      |           |        | Bawah          | 969                              | 969                       | 954,3                  | 2280,80                  | 13              | 22                | 2280,796     | OK                          | 6D22            |
| G8   | 500 x 960 | Tump.  | Atas           | 1614                             | 1862                      | 1493,3                 | 1861,5                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
|      |           |        | Bawah          | 1614                             | 475                       | 1493,3                 | 1614,0                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
|      |           | Lap.   | Atas           | 1614                             | 475                       | 1493,3                 | 1614,0                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
|      |           |        | Bawah          | 1614                             | 1578                      | 1493,3                 | 1614,0                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D22            |
| TB1  | 350 x 600 | Tump.  | Atas           | 1171                             | 1488                      | 627,1                  | 1488                     | 13              | 19                | 1701,172     | OK                          | 6D19            |
|      |           |        | Bawah          | 644                              | 425                       | 627,1                  | 644                      | 13              | 19                | 850,586      | OK                          | 3D19            |

|        |           |       |       |      |      |          |        |    |    |          |    |      |
|--------|-----------|-------|-------|------|------|----------|--------|----|----|----------|----|------|
|        |           | Lap.  | Atas  | 644  | 213  | 627,1    | 644    | 13 | 19 | 850,586  | OK | 3D19 |
|        |           |       | Bawah | 644  | 662  | 627,1    | 662    | 13 | 19 | 850,586  | OK | 3D19 |
| TB2    | 400 x 700 | Tump. | Atas  | 1976 | 2030 | 846,0    | 2030   | 13 | 25 | 2454,369 | OK | 5D25 |
|        |           |       | Bawah | 948  | 614  | 846,0    | 948    | 13 | 25 | 1472,622 | OK | 3D25 |
|        |           | Lap.  | Atas  | 946  | 491  | 846,0    | 946    | 13 | 25 | 1472,622 | OK | 3D25 |
|        |           |       | Bawah | 1519 | 1089 | 846,0    | 1519   | 13 | 25 | 1963,495 | OK | 4D25 |
|        |           |       |       |      |      |          |        |    |    |          |    |      |
| RMBP 1 | 400 x 700 | Tump  | Atas  | 3984 | 1038 | 802,667  | 3984,0 | 13 | 29 | 4623,639 | OK | 7D29 |
|        |           |       | Bawah | 3537 | 1156 | 802,667  | 3537,0 | 13 | 29 | 3963,119 | OK | 6D29 |
|        |           | Lap.  | Atas  | 3538 | 1156 | 802,667  | 3538,0 | 13 | 29 | 3963,119 | OK | 6D29 |
|        |           |       | Bawah | 3347 | 891  | 802,667  | 3347,0 | 13 | 29 | 4623,639 | OK | 7D29 |
| RMBP 2 | 350 x 550 | Tump  | Atas  | 1812 | 597  | 565,25   | 1812,0 | 13 | 25 | 1963,495 | OK | 4D25 |
|        |           |       | Bawah | 1718 | 491  | 565,25   | 1718,0 | 13 | 25 | 1963,495 | OK | 4D25 |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1783 | 491  | 565,25   | 1783,0 | 13 | 25 | 1963,495 | OK | 4D25 |
|        |           |       | Bawah | 1734 | 597  | 565,25   | 1734,0 | 13 | 25 | 1963,495 | OK | 4D25 |
| RMBP 3 | 250 x 400 | Tump. | Atas  | 635  | 627  | 281,25   | 635,0  | 13 | 19 | 850,586  | OK | 3D19 |
|        |           |       | Bawah | 463  | 213  | 281,25   | 463,0  | 13 | 19 | 850,586  | OK | 3D19 |
|        |           | Lap.  | Atas  | 316  | 213  | 281,25   | 316,0  | 13 | 19 | 850,586  | OK | 3D19 |
|        |           |       | Bawah | 316  | 350  | 281,25   | 350,4  | 13 | 19 | 850,586  | OK | 3D19 |
| RMBP 4 | 425 x 850 | Tump. | Atas  | 2439 | 2780 | 1064,898 | 2779,9 | 13 | 29 | 4623,639 | OK | 7D29 |
|        |           |       | Bawah | 1360 | 1156 | 1064,898 | 1360,0 | 13 | 29 | 1981,560 | OK | 3D29 |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1208 | 661  | 1064,898 | 1208,0 | 13 | 29 | 1981,560 | OK | 3D29 |
|        |           |       | Bawah | 1335 | 1171 | 1064,898 | 1335,0 | 13 | 29 | 2642,079 | OK | 4D29 |
| TB1 K  | 350 x 600 | Tump. | Atas  | 1960 | 2316 | 594,0002 | 2315,6 | 13 | 22 | 2660,929 | OK | 7D22 |
|        |           |       | Bawah | 936  | 665  | 594,0002 | 936,0  | 13 | 22 | 1140,398 | OK | 3D22 |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1109 | 285  | 594,0002 | 1109,0 | 13 | 22 | 1520,531 | OK | 4D22 |
|        |           |       | Bawah | 644  | 661  | 594,0002 | 660,6  | 13 | 22 | 1140,398 | OK | 3D22 |

**Tabel 4. 14** Daftar Cek Syarat Momen Balok

| Tipe   | Dimensi   | Daerah | Letak Tulangan | As Terpasang | d efektif (mm) | Gaya Momen Mu (SAP) (kNm) | Gaya Momen Perlu Mn (kNm) | Gaya Momen Nominal $\Theta$ Mn (kNm) | Kontrol regangan (a) | Syarat Momen Lentur (SNI 2847:2019) |
|--------|-----------|--------|----------------|--------------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| G1 X   | 350 x 700 | Tump.  | Atas           | 1520,531     | 636            | 263,094                   | 328,87                    | 328,593                              | 61                   | OK                                  |
|        |           |        | Bawah          | 1140,398     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           | Lap.   | Atas           | 1140,398     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           |        | Bawah          | 1520,531     |                | 110,391                   | 137,99                    | 328,593                              | 61                   |                                     |
| G1 X K | 350 x 700 | Tump.  | Atas           | 3421,194     | 615            | 640,809                   | 801,01                    | 667,112                              | 138                  | OK                                  |
|        |           |        | Bawah          | 1520,531     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           | Lap.   | Atas           | 1900,664     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           |        | Bawah          | 1900,664     |                | 0                         | 0                         | 391,426                              | 77                   |                                     |
| G1 Y   | 400 x 700 | Tump.  | Atas           | 4417,865     | 615            | 785,8126                  | 982,27                    | 847,320                              | 156                  | OK                                  |
|        |           |        | Bawah          | 1472,622     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           | Lap.   | Atas           | 2454,369     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           |        | Bawah          | 2452,369     |                | 331,757                   | 414,70                    | 501,094                              | 87                   |                                     |
| G6     | 350 x 900 | Tump.  | Atas           | 1900,664     | 836            | 480,1559                  | 600,19                    | 541,247                              | 77                   | OK                                  |
|        |           |        | Bawah          | 1140,398     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           | Lap.   | Atas           | 1140,398     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           |        | Bawah          | 1900,664     |                | 204,919                   | 256,14                    | 541,247                              | 77                   |                                     |
| G7     | 350 x 850 | Tump.  | Atas           | 2280,796     | 818            | 497,1542                  | 621,44                    | 628,584                              | 92                   | OK                                  |
|        |           |        | Bawah          | 1140,398     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           | Lap.   | Atas           | 1140,398     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           |        | Bawah          | 2280,796     |                | 185,942                   | 232,43                    | 692,108                              | 92                   |                                     |
| G8     | 500 x 960 | Tump.  | Atas           | 1900,664     | 896            | 543,9921                  | 679,99                    | 589,762                              | 54                   | OK                                  |
|        |           |        | Bawah          | 1900,664     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           | Lap.   | Atas           | 1900,664     |                |                           |                           |                                      |                      |                                     |
|        |           |        | Bawah          | 1900,664     |                | 257,458                   | 321,82                    | 589,762                              | 54                   |                                     |

|        |           |       |       |          |       |          |        |         |     |    |
|--------|-----------|-------|-------|----------|-------|----------|--------|---------|-----|----|
| TB1    | 350 x 600 | Tump. | Atas  | 1701,172 | 537,5 | 253,7371 | 317,17 | 305,597 | 69  | OK |
|        |           |       | Bawah | 850,586  |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 850,586  |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 850,586  |       | 112,9518 | 141,19 | 158,008 | 34  |    |
| TB2    | 400 x 700 | Tump. | Atas  | 2454,369 | 634,5 | 408,4229 | 510,53 | 518,004 | 87  | OK |
|        |           |       | Bawah | 1472,622 |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1472,622 |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 1963,495 |       | 225,193  | 281,49 | 420,476 | 69  |    |
| RMBP 1 | 400 x 700 | Tump  | Atas  | 4623,639 | 602   | 214,2708 | 267,84 | 859,003 | 163 | OK |
|        |           |       | Bawah | 3963,119 |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 3963,119 |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 4623,639 |       | 86,492   | 108,12 | 859,003 | 163 |    |
| RMBP 2 | 350 x 550 | Tump  | Atas  | 1963,495 | 484,5 | 73,7993  | 92,249 | 311,861 | 79  | OK |
|        |           |       | Bawah | 1963,495 |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1963,495 |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 1963,495 |       | 31,703   | 39,629 | 311,861 | 79  |    |
| RMBP 3 | 250 x 400 | Tump. | Atas  | 850,586  | 337,5 | 67,4103  | 84,263 | 95,1922 | 48  | OK |
|        |           |       | Bawah | 850,586  |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 850,586  |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 850,586  |       | 38,573   | 48,216 | 95,1922 | 48  |    |
| RMBP 4 | 425 x 850 | Tump. | Atas  | 4623,639 | 752   | 687,7586 | 859,70 | 713,652 | 154 | OK |
|        |           |       | Bawah | 1981,560 |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1981,560 |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 2642,079 |       | 294,465  | 368,08 | 438,844 | 88  |    |
| TB1 K  | 350 x 600 | Tump. | Atas  | 2660,929 | 509   | 380,6963 | 475,87 | 432,681 | 107 | OK |
|        |           |       | Bawah | 1140,398 |       |          |        |         |     |    |
|        |           | Lap.  | Atas  | 1520,531 |       |          |        |         |     |    |
|        |           |       | Bawah | 1140,398 |       | 0        | 0      | 197,920 | 46  |    |

**Tabel 4. 15** Daftar Tulangan Geser Balok Induk

| Tipe   | Dimensi   | Daerah | Gaya geser (N)<br>Vu | Vs          | Kontrol Nilai Vs | Av/S Perlu<br>mm <sup>2</sup> | Ø<br>mm | Jumlah Kaki | Luas<br>mm <sup>2</sup> | S<br>Pakai | AV    | Kap. Geser Balok | Cek Syarat | Cek Spasi | Dipasang |
|--------|-----------|--------|----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|---------|-------------|-------------------------|------------|-------|------------------|------------|-----------|----------|
| G1 X   | 350 x 700 | Tump.  | 150512               | 200683      | OK               | 1,3635                        | 13      | 2           | 265,4                   | 100        | 7513  | 20068320         | OK         | S<br>Max  | 2D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 1,02798                       | 13      | 2           | 265,4                   | 150        | 16904 | 30102480         | OK         | S<br>Max  | 2D13-150 |
| G1 X K | 350 x 700 | Tump.  | 230466               | 307288      | OK               | 4,26                          | 13      | 2           | 265,4                   | 100        | 17839 | 46093220         | OK         | S<br>Max  | 2D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 4,062                         | 13      | 2           | 265,4                   | 150        | 26759 | 46093220         | OK         | S<br>Max  | 2D13-150 |
| G1 Y   | 400 x 700 | Tump.  | 256                  | 341,78<br>9 | OK               | 2,48285                       | 13      | 3           | 398,2                   | 100        | 13    | 34179            | OK         | S<br>Max  | 3D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 2,26728                       | 13      | 3           | 398,2                   | 150        | 30    | 51268            | OK         | S<br>Max  | 3D13-150 |
| G6     | 350 x 900 | Tump.  | 226279               | 301705      | OK               | 0,73355                       | 13      | 2           | 265,4                   | 100        | 12889 | 45255780         | OK         | S<br>Max  | 2D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 0,3070<br>2                   | 13      | 2           | 265,4                   | 150        | 19333 | 45255780         | OK         | S<br>Max  | 2D13-150 |
| G7     | 350 x 850 | Tump.  | 138662               | 184883      | OK               | 0,75954                       | 13      | 2           | 265,4                   | 100        | 8072  | 27732420         | OK         | S<br>Max  | 2D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 0,31171                       | 13      | 2           | 265,4                   | 150        | 12108 | 27732420         | OK         | S<br>Max  | 2D13-150 |
| G8     | 500 x 960 | Tump.  | 247271               | 329694      | OK               | 0,87698                       | 13      | 2           | 265,4                   | 100        | 13142 | 49454100         | OK         | S<br>Max  | 2D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 0,81734                       | 13      | 2           | 265,4                   | 150        | 19712 | 49454100         | OK         | S<br>Max  | 2D13-150 |
| TB1    | 350 x 600 | Tump.  | 99716                | 132954      | OK               | 1,98748                       | 13      | 2           | 265,4                   | 100        | 8834  | 19943120         | OK         | S<br>Max  | 2D13-100 |
|        |           | Lap.   |                      |             |                  | 1,91005                       | 13      | 2           | 265,4                   | 150        | 13251 | 19943120         | OK         | S<br>Max  | 2D13-150 |



|        |           |       |        |             |    |          |    |   |            |     |       |          |    |          |          |
|--------|-----------|-------|--------|-------------|----|----------|----|---|------------|-----|-------|----------|----|----------|----------|
| TB2    | 400 x 700 | Tump. | 121569 | 162092      | OK | 0,86455  | 13 | 2 | 265,4      | 100 | 9124  | 24313860 | OK | S<br>Max | 2D13-100 |
|        |           | Lap.  |        |             |    | 0,49248  | 13 | 2 | 265,4      | 150 | 13686 | 24313860 | OK | S<br>Max | 2D13-150 |
| RMBP 1 | 400 x 700 | Tump  | 8998   | 11996,<br>7 | OK | 16,25297 | 13 | 2 | 265,4      | 100 | 712   | 1799500  | OK | S<br>Max | 2D13-100 |
|        |           | Lap.  |        |             |    | 0,5242   | 13 | 2 | 265,4      | 150 | 1068  | 1799500  | OK | S<br>Max | 2D13-150 |
| RMBP 2 | 350 x 550 | Tump  | 25306  | 33741,<br>6 | OK | 0,69329  | 13 | 2 | 265,4      | 100 | 2487  | 5061240  | OK | S<br>Max | 2D13-100 |
|        |           | Lap.  |        |             |    | 0,46054  | 13 | 2 | 265,4      | 150 | 3731  | 5061240  | OK | S<br>Max | 2D13-150 |
| RMBP 3 | 250 x 400 | Tump. | 22386  | 29848,<br>4 | OK | 1,52147  | 13 | 2 | 265,4      | 100 | 3159  | 4477260  | OK | S<br>Max | 2D13-100 |
|        |           | Lap.  |        |             |    | 1,45089  | 13 | 2 | 265,4      | 150 | 4738  | 4477260  | OK | S<br>Max | 2D13-150 |
| RMBP 4 | 425 x 850 | Tump. | 239631 | 319508      | OK | 2,06975  | 13 | 3 | 398,2<br>0 | 100 | 1518  | 47926200 | OK | S<br>Max | 2D13-100 |
|        |           | Lap.  |        |             |    | 0,59922  | 13 | 3 | 398,2      | 150 | 2277  | 47926200 | OK | S<br>Max | 2D13-150 |
| TB1 K  | 350 x 600 | Tump. | 149854 | 199805      | OK | 2,85864  | 13 | 3 | 398,2      | 100 | 1401  | 29970720 | OK | S<br>Max | 3D13-100 |
|        |           | Lap.  |        |             |    | 2,7218   | 13 | 3 | 398,2      | 150 | 2102  | 29970720 | OK | S<br>Max | 3D13-150 |

#### 4.5.1.2 Perhitungan Penulangan Balok Anak B2



**Gambar 4. 13** Gaya Balok B2

a. Data Balok Lantai

|                                                         |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Kuat tekan beton ( $f'_c$ )                             | = 35 MPa     |
| Tegangan leleh baja tulangan leleh dan lentur ( $f_y$ ) | = 420 MPa    |
| Lebar balok                                             | = 300 mm     |
| Tinggi balok                                            | = 550 mm     |
| Diameter tulangan utama ( $d_b$ )                       | = 25 mm      |
| Diameter sengkang ( $d_s$ )                             | = 13 mm      |
| Tebal selimut beton ( $t_s$ )                           | = 40 mm      |
| Momen rencana positif ( $M_u^+$ )                       | = 145,472 kN |
| Momen rencana negatif ( $M_u^-$ )                       | = 384,019 Kn |

b. Perhitungan Tulangan

$$\text{Untuk } f'_c > 30 \text{ MPa } (\beta_1) = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7$$

$$= 0,814285714$$

$$\text{Faktor bentuk distribusi tegangan beton } \beta_1 = 0,814285714$$

c. Rasio tulangan kondisi *balance*

$$P_b = \beta_1 \times 0.85 \times f'_c / f_y \times 600 / (600 + f_y)$$

$$= 0,0814285714 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{420+600}$$

$$= 0,034$$

d. Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{\max} = 0,75 \times p_b \times f_y \times (1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times p_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c})$$

$$= 0,75 \times 0,034 \times 420 \times (1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,034 \times \frac{420}{0,85 \times 35})$$

$$= 8,768$$

Faktor reduksi kekuatan lentur  $\Phi$  = 0,85

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (ds)

$$ds = t_s + \varnothing + D/2 = 40 + 25 + 25/11$$

$$= 66 \text{ mm}$$

e. Perhitungan tulangan tumpuan

Momen negatif nominal rencana ( $M_n$ ) =  $\frac{Mu^-}{\varnothing}$

$$= \frac{384,019}{0,85} = 480,024 \text{ kNm}$$

Jarak pusat tulangan ke sisi beton (ds) = 66 mm

Tinggi efektif balok (d) = h - ds

$$= 550 - 66 = 485 \text{ mm}$$

f. Faktor tahanan momen

$$R_n = M_n \times \frac{10^6}{bd^2}$$

$$R_n = 480,024 \times \frac{10^6}{350 \times 485^2} = 6,816$$

Syarat  $R_n \leq R_{\max} = 6,816 > 8,768$  (OK)

g. Rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f_c}})$$

$$= 0,85 \times \frac{35}{420} \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{6,816}{0,85 \times 35}})$$

$$= 0,0187$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y}$$

$$= \frac{\sqrt{35}}{4 \times 420} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0034 = 0,00254$$

Rasio tulangan yang digunakan  $\rho$  = 0,0187

Luas tulangan yang diperlukan  $A_s$  =  $\rho \times b \times d$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang diperlukan} \quad (n) &= \frac{A_s}{\pi \times d^2} \\ &= \frac{2718}{\pi \times 25^2} = 5,536 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4 D25

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan terpakai} &= \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n \\ &= 1963 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

h. Pengecekan atau analisis balok

Tinggi blok tegangan tekanan beton ekuivalen

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c \times b)} \\ &= 1963 \times \frac{420}{(0,85 \times 35 \times 350)} = 92,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\ &= 1963 \times 420 \times \left(485 - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\ &= 361,452 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tahanan momen balok} &= \Phi \times M_n \\ &= 0,85 \times 361,452 \text{ kNm} \\ &= 289,162 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat  $\Phi M_n \geq M_u$

$$361,452 \text{ kNm} \geq 289,162 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

i. Cek rasio tulangan Terpasang

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{A_s \text{ Terpasang}}{b \text{ balok} \times h \text{ balok}} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{1963}{300 \times 550} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = 0,0118 < 0,025 \quad (\text{OK})$$

j. Perhitungan tulangan lapangan

$$\begin{aligned} \text{Momen positif nominal rencana } (M_n) &= \frac{Mu^+}{\phi} \\ &= \frac{145,472}{0,85} = 181,84 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak pusat tulangan ke sisi beton} \quad (ds) = 66 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi efektif balok (d)} &= h - d_s \\ &= 550 - 66 = 485 \text{ mm}\end{aligned}$$

Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned}R_n &= M_n \times \frac{10^6}{bd^2} \\ R_n &= 181,84 \times \frac{10^6}{350 \times 485^2} = 2,582\end{aligned}$$

$$\text{Syarat } R_n \leq R_{\max} = 2,582 \leq 8,768 \quad (\text{OK})$$

Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{35}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{2,582}{0,85 \times 35}}\right) \\ &= 0,0064\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} \\ &= \frac{\sqrt{35}}{4 \times 420} = 0,0035\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,0254$$

Rasio tulangan yang digunakan  $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan yang diperlukan } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0064 \times 350 \times 485 = 936 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan yang diperlukan (n)} &= \frac{A}{\pi \times d^2} \\ &= \frac{936}{\pi \times 5} = 1,907\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4 D25

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan terpakai} &= \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n \\ &= 1963 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

k. Pengecekan atau analisis balok

Tinggi blok tegangan tekanan beton ekuivalen

$$\begin{aligned}a &= A_s \times \frac{f_y}{(0,85 \times f_c \times b)} \\ &= 1963 \times \frac{420}{(0,85 \times 35 \times 350)} = 92,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\ &= 1963 \times 420 \times \left(485 - \frac{a}{2}\right) \times 10^6 \\ &= 361,452 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tahanan momen balok} &= \Phi \times M_n \\ &= 0,85 \times 361,452 \text{ kNm} \\ &= 289,162 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat  $\Phi M_n \geq M_u$

$$289,162 \text{ kNm} \geq 145,472 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

l. Cek rasio tulangan Terpasang

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{A_s \text{ Terpasang}}{b \text{ balok} \times h \text{ balok}} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = \frac{1963}{300 \times 550} < 0,025$$

$$\text{Rasio tulangan} = 0,0118 < 0,025 \quad (\text{OK})$$

m. Perhitungan tulangan geser

$$\text{Gaya geser ultimit rencana } (V_u) = 196,852 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } (\Phi) = 0,75$$

$$\text{Tegangan leleh tulangan geser} = 420 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser beton } (V_c) &= \frac{\sqrt{f_c}}{6 \times b \times d \times 10^{-3}} \\ &= \frac{\sqrt{35}}{6 \times 300 \times 550 \times 10^{-3}} = 143,317 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tahanan geser beton} &= \Phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 143,317 = 107,488 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perlu tulangan geser

$$\text{Kuat geser sengkang} = 119,152 \text{ kN}$$

$$\text{Digunakan sengkang diameter} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan geser perlu } (A_v) &= \frac{V_s \times S}{f_y \times d} \\ &= \frac{119,152 \times 1000}{420 \times 485} = 0,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As Perlu} = 0,586 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak sengkang maksimum} = d/2 = 485/2 = 242,5 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil jarak sengkang} = D13 - 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan pakai geser (A}_v\text{)} &= 2 \times 0,25 \times \pi^2 \times \Theta^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi^2 \times 13^2 \\ &= 265 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{As pakai} = \frac{265}{100} = 2,65 \text{ mm}$$

Syarat sengkang  $A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ Perlu}$

$$2,65 \text{ mm} > 0,563 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

## n. Rekapitulasi Tulangan Balok Anak

**Tabel 4. 16** Rekapitulasi Tulangan Balok Anak

| Tipe | Dimensi   | Daerah | Letak Tulangan | As Perlu (ETABS) mm <sup>2</sup> | As Hitung mm <sup>2</sup> | As Min mm <sup>2</sup> | As Pakai mm <sup>2</sup> | Ø Sengkang (mm) | Ø Tul. Utama (mm) | As Terpasang | Syarat AS Pasang ≥ As Perlu | Tulangan Pasang |
|------|-----------|--------|----------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| B1   | 250 X 550 | Tump.  | Atas           | 764                              | 440                       | 407,5                  | 764,0                    | 10              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D:22           |
|      |           |        | Bawah          | 447                              | 285                       | 407,5                  | 447,0                    | 10              | 22                | 760,265      | OK                          | 2D:22           |
|      |           | Lap.   | Atas           | 447                              | 285                       | 407,5                  | 447,0                    | 10              | 22                | 760,265      | OK                          | 2D:22           |
|      |           |        | Bawah          | 447                              | 440                       | 407,5                  | 447,0                    | 10              | 22                | 1140,398     | OK                          | 2D:22           |
| B2   | 300 X 550 | Tump.  | Atas           | 1663                             | 2016                      | 457,5                  | 2015,8                   | 13              | 25                | 2454,369     | OK                          | 5D:25           |
|      |           |        | Bawah          | 797                              | 614                       | 457,5                  | 797,0                    | 13              | 25                | 981,748      | OK                          | 2D:25           |
|      |           | Lap.   | Atas           | 537                              | 368                       | 457,5                  | 537,0                    | 13              | 25                | 981,748      | OK                          | 2D:25           |
|      |           |        | Bawah          | 669                              | 797                       | 457,5                  | 797,3                    | 13              | 25                | 1472,622     | OK                          | 3D:25           |
| B3   | 350 X 450 | Tump.  | Atas           | 504                              | 1106                      | 453,8                  | 1106,2                   | 10              | 22                | 1520,531     | OK                          | 4D:22           |
|      |           |        | Bawah          | 921                              | 380                       | 453,8                  | 921,0                    | 10              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D:22           |
|      |           | Lap.   | Atas           | 504                              | 380                       | 453,8                  | 504,0                    | 10              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D:22           |
|      |           |        | Bawah          | 921                              | 479                       | 453,8                  | 921,0                    | 10              | 22                | 1520,531     | OK                          | 4D:22           |
| B4   | 350 X 700 | Tump.  | Atas           | 1104                             | 1299                      | 742                    | 1299,4                   | 13              | 22                | 1900,664     | OK                          | 5D:22           |
|      |           |        | Bawah          | 811                              | 475                       | 742                    | 811,0                    | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D:22           |
|      |           | Lap.   | Atas           | 811                              | 285                       | 742                    | 811,0                    | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D:22           |
|      |           |        | Bawah          | 811                              | 784                       | 742                    | 811,0                    | 13              | 22                | 1140,398     | OK                          | 3D:22           |
| BR1  | 350 X 450 | Tump.  | Atas           | 675                              | 479                       | 453,8                  | 675                      | 13              | 16                | 804,248      | OK                          | 4D:16           |
|      |           |        | Bawah          | 520                              | 201                       | 453,8                  | 520                      | 13              | 16                | 603,186      | OK                          | 3D:16           |
|      |           | Lap.   | Atas           | 504                              | 151                       | 453,8                  | 504                      | 13              | 16                | 603,186      | OK                          | 3D:16           |
|      |           |        | Bawah          | 504                              | 479                       | 453,8                  | 504                      | 13              | 16                | 603,186      | OK                          | 3D:16           |



**Tabel 4. 17** Daftar Cek Syarat Momen Balok Anak

| <b>Tipe</b> | <b>Dimensi</b> | <b>Daerah</b> | <b>Letak Tulangan</b> | <b>As Terpasang</b> | <b>d efektif (mm)</b> | <b>Gaya Momen Mu (SAP) (kNm)</b> | <b>Gaya Momen Perlu Mn (kNm)</b> | <b>Gaya Momen Nominal <math>\phi</math> Mn (kNm)</b> | <b>Kontrol regangan (a)</b> | <b>Syarat Momen Lentur (SNI 2847:2019)</b> |
|-------------|----------------|---------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| B1          | 250 X 550      | Tump.         | Atas                  | 1140,398            | 489                   | 140,9926                         | 176,2407                         | 185,9736                                             | 64                          | OK                                         |
|             |                |               | Bawah                 | 760,265             |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                | Lap.          | Atas                  | 760,265             |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                |               | Bawah                 | 1140,398            |                       | 70,447                           | 88,05875                         | 185,9736                                             | 64                          |                                            |
| B2          | 300 X 550      | Tump.         | Atas                  | 2454,369            | 458                   | 296,0263                         | 370,0329                         | 350,265                                              | 115                         | OK                                         |
|             |                |               | Bawah                 | 981,748             |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                | Lap.          | Atas                  | 981,748             |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                |               | Bawah                 | 1472,622            |                       | 124,761                          | 155,9513                         | 222,3032                                             | 69                          |                                            |
| B3          | 350 X 450      | Tump.         | Atas                  | 1520,531            | 389                   | 136,2961                         | 170,3701                         | 194,5142                                             | 61                          | OK                                         |
|             |                |               | Bawah                 | 1140,398            |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                | Lap.          | Atas                  | 1140,398            |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                |               | Bawah                 | 1520,531            |                       | 0                                | 0                                | 194,5142                                             | 61                          |                                            |
| B4          | 350 X 700      | Tump.         | Atas                  | 1900,664            | 636                   | 266,2253                         | 332,7816                         | 319,4621                                             | 77                          | OK                                         |
|             |                |               | Bawah                 | 1140,398            |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                | Lap.          | Atas                  | 1140,398            |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                |               | Bawah                 | 1140,398            |                       | 133,205                          | 166,5062                         | 197,9197                                             | 46                          |                                            |
| BR1         | 350 X 450      | Tump.         | Atas                  | 804,248             | 389                   | 57,3156                          | 71,6445                          | 107,0312                                             | 32                          | OK                                         |
|             |                |               | Bawah                 | 603,186             |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                | Lap.          | Atas                  | 603,186             |                       |                                  |                                  |                                                      |                             |                                            |
|             |                |               | Bawah                 | 603,186             |                       | 20,901                           | 26,12625                         | 81,14662                                             | 24                          |                                            |

**Tabel 4. 18** Daftar Tulangan Geser Balok Anak

| Tipe | Dimensi   | Daerah | Gaya geser (N)<br>Vu | Vs     | Kontrol Nilai Vs | Av/S<br>Perlu<br>mm <sup>2</sup> | Ø<br>mm | Jumlah Kaki | Luas<br>mm <sup>2</sup> | Cek Spasi | AV    | Kap. Geser Balok | Cek Syarat | S Pakai<br>mm | Dipasang |
|------|-----------|--------|----------------------|--------|------------------|----------------------------------|---------|-------------|-------------------------|-----------|-------|------------------|------------|---------------|----------|
| B1   | 250 X 550 | Tump.  | 97625                | 130167 | OK               | 0,32896                          | 10      | 2           | 157,08                  | S<br>Max  | 9507  | 19525000         | OK         | 100           | 2D10-100 |
|      |           | Lap.   |                      |        |                  | 0,32896                          | 10      | 2           | 157,08                  | S<br>Max  | 14260 | 19525000         | OK         | 150           | 2D10-150 |
| B2   | 300 X 550 | Tump.  | 128107               | 170810 | OK               | 0,94619                          | 13      | 2           | 265,46                  | S<br>Max  | 13334 | 25621460         | OK         | 100           | 2D13-100 |
|      |           | Lap.   |                      |        |                  | 0,39475                          | 13      | 2           | 265,46                  | S<br>Max  | 20001 | 25621460         | OK         | 150           | 2D13-150 |
| B3   | 350 X 450 | Tump.  | 64848                | 86464  | OK               | 1,16311                          | 10      | 2           | 157,08                  | S<br>Max  | 7938  | 12969520         | OK         | 100           | 2D10-100 |
|      |           | Lap.   |                      |        |                  | 0,95328                          | 10      | 2           | 157,08                  | S<br>Max  | 11907 | 12969520         | OK         | 150           | 2D10-150 |
| B4   | 350 X 700 | Tump.  | 131960               | 175947 | OK               | 0,82531                          | 13      | 2           | 265,46                  | S<br>Max  | 9880  | 26392000         | OK         | 100           | 2D13-100 |
|      |           | Lap.   |                      |        |                  | 0,46054                          | 13      | 2           | 265,46                  | S<br>Max  | 14820 | 26392000         | OK         | 150           | 2D13-150 |
| BR1  | 350 X 450 | Tump.  | 19569                | 26092  | OK               | 0,6188                           | 13      | 2           | 265,46                  | S<br>Max  | 2396  | 3913840          | OK         | 100           | 2D13-100 |
|      |           | Lap.   |                      |        |                  | 0,02623                          | 13      | 2           | 265,46                  | S<br>Max  | 3593  | 3913840          | OK         | 150           | 2D13-150 |

Berikut merupakan potongan melintang tulangan balok:

| TYPE        | G1 X (350 mm X 700 mm) |          |
|-------------|------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                        |          |
| TUL. ATAS   | 4 D22                  | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D13                  | 4 D13    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                  | 4 D22    |
| SENGKANG    | D13-100                | D13-150  |

| TYPE        | G1 Y (400 mm X 700 mm) |           |
|-------------|------------------------|-----------|
| POSISI      | TUMPUAN                | LAPANGAN  |
| GAMBAR      |                        |           |
| TUL. ATAS   | 5 D25                  | 5 D25     |
| TUL. TENGAH | 4 D13                  | 4 D13     |
| TUL. BAWAH  | 3 D25                  | 5 D25     |
| SENGKANG    | 3 D13-100              | 3 D13-150 |

| TYPE        | G6 (350 mm X 900 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 5 D22                | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                | 5 D22    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

| TYPE        | G7 (350 mm X 850 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 6 D22                | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                | 6 D22    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

**Gambar 4. 14** Potongan Melintang Balok

| TYPE        | G1 X (350 mm X 700 mm) |          |
|-------------|------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                        |          |
| TUL. ATAS   | 4 D22                  | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D13                  | 4 D13    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                  | 4 D22    |
| SENGKANG    | D13-100                | D13-150  |

| TYPE        | G1 Y (400 mm X 700 mm) |           |
|-------------|------------------------|-----------|
| POSISI      | TUMPUAN                | LAPANGAN  |
| GAMBAR      |                        |           |
| TUL. ATAS   | 5 D25                  | 5 D25     |
| TUL. TENGAH | 4 D13                  | 4 D13     |
| TUL. BAWAH  | 3 D25                  | 5 D25     |
| SENGKANG    | 3 D13-100              | 3 D13-150 |

| TYPE        | G6 (350 mm X 900 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 5 D22                | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                | 5 D22    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

| TYPE        | G7 (350 mm X 850 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 6 D22                | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                | 6 D22    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

**Gambar 4. 15** Potongan Melintang Balok

| TYPE        | G8 (500 mm X 900 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 5 D22                | 5 D22    |
| TUL. TENGAH | 6 D16                | 6 D16    |
| TUL. BAWAH  | 6 D22                | 5 D22    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

| TYPE        | G1 X Kantilever (350 mm X 700 mm) |          |
|-------------|-----------------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                           | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                                   |          |
| TUL. ATAS   | 9 D22                             | 5 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                             | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 4 D22                             | 5 D22    |
| SENGKANG    | D13-100                           | D13-150  |

| TYPE        | TB 1 (350 mm X 600 mm) |          |
|-------------|------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                        |          |
| TUL. ATAS   | 6 D19                  | 3 D19    |
| TUL. TENGAH | 2 D16                  | 2 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D19                  | 3 D19    |
| SENGKANG    | D13-100                | D13-150  |

| TYPE        | TB 2 (400 mm X 700 mm) |          |
|-------------|------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                        |          |
| TUL. ATAS   | 5 D25                  | 3 D25    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                  | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D25                  | 4 D25    |
| SENGKANG    | D13-100                | D13-150  |

Gambar 4. 16 Potongan Melintang Balok

| TYPE        | TB 1 Kantilever (350 mm X 600 mm) |           |
|-------------|-----------------------------------|-----------|
| POSISI      | TUMPUAN                           | LAPANGAN  |
| GAMBAR      |                                   |           |
| TUL. ATAS   | 7 D22                             | 4 D22     |
| TUL. TENGAH | 2 D16                             | 2 D16     |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                             | 3 D22     |
| SENGKANG    | 3 D13-100                         | 3 D13-150 |

| TYPE        | B1 Kantilever (250 mm X 550 mm) |          |
|-------------|---------------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                         | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                                 |          |
| TUL. ATAS   | 4 D19                           | 2 D19    |
| TUL. TENGAH | 2 D13                           | 2 D13    |
| TUL. BAWAH  | 2 D19                           | 2 D19    |
| SENGKANG    | D13-100                         | D13-150  |

| TYPE        | B1 (250 mm X 550 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 3 D22                | 2 D22    |
| TUL. TENGAH | 2 D13                | 2 D13    |
| TUL. BAWAH  | 2 D22                | 3 D22    |
| SENGKANG    | D10-100              | D10-150  |

| TYPE        | B2 (300 mm X 550 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 5 D25                | 2 D25    |
| TUL. TENGAH | 2 D16                | 2 D16    |
| TUL. BAWAH  | 2 D25                | 3 D25    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

Gambar 4. 17 Potongan Melintang Balok

| TYPE        | B3 (350 mm X 450 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 4 D22                | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 2 D16                | 2 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                | 4 D22    |
| SENGKANG    | D10-100              | D10-150  |

| TYPE        | B4 (350 mm X 700 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 5 D22                | 3 D22    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D22                | 3 D22    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

| TYPE        | BR (350 mm X 450 mm) |          |
|-------------|----------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                      |          |
| TUL. ATAS   | 4 D16                | 3 D16    |
| TUL. TENGAH | 2 D16                | 2 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D16                | 3 D16    |
| SENGKANG    | D13-100              | D13-150  |

| TYPE        | RMBP 1 (400 mm X 700 mm) |          |
|-------------|--------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                  | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                          |          |
| TUL. ATAS   | 7 D29                    | 6 D29    |
| TUL. TENGAH | 4 D16                    | 4 D16    |
| TUL. BAWAH  | 6 D29                    | 7 D29    |
| SENGKANG    | D13-100                  | D13-150  |

Gambar 4. 18 Potongan Melintang Balok

| TYPE        | RMBP 2 (350 mm X 550 mm) |          |
|-------------|--------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                  | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                          |          |
| TUL. ATAS   | 4 D25                    | 4 D25    |
| TUL. TENGAH | 2 D16                    | 2 D16    |
| TUL. BAWAH  | 4 D25                    | 4 D25    |
| SENGKANG    | D13-100                  | D13-150  |

| TYPE        | RMBP 3 (400 mm X 250 mm) |          |
|-------------|--------------------------|----------|
| POSISI      | TUMPUAN                  | LAPANGAN |
| GAMBAR      |                          |          |
| TUL. ATAS   | 3 D19                    | 3 D19    |
| TUL. TENGAH | 2 D16                    | 2 D16    |
| TUL. BAWAH  | 3 D19                    | 3 D19    |
| SENGKANG    | D13-100                  | D13-150  |

| TYPE        | RMBP 4 (425 mm X 550 mm) |           |
|-------------|--------------------------|-----------|
| POSISI      | TUMPUAN                  | LAPANGAN  |
| GAMBAR      |                          |           |
| TUL. ATAS   | 7 D29                    | 3 D29     |
| TUL. TENGAH | 4 D16                    | 4 D16     |
| TUL. BAWAH  | 3 D29                    | 4 D29     |
| SENGKANG    | 3 D13-100                | 3 D13-150 |

Gambar 4. 19 Potongan Melintang Balok

#### 4.5.2 Perhitungan Penulangan Kolom Struktur

Berikut merupakan penjelasan perhitungan tulangan kolom dengan metode SRPMK pada lantai dasar hingga lantai atap.

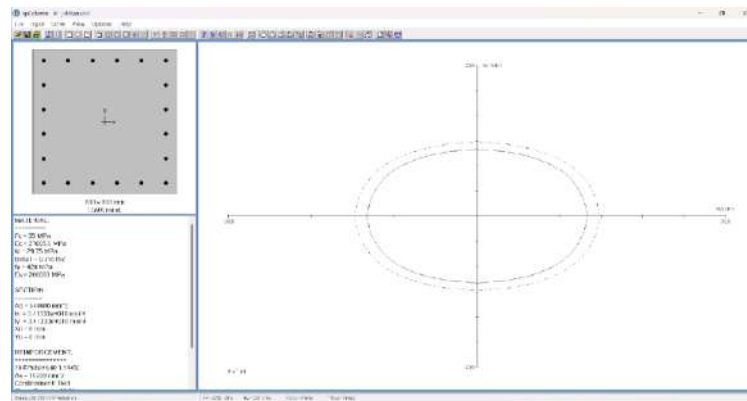
##### 1. Data Perencanaan

|                                  |                |
|----------------------------------|----------------|
| Tipe Kolom                       | = K1           |
| Tinggi, L                        | = 3500         |
| Sisi pendek kolom, b             | = 800          |
| Sisi panjang kolom, h            | = 800          |
| Diameter tulangan lentur, $d_b$  | = 25 mm        |
| Diameter tulangan sengkang $d_s$ | = 13 mm        |
| Selimut bersih                   | = 40 mm        |
| Kuat tekan beton, $f_c'$         | = 35 MPa       |
| Mutu beton tulangan              | = BJTD 420 MPa |
| Tinggi balok tertumpu            | = 700 mm       |
| Tinggi bersih, $L_n$             | = 2800 mm      |

##### 2. Analisis Kolom

###### Penulangan *Longitudinal* Kolom

Dalam perencanaan tulangan utama kolom SRPMK, proses desain tulangan mengacu pada ketentuan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 terkait rasio tulangan minimum sebesar 0,01 (1%) dan rasio tulangan maksimum sebesar 0,06 (6%). Proses penentuan tulangan kolom menggunakan program bantuan *spColumn* guna mendapat hasil perhitungan yang sesuai persyaratan.



**Gambar 4. 20** Analisis kekuatan kolom dengan spColumn

Dari hasil percobaan dengan *software spColumn* diperoleh susunan tulangan 20 D25 dengan  $\rho$  sebesar 1,594% atau 0,01594.

### 3. Cek Persyaratan Rasio Tulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 luas tulangan tidak boleh  $< 0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,06 A_g$ . Sehingga perhitungan rasio tulangan K1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 0,01 A_g &= 0,01 \times 0,800 \times 0,800 &= 0,0064 \\
 0,6 A_g &= 0,06 \times 0,800 \times 0,800 &= 0,0384 \\
 0,0 A_g &= 0,01534 \times 0,800 \times 0,800 &= 0,012032 \\
 0,0064 &< 0,009817 > 0,0384 &(\text{OK})
 \end{aligned}$$

### 4. Pengecekan syarat *strong column weak beam*

a) Sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 ketentuan kolom harus memenuhi  $\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$

b)  $\sum M_{nb}$  diambil pada momen-momen pada ujung balok G1X yang ditumpu oleh kolom K1

$$\sum M_{nb} = 1,2 (110,391 + 263,094) = 373,485 \text{ KNm}$$

c) Nilai  $\sum M_{nc}$  didapat dari diagram interaksi kolom P-M dengan *sp Column*

| Demand   |         |         | Capacity |          |         | Parameters at Capacity |          |       | Capacity |
|----------|---------|---------|----------|----------|---------|------------------------|----------|-------|----------|
| Pu       | Mux     | Muy     | φPn      | φMnx     | φMny    | NA Depth               | ct       | φ     | Ratio    |
| kN       | kNm     | kNm     | kN       | kNm      | kNm     | mm                     |          |       |          |
| -452.15  | 75.36   | 14.94   | -1439.73 | 842.07   | 167.00  | 109                    | 0.02179  | 0.900 | 0.53     |
| 11886.80 | -222.02 | -379.73 | 11970.69 | -222.02  | -379.73 | 990                    | -0.00001 | 0.650 | 0.99     |
| 9824.49  | 796.00  | 156.00  | 11970.69 | 796.00   | 156.00  | 911                    | -0.00020 | 0.650 | 0.82     |
| 7710.00  | -818.00 | -100.00 | 10545.16 | -1242.35 | -151.88 | 801                    | 0.00011  | 0.650 | 0.68     |
| 3575.00  | 179.00  | 664.00  | 0.00     | 345.38   | 1291.20 | 206                    | 0.00962  | 0.900 | 0.55     |
| 7549.00  | -163.00 | -572.00 | 11970.69 | -163.00  | -572.00 | 933                    | -0.00015 | 0.650 | 0.63     |

**Gambar 4. 21** Diagram nilai momen pada kolom

Karena panjang kolom atas hingga bawah memiliki penampang yang sama, maka perhitungan bisa menggunakan rumus  $2 \times M_{nc}$ .

**Tabel 4. 19** Hasil Perhitungan nilai  $M_{nx}$

| $\Phi M_{nx}$ (KNm) | $\Phi M_{ny}$ (KNm) | $\Phi$ (KNm) | $M_{nx}$ (KNm) | $M_{ny}$ (KNm) |
|---------------------|---------------------|--------------|----------------|----------------|
| 1242,35             | 151,88              | 0,65         | 1911,308       | 233,6615       |

Dari hasil  $M_{nx}$  dan  $M_{ny}$  diperoleh  $\sum M_{nc}$

$$\sum M_{nc} = 2 \times 233,6615 = 467,323 \text{ KNm}$$

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb} = 467,323 \text{ KNm} > 373,485 \text{ KNm} \quad (\text{OK})$$

5. Perhitungan desain tulangan *transversal*

Dicoba tulangan *transversal* 5 kaki D13

$$A_{sh \min 1,2} = n \times \frac{\pi}{4} \times d^2 = 663,661 \text{ mm}^2$$

a. Cek luas penampang kolom

$$\text{Lebar penampang inti beton, } bc = 800 - 2(40) = 720 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang, } A_g = 800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas penampang inti beton, } A_{ch} = 720 \times 720 = 518400 \text{ mm}^2$$

Sisi pendek dan Sisi Panjang

$$\frac{A_{sh}}{s_{min_1}} = \left\{ 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \right\} \times (bc \times \frac{f_c'}{f_y})$$

$$\frac{A_{sh}}{s_{min_2}} = 0,09 \frac{bc \cdot f_c'}{420}$$

$$\frac{A_{sh}}{s_{min_1}} = \left\{ 0,3 \left( \frac{640000}{518400} - 1 \right) \right\} \times (720 \times \frac{35}{420}) = 4,222 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s_{min_2}} = 0,09 \frac{720 \times 35}{420} = 5,400 \text{ mm}^2$$

Cek  $A_{sh} \geq A_{sh \min}$

$$4222 \text{ mm}^2 \text{ dan } 5400 \text{ mm}^2 \geq 663,661 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$



Diambil nilai terbesar yaitu  $5400 \text{ mm}^2/\text{mm}$

b. Cek jarak spasi maksimum

$$S_o < 100 + \frac{350-hx}{3} = 100 + \frac{350-300}{3} = 116,667 \text{ mm}^2$$

Diperoleh nilai  $S_o = 116,667 \text{ mm}^2$  tetapi tidak boleh melebihi nilai  $S_{min} = 100 \text{ mm}$ , maka jarak yang digunakan adalah  $100 \text{ mm}$ .

$$A_{sh \text{ min}} = 5,4 \times 100 = 540 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ min}} < A_{ssh \text{ pakai}} = 540 \text{ mm}^2 < 663,661 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Pada daerah tumpuan digunakan tulangan *transversal* 5D13-100, sedangkan pada daerah lapangan dapat digunakan tulangan 5D13-100.

## 6. Rekapitulasi Perhitungan Kolom

**Tabel 4. 20** Rekapitulasi Tulangan Kolom

| Tipe          | As Pakai (mm) | Tulangan | Ratio SNI 2847 : 2019 Pasal |    |
|---------------|---------------|----------|-----------------------------|----|
| K1' 800 X 800 | 9817          | 20D25    | 1.53%                       | OK |
| K3' 500 X 500 | 13210         | 20D29    | 5.28%                       | OK |
| K4' 450 X 450 | 4562          | 12D22    | 2.25%                       | OK |
| K5' 500 X 500 | 4562          | 12D22    | 1.82%                       | OK |
| K6' 550 X 550 | 4562          | 12D22    | 1.51%                       | OK |
| K7' 600 X 600 | 6082          | 16D22    | 1.69%                       | OK |
| K8' 650 X 650 | 6082          | 16D22    | 1.44%                       | OK |

## 7. Rekapitulasi Tulangan Senggang Kolom

**Tabel 4. 21** Rekapitulasi Tulangan Senggang Kolom

| Tipe          | Av/ S Perlu mm <sup>2</sup> | Tulangan | Daerah   | Ø (mm) | Jumlah Kaki | Luas mm <sup>2</sup> | S Perlu | S Pakai | Cek Spasi   | Dipasang |
|---------------|-----------------------------|----------|----------|--------|-------------|----------------------|---------|---------|-------------|----------|
| K1' 800 X 800 | 0,71                        | 20D25    | Tumpuan  | 13     | 5           | 663,66               | 934,73  | 100     | Pakai S Max | 5D13-100 |
|               |                             |          | Lapangan | 13     | 5           | 663,66               | 934,73  | 100     | Pakai S Max | 5D13-100 |
| K3' 500 X 500 | 0,58                        | 20D29    | Tumpuan  | 13     | 4           | 530,93               | 915,4   | 100     | Pakai S Max | 4D13-100 |
|               |                             |          | Lapangan | 13     | 4           | 530,93               | 915,4   | 100     | Pakai S Max | 4D13-100 |
| K4' 450 X 450 | 0,58                        | 12D22    | Tumpuan  | 13     | 4           | 530,93               | 915,4   | 100     | Pakai S Max | 4D13-100 |

|               |      |       |          |    |   |        |        |     |                |          |
|---------------|------|-------|----------|----|---|--------|--------|-----|----------------|----------|
|               |      |       | Lapangan | 13 | 4 | 530,93 | 915,4  | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
| K5' 500 X 500 | 0,58 | 12D22 | Tumpuan  | 13 | 4 | 530,93 | 915,4  | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
|               |      |       | Lapangan | 13 | 4 | 530,93 | 915,4  | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
| K6' 550 X 550 | 3,11 | 12D22 | Tumpuan  | 13 | 4 | 530,93 | 170,72 | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
|               |      |       | Lapangan | 13 | 4 | 530,93 | 170,72 | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
| K7' 600 X 600 | 0,53 | 16D22 | Tumpuan  | 13 | 4 | 530,93 | 1001,8 | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
|               |      |       | Lapangan | 13 | 4 | 530,93 | 1001,8 | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
| K8' 650 X 650 | 0,58 | 16D22 | Tumpuan  | 13 | 4 | 530,93 |        | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |
|               |      |       | Lapangan | 13 | 4 | 530,93 | 915,4  | 100 | Pakai S<br>Max | 4D13-100 |

Berikut merupakan potongan melintang kolom:

| TYPE       | K1 (800 mm X 800 mm) |           |
|------------|----------------------|-----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN  |
| GAMBAR     |                      |           |
| TUL. UTAMA | 20 D25               | 20 D25    |
| SENGKANG   | 5 D13-100            | 5 D13-100 |

| TYPE       | K3 (500 mm X 500 mm) |           |
|------------|----------------------|-----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN  |
| GAMBAR     |                      |           |
| TUL. UTAMA | 20 D25               | 20 D25    |
| SENGKANG   | 4 D13-100            | 4 D13-100 |

| TYPE       | K4 (450 mm X 450 mm) |           |
|------------|----------------------|-----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN  |
| GAMBAR     |                      |           |
| TUL. UTAMA | 12 D22               | 12 D22    |
| SENGKANG   | 4 D13-100            | 4 D13-100 |

| TYPE       | K5 (500 mm X 500 mm) |           |
|------------|----------------------|-----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN  |
| GAMBAR     |                      |           |
| TUL. UTAMA | 12 D22               | 12 D22    |
| SENGKANG   | 4 D13-100            | 4 D13-100 |

**Gambar 4. 22** Potongan Melintang Kolom

| TYPE       | K6 (550 mm X 550 mm) |           |
|------------|----------------------|-----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN  |
| GAMBAR     |                      |           |
| TUL. UTAMA | 12 D22               | 12 D22    |
| SENGKANG   | 4 D13-100            | 4 D13-100 |

| TYPE       | K7 (600 mm X 600 mm) |           |
|------------|----------------------|-----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN  |
| GAMBAR     |                      |           |
| TUL. UTAMA | 16 D22               | 16 D22    |
| SENGKANG   | 4 D13-100            | 4 D13-100 |

| TYPE       | K8 (650 mm X 650 mm) |          |
|------------|----------------------|----------|
| POSISI     | TUMPUAN              | LAPANGAN |
| GAMBAR     |                      |          |
| TUL. UTAMA | 16 D22               | 16 D22   |
| SENGKANG   | 4 D13                | 4 D13    |

**Gambar 4. 23** Potongan Melintang Kolom

#### 4.5.3 Perhitungan Penulangan Pelat Struktur

Untuk menghitung tulangan pelat diperlukan hasil *output* perhitungan momen dari analisa struktur melalui *software ETABS*.

#### 4.5.3.1 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

##### a) Data Perencanaan

|                      |                                                  |
|----------------------|--------------------------------------------------|
| Tipe pelat           | : Slab 120                                       |
| Lx                   | : 2800 mm                                        |
| Ly                   | : 6500 mm, 10665mm                               |
| Tebal pelat          | : 120 mm                                         |
| Mutu beton, $f_c'$   | : 35 MPa                                         |
| Mutu, $f_y$          | : 420 MPa                                        |
| $\beta_1$            | : 0,8357                                         |
| Diameter tulangan, D | : 13 mm                                          |
| Selimut beton        | : 15 mm                                          |
| Tebal efektif, $d'$  | : tebal pelat – selimut beton - $1\frac{1}{2}$ D |
|                      | : $120 - 15 - 1\frac{1}{2} (13) = 85,5$ mm       |

##### b) Penulangan Pelat Lantai Tipe Pelat 2 Arah

Untuk menghitung tulangan pelat dengan bentang Ly yang besar dengan Ly dibagi Lx lebih besar dari 2,5 maka digunakan perhitungan penulangan pelat tipe 2 arah.

##### o. Momen-momen *output* dari perhitungan ETABS

$$\begin{aligned}
 M_{arah-X} / M_{11 \text{ Min}} &= -25,054 \text{ KNm} \\
 M_{arah-X} / M_{11 \text{ Max}} &= 6,891 \text{ KNm} \\
 M_{arah-Y} / M_{22 \text{ Min}} &= -17,101 \text{ KNm} \\
 M_{arah-Y} / M_{22 \text{ Max}} &= 7,658 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

##### p. Menghitung kebutuhan rasio tulangan untuk kebutuhan tulangan pelat

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= 1,4/f_y \\
 &= 1,4/420 &= 0,003333 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,8357}{420} \times \frac{600}{600+420} = 0,03482 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\
 &= 0,75 (0,03482) &= 0,02612
 \end{aligned}$$

- q. Untuk  $As_{min} f_y \geq 420$  MPa, sesuai SNI 2847-2019 Tabel 7.6.11 untuk

$As_{min}$  pelat satu arah

Pilih hasil yang terbesar dari :

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$$

$$\frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm}^2$$

$$0,0014 A_g$$

$$0,0014 \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm}^2, \text{ maka dipakai } As_{min}: 216 \text{ mm}^2$$

- r. Menghitung kebutuhan tulangan tumpuan arah-X

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 25,054 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{25,054}{0,9} = 27,837 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{27,8377 \times 10^6}{1000 \times 85,5^2} = 3,808$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_{c'}'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,808}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00973 < \rho_{max}$$

$$> \rho_{min}$$

$$As_{perlu} = 0,00973 \times 1000 \times 85,5$$

$$= 832,416 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$S_{max} = 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450 \text{ mm}$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$As_{pakai} = \pi/4 \times D^2 \times b$$

$$= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2$$

Dengan syarat,

$$As_{min} < As_{pakai} > As_{perlu}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 832,416 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (Ok).}$$

- s. Menghitung kebutuhan tulangan lapangan arah-X

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 6,891 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6,891}{0,9} = 7,656 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{7,656 \times 10^6}{1000 \times 85,5^2} = 1,0473$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_{c'}'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,04739}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00254 < \rho_{\text{max}} \\ &> \rho_{\text{min}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,0033 \times 1000 \times 85,5 \\ &= 285 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &= 2 \times \text{tinggi pelat (h)} \text{ dan } 450 \text{ mm} \\ &= 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan syarat,

$$A_{s_{\text{min}}} < A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 285 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (Ok).}$$

t. Menghitung kebutuhan tulangan tumpuan arah-Y

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 17,101 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{17,101}{0,9} = 19,001 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{19,001 \times 10^6}{1000 \times 85,5^2} = 2,599$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_{c'}'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,599}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00649 < \rho_{\text{max}} \\ &> \rho_{\text{min}} \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,00648 \times 1000 \times 85,5$$

$$= 554,518 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$S_{max} = 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450\text{mm}$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$\begin{aligned} A_{spakai} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \frac{\pi}{4} \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan syarat,

$$A_{smin} < A_{spakai} > A_{spertu}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 554,518 \text{ mm}^2 > 885,238 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (Ok).}$$

u. Menghitung kebutuhan tulangan lapangan arah-Y

$$M_{11 Min} = M_u = 7,658 \text{ KNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{7,658}{0,9} = 8,508 \text{ KNm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{8,508 \times 10^6}{1000 \times 85,5^2} = 1,1639$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_{c'}}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,1639}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00282 < \rho_{max} \\ &> \rho_{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{spertu} &= 0,00333 \times 1000 \times 85,5 \\ &= 285 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$S_{max} = 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450\text{mm}$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$\begin{aligned} A_{spakai} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan syarat,



$$A_{s_{min}} < A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 285 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (OK).}$$

c) Penulangan Pelat Lantai Tipe Pelat 1 Arah

Untuk menghitung tulangan pelat dengan bentang  $L_y$  dibagi  $L_x$  lebih kecil dari 2,5 maka digunakan perhitungan penulangan pelat tipe 1 arah.

v. Momen-momen *output* dari perhitungan *ETABS*

$$M_{arah-X} / M_{11 \text{ Min}} = -27,813 \text{ KNm}$$

$$M_{arah-X} / M_{11 \text{ Max}} = 4,34 \text{ KNm}$$

$$M_{arah-Y} / M_{22 \text{ Min}} = -21,57 \text{ KNm}$$

$$M_{arah-Y} / M_{22 \text{ Max}} = 13,019 \text{ KNm}$$

w. Menghitung kebutuhan rasio tulangan untuk kebutuhan tulangan pelat

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= 1,4/f_y \\ &= 1,4/420 = 0,003333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,8357}{420} \times \frac{600}{600+420} = 0,03482 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 (0,03482) = 0,02612 \end{aligned}$$

x. Untuk  $A_{s_{min}} f_y \geq 420 \text{ MPa}$ , sesuai SNI 2847-2019 Tabel 7.6.11 untuk

$A_{s_{min}}$  pelat satu arah

Pilih hasil yang terbesar dari :

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$$

$$\frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm}^2$$

$$0,0014 A_g$$

$$0,0014 \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm}^2, \text{ maka dipakai } A_{s_{min}} = 216 \text{ mm}^2$$

y. Menghitung kebutuhan tulangan tumpuan arah-X

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 27,813 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{27,813}{0,9} = 30,903 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} = \frac{30,903 \times 10^6}{1000 \times 85,5^2} = 4,2274$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_{c'}}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,2274}{0,85 \times 35}} \right) = 0,0109 < \rho_{max} \\ &> \rho_{min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s_{perlu}} &= 0,0109 \times 1000 \times 85,5 \\ &= 932,343 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$\begin{aligned}S_{max} &= 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450 \text{ mm} \\ &= 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 200 mm

$$\begin{aligned}A_{s_{pakai}} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \pi/4 \times 16^2 \times \frac{1000}{200} = 1005,71 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan syarat,

$$A_{s_{min}} < A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 1005,71 \text{ mm}^2 > 932,343 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (OK)}$$

z. Menghitung kebutuhan tulangan bagi untuk arah y

Penggunaan tulangan bagi umumnya menggunakan  $A_s$  20%-50% dari

$A_s$  pakai tulangan utama atau tulangan tumpuan pada arah X.

$$A_s \text{ pakai} = 1005,71 \text{ mm}^2 \text{ (D16-200)}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ tulangan bagi minimal} &= 20\% \times 1005,71 \\ &= 201,143 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} = 216 \text{ mm}^2,\end{aligned}$$

belum memenuhi sehingga  $A_s$  minimalnya tetap digunakan  $A_s$  min sesuai perhitungan SNI, 216 mm<sup>2</sup>

Dicoba digunakan tulangan bagi dengan diameter 10 jarak 200

$$\begin{aligned}A_{s_{bagi}} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \pi/4 \times 10^2 \times \frac{1000}{200} = 392,857 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= 20\% < A_{s_{bagi}} / A_{s_{pakai}} < 50\% \\ &= 0,2 < \frac{392,857}{1005,71} < 0,5\end{aligned}$$

$= 0,2 < 0,3906 < 0,5 \rightarrow$  memenuhi (Ok), sehingga digunakan tulangan bagi D10-200.

#### 4.5.3.2 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai Atap

##### a) Data Perencanaan

|                      |                                                                                               |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipe pelat           | : Slab 100                                                                                    |
| Lx                   | : 2800 mm                                                                                     |
| Ly                   | : 6500 mm                                                                                     |
| Tebal pelat          | : 100 mm                                                                                      |
| Mutu beton, $f_c'$   | : 35 MPa                                                                                      |
| Mutu, $f_y$          | : 420 MPa                                                                                     |
| $\beta_i$            | : 0,8357                                                                                      |
| Diameter tulangan, D | : 13 mm                                                                                       |
| Selimut beton        | : 15 mm                                                                                       |
| Tebal efektif, $d'$  | = tebal pelat – selimut beton - $1\frac{1}{2}$ D<br>= $100 - 15 - 1\frac{1}{2}(13) = 65,5$ mm |

##### b) Penulangan Pelat Lantai

Untuk menghitung tulangan pelat diperlukan hasil *output* perhitungan momen dari analisa struktur melalui *software ETABS*.

##### a. Momen-momen *output* dari perhitungan *ETABS*

$$\begin{aligned}
 M_{arah-X} / M_{11 Min} &= -19,45 \text{ KNm} \\
 M_{arah-X} / M_{11 Max} &= 11,655 \text{ KNm} \\
 M_{arah-Y} / M_{22 Min} &= -14,839 \text{ KNm} \\
 M_{arah-Y} / M_{22 Max} &= 7,149 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

##### b. Menghitung kebutuhan rasio tulangan untuk kebutuhan tulangan pelat

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= 1,4/f_y \\
 &= 1,4/420 &= 0,003333 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,8357}{420} \times \frac{600}{600+420} &= 0,03482 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \rho_b
 \end{aligned}$$

$$= 0,75 (0,03482)$$

$$= 0,02612$$

- c. Untuk  $As_{min} f_y \geq 420$  MPa, sesuai SNI 2847-2019 Tabel 7.6.11 untuk

$As_{min}$  pelat satu arah

Pilih hasil yang terbesar dari :

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$$

$$\frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 100 = 180 \text{ mm}^2$$

$$0,0014 A_g$$

$$0,0014 \times 1000 \times 100 = 140 \text{ mm}^2, \text{ maka dipakai } As_{min}: 180 \text{ mm}^2$$

- d. Menghitung kebutuhan tulangan tumpuan arah-X

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 19,45 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{19,45}{0,9} = 21,611 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{21,611 \times 10^6}{1000 \times 65,5^2} = 5,0372$$

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

$$= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 5,0372}{0,85 \times 35}} \right) = 0,01323 < \rho_{max}$$

$$> \rho_{min}$$

$$As_{perlu} = 0,01323 \times 1000 \times 65,5$$

$$= 866,485 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$S_{max} = 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450 \text{ mm}$$

$$= 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$As_{pakai} = \pi/4 \times D^2 \times b$$

$$= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2$$

Dengan syarat,

$$As_{min} < As_{pakai} > As_{perlu}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 866,485 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (Ok)}.$$

- e. Menghitung kebutuhan tulangan lapangan arah-X

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 11,655 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{11,655}{0,9} = 12,950 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{12,95 \times 10^6}{1000 \times 65,5^2} = 3,0184$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,0184}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00759 < \rho_{\text{max}} \\ &> \rho_{\text{min}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,00759 \times 1000 \times 65,5 \\ &= 497,401 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &= 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450 \text{ mm} \\ &= 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan syarat,

$$A_{s_{\text{min}}} < A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 497,401 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (Ok).}$$

- f. Menghitung kebutuhan tulangan tumpuan arah-Y

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 14,839 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{14,839}{0,9} = 16,487 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{16,487 \times 10^6}{1000 \times 65,5^2} = 3,843$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,843}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00983 < \rho_{\text{max}} \end{aligned}$$

$$> \rho_{min}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= 0,00983 \times 1000 \times 65,5 \\ &= 644,038 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$\begin{aligned} S_{max} &= 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450\text{mm} \\ &= 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \pi/4 \times D^2 \times b \\ &= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan syarat,

$$A_{s_{min}} < A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 644,038 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (Ok).}$$

g. Menghitung kebutuhan tulangan lapangan arah-Y

$$M_{11 \text{ Min}} = M_u = 7,149 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7,149}{0,9} = 7,943 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{7,943 \times 10^6}{1000 \times 65,5^2} = 1,8514$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_{c'} }{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'} }} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,8514}{0,85 \times 35}} \right) = 0,00455 < \rho_{max} \end{aligned}$$

$$> \rho_{min}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= 0,00455 \times 1000 \times 65,5 \\ &= 298,335 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2

$$\begin{aligned} S_{max} &= 2 \times \text{tinggi pelat (h) dan } 450\text{mm} \\ &= 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan 150 mm

$$A_{s_{pakai}} = \pi/4 \times D^2 \times b$$

$$= \pi/4 \times 13^2 \times \frac{1000}{150} = 885,238 \text{ mm}^2$$

Dengan syarat,

$$A_{s_{min}} < A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 885,238 \text{ mm}^2 > 298,335 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{memenuhi (OK).}$$

#### 4.5.3.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Pelat

**Tabel 4. 22** Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai 1A-10A dan 1B-10B Dua Arah

| Tulangan Pelat Lantai Dua Arah         |                     |                       |                     |                       |
|----------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Lokasi :                               |                     |                       |                     |                       |
| Lantai A AS 1-6 dan<br>Lantai B AS 6-7 | Tumpuan<br>Atas (X) | Lapangan<br>Bawah (X) | Tumpuan<br>Atas (Y) | Lapangan<br>Bawah (Y) |
| Tebal Pelat (mm)                       | 120                 | 120                   | 120                 | 120                   |
| Mu (KNm)                               | -25,054             | 6,891                 | -17,101             | 7,658                 |
| As Perlu                               | 832,416             | 285                   | 554,517             | 285                   |
| As Pakai                               | 885,238             | 885,238               | 885,238             | 885,238               |
| Tul. Utama                             | D13-150             | D13-150               | D13-150             | D13-150               |

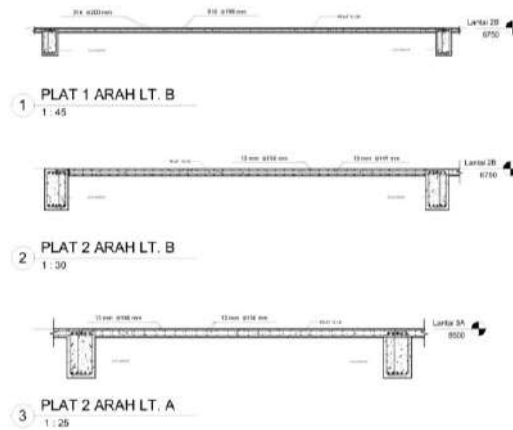
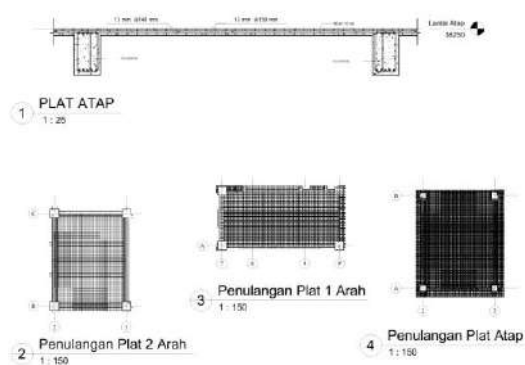
**Tabel 4. 23** Rekap Tulangan Pelat Lantai 1B-10B Satu Arah

| Tulangan Pelat Lantai Satu Arah          |                     |                       |                     |                       |
|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Lokasi :                                 |                     |                       |                     |                       |
| Lantai B AS 7-10<br>dan Plat <i>Ramp</i> | Tumpuan<br>Atas (X) | Lapangan<br>Bawah (X) | Tumpuan<br>Atas (Y) | Lapangan<br>Bawah (Y) |
| Tebal Pelat (mm)                         | 120                 | 120                   | 120                 | 120                   |
| Mu (KNm)                                 | -27,813             | 4,34                  | -21,57              | 13,019                |
| As Perlu                                 | 932,343             | 135,809               | -                   |                       |
| As Pakai                                 | 1005,71             |                       | -                   |                       |
| As bagi                                  | -                   |                       | 135,809             |                       |
| Tul. Utama                               | D16-200             |                       | D10-200             |                       |

**Tabel 4. 24** Rekap Tulangan Pelat Lantai Atap dan Atap Lift Dua Arah

| Tulangan Pelat Lantai Atap Dua Arah |                  |                    |                  |                    |
|-------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Lokasi :                            |                  |                    |                  |                    |
| Lantai Atap dan Atap Lift           | Tumpuan Atas (X) | Lapangan Bawah (X) | Tumpuan Atas (Y) | Lapangan Bawah (Y) |
| Tebal Pelat (mm)                    | 100              | 100                | 100              | 100                |
| Mu (KNm)                            | -19,45           | 11,655             | -14,839          | 7,149              |
| As Perlu                            | 866,48           | 497,40             | 644,038          | 298,33             |
| As Pakai                            | 885,238          | 885,238            | 885,238          | 885,238            |
| Tul. Utama                          | D13-150          | D13-150            | D13-150          | D13-150            |

Berikut merupakan potongan tulangan pelat:

**Gambar 4. 24** Potongan Pelat Lantai**Gambar 4. 25** Potongan Pelat Lantai



## 4.7 Perencanaan Struktur Bawah Bangunan

### 4.6.1 Perencanaan *Spun Pile* (Tiang Pancang)

Dalam perencanaan pondasi dalam berupa tiang pancang, salah satu pendekatan empiris yang banyak digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) adalah metode *Reese & Wright*, yang didasarkan pada hasil uji SPT (Standard Penetration Test) di lapangan. Metode ini memungkinkan perhitungan nilai kapasitas pondasi berdasarkan parameter tanah aktual, sehingga meningkatkan keandalan desain fondasi terhadap kondisi geoteknik setempat.

Secara umum, nilai kapasitas total daya dukung tiang pancang dihitung berdasarkan kontribusi dari daya dukung ujung ( $Q_p$ ) dan resistensi gesekan kulit ( $Q_s$ ), dengan hubungan sebagai berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Dimana:

$Q_u$  = daya dukung ultimate

$Q_p$  = daya dukung ujung

$Q_s$  = resistensi gesekan kulit

Berikut adalah perhitungan pondasi pancang:

Untuk menghitung daya dukung pondasi maka dibutuhkan data sebagai berikut:

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| Dimensi pondasi               | = 60 cm         |
| Jenis Pondasi                 | = Tiang Pancang |
| Beban ( $P_u$ ) yang diterima | = 12258,1174 kN |
| Panjang tiang ( $L$ )         | = 4800 cm       |

Data tanah:

|                        |                                 |                           |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Nilai SPT              | = 8,28918                       |                           |
| Luas penampang ( $A$ ) | = $0,25 \times \pi \times d^2$  |                           |
|                        | = $0,25 \times \pi \times 60^2$ | = 2826 cm <sup>2</sup>    |
| Keliling penampang     | = $\pi \times d$                |                           |
|                        | = $\pi \times 60$               | = 188,496 cm <sup>2</sup> |

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai kohesi tanah (Cu)} &= 2/3 \times \text{N-SPT} \times 10 \\
 &= 2/3 \times 8,28918 \times 10 \\
 &= 55,261 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \text{Luas penampang} \times L \text{ tiang} \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 2826 \text{ mm}^2 \times 4800 \text{ mm} \\
 &= 325,5552 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate ujung tiang ( $Q_p$ ) pada tanah kohesif:

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 9 \times C_u \times A \\
 &= 9 \times 55,261 \times 2826 \\
 &= 140,551 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate selimut tiang ( $Q_s$ ) pada tanah kohesif, untuk nilai  $\alpha = 0,55$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \alpha \times C_u \times L \times K \\
 &= 0,55 \times 55,261 \times 4800 \times 188,496 \\
 &= 2749,956 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate tiang ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s \\
 &= 140,551 + 2749,956 \\
 &= 2890,507 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung tiang pancang

$$\begin{aligned}
 Q_{nett} &= Q_u - \omega \\
 &= 2890,507 - 325,5552 \\
 &= 2890,507 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tiang perlu} &= \frac{P_u}{Q_{nett}} = \frac{12258,1174}{2890,507} \\
 &= 4,779 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tiang pakai} = 9 \text{ buah}$$

Menghitung efisiensi pondasi (Eff)

$$\text{Jarak antar tiang (S)} = 2,5D \sim 4D$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,5 \times 60 \sim 4 \times 60 \\
 &= 150 \text{ cm} \sim 240 \text{ cm} \\
 \text{Jarak tepi tiang ke } \textit{pilecap} &= 1,5D \sim 2D \\
 &= 1,5 \times 60 \sim 2 \times 60 \\
 &= 90 \text{ cm} \sim 120 \text{ cm} \\
 \text{Jumlah baris tiang (m)} &= 3 \\
 \text{Jumlah tiang tiap baris} &= 3 \\
 Q &= \arctan (D/S) \\
 &= 90 \\
 \text{Eff} &= 1 - \Theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 mn} \\
 &= 1 - \Theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 mn} \\
 &= 1 - 90^\circ \frac{(3-1)3+(3-1)3}{90 \times 3 \times 3} \\
 &= 83\% \\
 \text{Menghitung daya dukung izin kelompok (Qall)} \\
 Q_{all} &= n \times \text{Eff} \times Q_{\text{netto}} \\
 &= 3 \times 83\% \times 2890,507 \\
 &= 19185,598 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

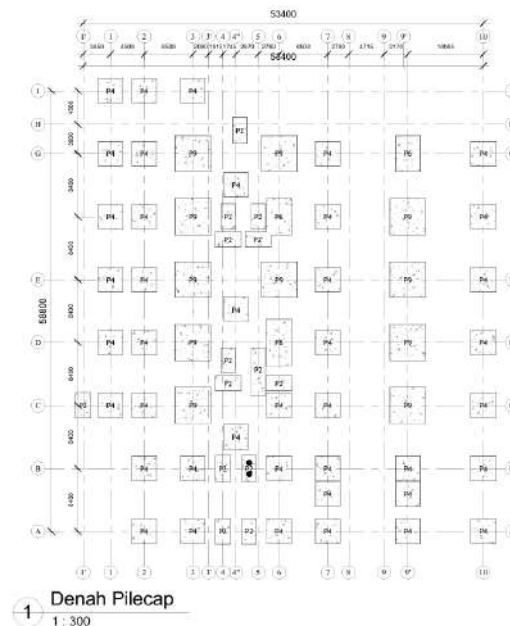
Cek beban yang diterima pondasi

$$P < Q_{all}$$

$$12258,1174 \text{ kN} < 19185,598 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

**Tabel 4. 25** Rekapitulasi Dimensi Spun Pile

| Tipe | Pu       | Q netto  | Q izin    | Jumlah Pile | Effisiensi | Diameter (mm) | Pu < Q izin |
|------|----------|----------|-----------|-------------|------------|---------------|-------------|
| P2   | 3296,2   | 2564,952 | 4508,575  | 2           | 87%        | 600           | OK          |
| P4   | 8831,95  | 2564,952 | 8960,151  | 4           | 87%        | 600           | OK          |
| P6   | 9064,685 | 2564,952 | 13411,727 | 6           | 87%        | 600           | OK          |
| P8   | 9925,725 | 2564,952 | 17863,303 | 8           | 87%        | 600           | OK          |
| P9   | 12258,12 | 2564,952 | 19185,598 | 9           | 83%        | 600           | OK          |



**Gambar 4. 26 Denah Pondasi**

#### 4.6.2 Perencanaan *Pile Cap*

##### A. Perencanaan Dimensi *Pile Cap*

Diameter pondasi pancang = 600 mm

Dimensi kolom panjang = 800 mm

Dimensi kolom pendek = 800 mm

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 40 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa

Gaya aksial kolom ( $P_u$ ) = 12258,12 kN

Selimit beton,  $P_u$  = 50 mm

a) Direncanakan dimensi pile cap dengan cara trial and error

Jarak antar tiang =  $2,5D \sim 4D$

=  $2,5 \times 600 \text{ mm} \sim 4 \times 600 \text{ mm}$

= 1500 mm  $\sim$  2400 mm

Diambil = 1500 mm

Jarak tiang ke tepi *pile cap* =  $1,5D \sim 2D$

=  $1,5 \times 600 \text{ mm} \sim 2 \times 600 \text{ mm}$

= 900 mm  $\sim$  1200 mm

Diambil = 900 mm

Dimensi *pile cap* rencana

$$\text{Panjang} = 4800 \text{ mm} = 4,8 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4800 \text{ mm} = 4,8 \text{ m}$$

$$\text{Tebal } \textit{pile cap} (\geq 300 \text{ mm}) = 1200 \text{ mm}$$

b) Cek Kontrol Terhadap Gaya Geser 1 arah (arah x)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{12258,1174}{4,8 \times 4,8} \\ &= 532,0363544 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

d, tebal efektif *pile cap* = L – selimut beton – db tulangan

$$= 1200 - 50 - 25$$

$$= 1125 \text{ mm} = 1,125 \text{ m}$$

G' = daerah pembebanan geser satu arah

$$\begin{aligned} G' &= L - \left( \frac{L + \text{Lebar Kolom}}{2} \right) \\ &= 4,8 - \left( \frac{4,8 + 0,8}{2} + 1,125 \right) \\ &= 0,875 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \delta \times L \times G' \\ &= 532,0363544 \times 4,8 \times 0,875 \\ &= 2234,55265 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f'c}}{6} \times L \times d \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 4,8 \times 1,125 \\ &= 0,75 \times 1,054093 \times 4,8 \times 1,125 \\ &= 4269074,84 \text{ N} \\ &= 4269,07484 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat  $\phi V_c > V_u$

$$4269,07484 \text{ kN} > 2234,55265 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

c) Cek Kontrol Terhadap Gaya Geser 1 arah (arah y)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{12258,1174}{4,8 \times 4,8} \end{aligned}$$

$$= 532,0363544 \text{ kN/m}^2$$

d, tebal efektif *pile cap* = L – selimut beton – db tulangan

$$= 1200 - 50 - 25$$

$$= 1125 \text{ mm} = 1,125 \text{ m}$$

G' = daerah pembebanan geser satu arah

$$G' = L - \left( \frac{L + \text{Lebar Kolom}}{2} \right)$$

$$= 4,8 - \left( \frac{4,8 + 0,8}{2} + 1,125 \right)$$

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

Vu =  $\delta \times L \times G'$

$$= 532,0363544 \times 4,8 \times 0,875$$

$$= 2234,55265 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times \frac{\sqrt{f'c}}{6} \times L \times d$$

$$= 0,75 \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 4,8 \times 1,125$$

$$= 0,75 \times 1,054093 \times 4,8 \times 1,125$$

$$= 4269074,84 \text{ N}$$

$$= 4269,07484 \text{ kN}$$

Syarat  $\phi V_c > V_u$

$$4269,07484 \text{ kN} > 2234,55265 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

d) Cek kontrol terhadap gaya geser dua arah

$$B' \text{ dan } L' = \text{Lebar kolom} + \frac{d}{2} \times 2$$

$$= 0,8 + \frac{1,125}{2} \times 2$$

$$= 1,925 \text{ m}$$

$$b_0 = 2 (B' + L')$$

$$= 2 (1,925 + 1,925)$$

$$= 2 \times 3,85$$

$$= 7700 \text{ mm} = 7,7 \text{ m}$$

e) Menghitung tegangan geser dari tiga rumus diatas

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b_0 \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 7700 \times 1125 \\ &= 27941094,8 \text{ N} \quad = 27941,0948 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \frac{1}{12} \times \left(2 + \frac{\alpha \times d}{b_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b_0 \times d \\ &= \frac{1}{12} \times \left(2 + \frac{40 \times 1125}{7700}\right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 7700 \times 1125 \\ &= 18262153,5 \text{ N} \\ &= 18262,1535 \text{ Kn} \end{aligned}$$

f) Dipilih nilai  $V_c$  yang digunakan yang terkecil: 18262,15 kN

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 18262,15 \text{ kN} \\ &= 13696,6151 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada tanah

$$\begin{aligned} V_u &= \delta \times (L \times B - L' \times B') \\ &= 532,0363544 \times (4,8 \times 4,8 - 1,925 \times 1,925) \\ &= 13696,6151 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat  $\phi V_c > V_u$

$$13696,615 > 10286,59 \quad (\text{OK})$$

## B. Perhitungan Tulangan Pile Cap

Direncanakan *pile cap*

$$\text{Dimensi} = 4800 \text{ mm} \times 4800 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter pondasi} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi kolom} = 800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal } pile \text{ cap} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif } pile \text{ cap} = 1125 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 40 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Digunakan tulangan} = D25 - 125 \text{ mm}$$

a) Perhitungan tulangan arah X

$$\begin{aligned}
 P_u &= 12258,1174 \text{ kNm} \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 40 \times 0,85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,068809524 \times 0,588235294 \\
 &= 0,04047619 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1}{4} \times 420 = 0,003333333 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,030357143
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan tulangan pile cap arah X

Lebar penampang kritis (B)

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\text{Lebar Pile Cap}}{2} - \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} = \frac{4,8}{2} - \frac{0,8}{2} \\
 &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berat *pile cap* pada penampang kritis

$$\begin{aligned}
 q' &= \gamma_{\text{beton}} \times L \times d \\
 &= 2400 \times 4,8 \times 1,125 \\
 &= 12960 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 3 \left( \frac{P_u}{n_s} \times S \right) - 0,5 \times q' \times B^2 \\
 &= 3 \times \left( \frac{1249592,49}{9} \times 1,5 \right) - 0,5 \times 12960 \times 4 \\
 &= 598876,2439 \text{ kgm} \\
 &= 5847,975952 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tulangan bawah arah X

$$\begin{aligned}
 M_u &= 5847,975952 \text{ kNm} \\
 &= 5847975952 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Faktor reduksi ( $\Theta$ ) = 0,9

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\Theta \times b \times d^2} \\
 &= \frac{5847975952}{0,9 \times 4800 \times 1265625} \\
 &= 1,074526923
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\
 &= \frac{34}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,1491}{34}}\right) \\
 &= 0,002600155
 \end{aligned}$$

Dipakai  $\rho$  min

$$\begin{aligned}
 \text{As Perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,003333333 \times 4800 \times 11235 \\
 &= 18000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s} \\
 &= 0,25 \times 25^2 \times \pi \times \frac{4800}{125} \\
 &= 18849,56 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Perlu

$$18849,56 \text{ mm}^2 > 18000 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

c) Tulangan atas arah X

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= 20\% - 50\% \text{ As Pakai} \\
 &= 25\% \times 18850 \\
 &= 4712,38898 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As Pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s} \\
 &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times \frac{4800}{125} \\
 &= 7720,778105 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Perlu

$$7720,778105 \text{ mm}^2 > 4712,38898 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

d) Perhitungan tulangan pile cap arah Y

Lebar penampang kritis (B)

$$B = \frac{\text{Lebar Pile Cap}}{2} - \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} = \frac{4,8}{2} - \frac{0,8}{2} = 2 \text{ m}$$

Berat *pile cap* pada penampang kritis

$$\begin{aligned}
 q' &= \gamma \text{ beton} \times L \times d \\
 &= 2400 \times 4,8 \times 1,125
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 12960 \text{ kg/m} \\
 \text{Mu} &= 3 \left( \frac{P_u}{n_s} \times S \right) - 0,5 \times q' \times B^2 \\
 &= 3 \times \left( \frac{1249592,49}{9} \times 1,5 \right) - 0,5 \times 12960 \times 4 \\
 &= 598876,2439 \text{ kgm} \\
 &= 5847,975952 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tulangan bawah arah X

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= 5847,975952 \text{ kNm} \\
 &= 5847975952 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi } (\Theta) = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\Theta \times b \times d^2} \\
 &= \frac{5847975952}{0,9 \times 4800 \times 1265625} \\
 &= 1,074526923
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right) \\
 &= \frac{34}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,1491}{34}} \right) \\
 &= 0,002600155
 \end{aligned}$$

Dipakai  $\rho$  min

$$\begin{aligned}
 \text{As Perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,003333333 \times 4800 \times 11235 \\
 &= 18000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s} \\
 &= 0,25 \times 25^2 \times \pi \times \frac{4800}{125} \\
 &= 18849,56 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Perlu

$$18849,56 \text{ mm}^2 > 18000 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

e) Tulangan atas arah Y

$$\text{As perlu} = 20\% - 50\% \text{ As Pakai}$$

$$= 25\% \times 18850$$

$$= 4712,38898 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Pakai} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times \frac{b}{s}$$

$$= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times \frac{4800}{125}$$

$$= 7720,778105 \text{ mm}^2$$

Syarat As Pakai > As Perlu

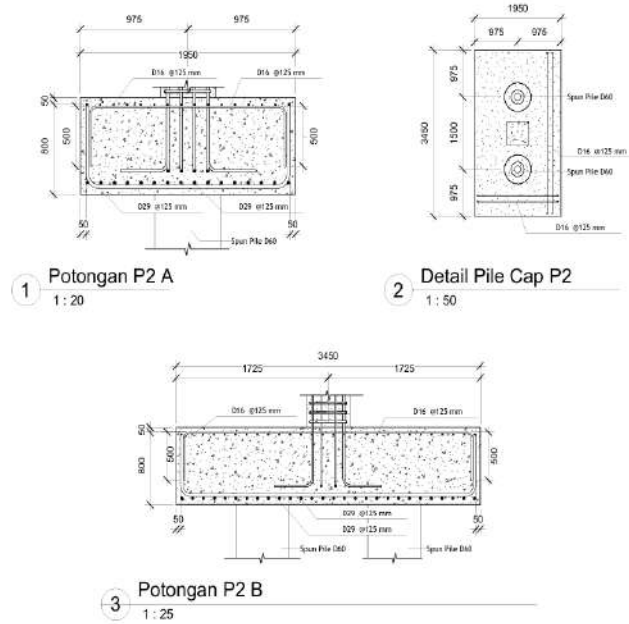
$$7720,778105 \text{ mm}^2 > 4712,38898 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

## f) Rekapitulasi Tipe Pondasi

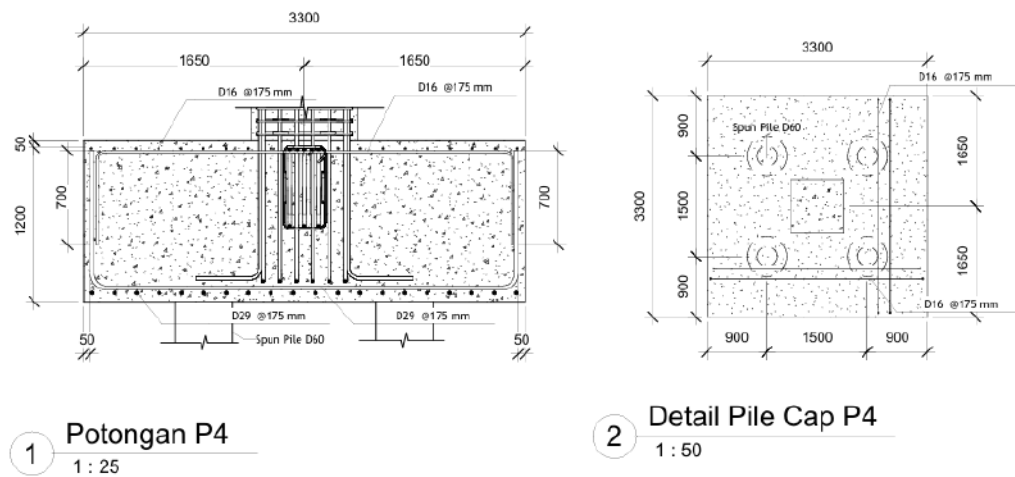
**Tabel 4. 26** Rekapitulasi Tipe *Pile Cap*

| Tipe | Dimensi Pile (m) | Diameter Pile (cm) | Jumlah Pile dalam PC | Tebal PC (cm) | $\Phi V_c$ | $V_u$ | $\Phi V_c > V_c$ | Arah Tulangan | Letak | Db Rencana (mm) | As Perlu (mm <sup>2</sup> ) | As Pakai (mm <sup>2</sup> ) | As Pakai > As Perlu | Tulangan Pakai |
|------|------------------|--------------------|----------------------|---------------|------------|-------|------------------|---------------|-------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------|
| P2   | 3,45 x 1,95      | 60                 | 2                    | 800           | 5340       | 2624  | OK               | Arah X        | Bawah | 29              | 9427                        | 10304                       | OK                  | D29-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 2576                        | 3137                        | OK                  | D16-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  | Arah Y        | Bawah | 29              | 5228                        | 10304                       | OK                  | D29-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 2576                        | 3137                        | OK                  | D16-125        |
| P4   | 3,3 x 3,3        | 60                 | 4                    | 120           | 13620      | 5839  | OK               | Arah X        | Bawah | 29              | 12331                       | 12456                       | OK                  | D29-175        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 3114                        | 3791                        | OK                  | D16-175        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  | Arah Y        | Bawah | 29              | 12331                       | 12456                       | OK                  | D29-175        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 3114                        | 3791                        | OK                  | D16-175        |
| P6   | 4,8 x 3,3        | 60                 | 6                    | 120           | 13620      | 6953  | OK               | Arah X        | Bawah | 29              | 16329                       | 17438                       | OK                  | D29-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 4359                        | 5308                        | OK                  | D16-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  | Arah Y        | Bawah | 29              | 12331                       | 17438                       | OK                  | D29-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 4359                        | 5308                        | OK                  | D16-125        |
| P8   | 6,3 x 3,3        | 60                 | 8                    | 120           | 13697      | 8157  | OK               | Arah X        | Bawah | 25              | 12375                       | 12959                       | OK                  | D25-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 3240                        | 5308                        | OK                  | D16-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  | Arah Y        | Bawah | 25              | 12375                       | 12959                       | OK                  | D25-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 3240                        | 5308                        | OK                  | D16-125        |
| P9   | 4,8 x 4,8        | 60                 | 9                    | 120           | 13697      | 10287 | OK               | Arah X        | Bawah | 25              | 18000                       | 18850                       | OK                  | D25-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 4712                        | 7721                        | OK                  | D16-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  | Arah Y        | Bawah | 25              | 18000                       | 18850                       | OK                  | D25-125        |
|      |                  |                    |                      |               |            |       |                  |               | Atas  | 16              | 4712                        | 7721                        | OK                  | D16-125        |

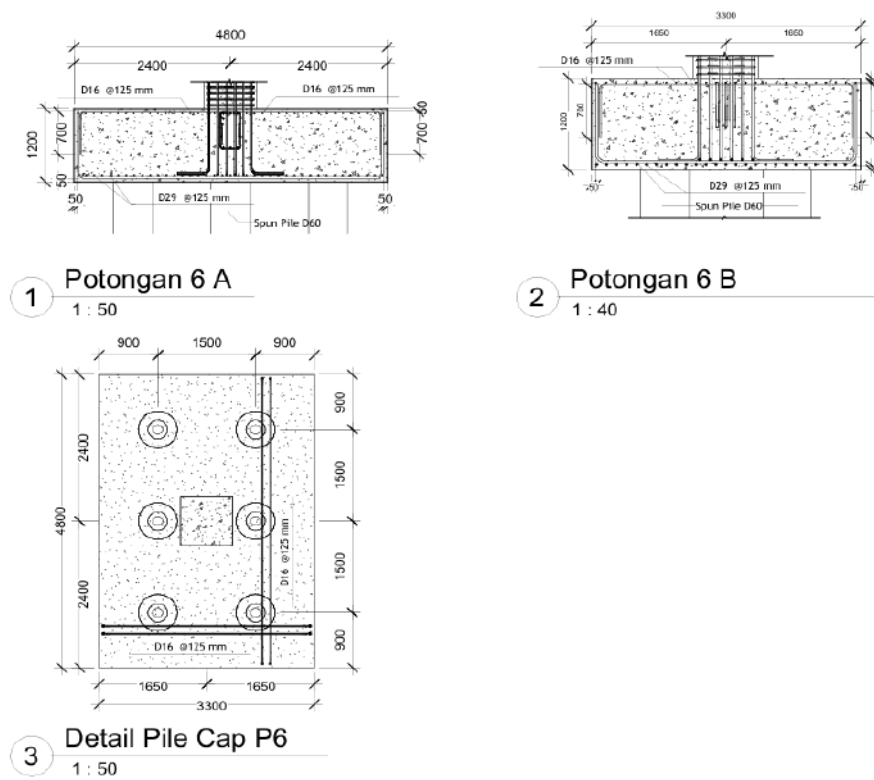
Berikut merupakan potongan dan detail *pile cap* yang digunakan:



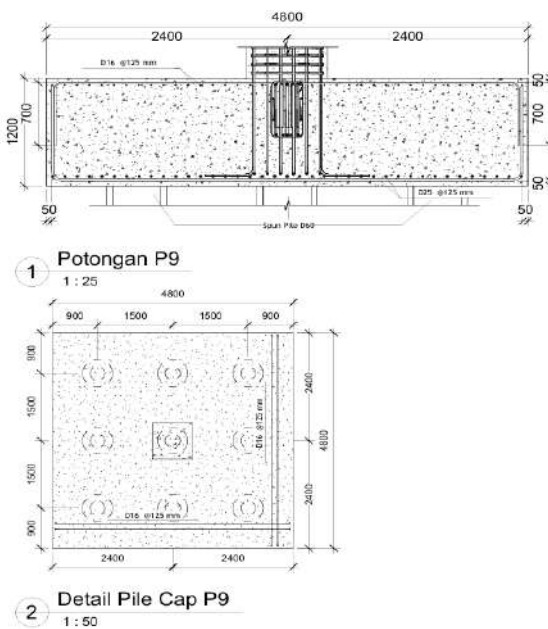
**Gambar 4. 27** Potongan dan Detail *Pile Cap*



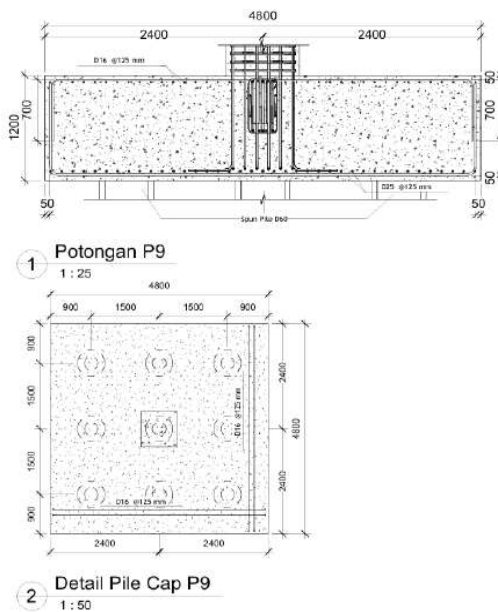
**Gambar 4. 28** Potongan dan Detail *Pile Cap*



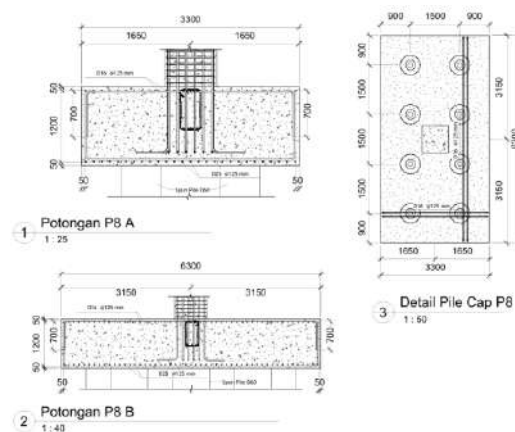
**Gambar 4. 29** Potongan dan Detail *Pile Cap*



**Gambar 4. 30** Potongan dan Detail *Pile Cap*



**Gambar 4. 31** Potongan dan Detail *Pile Cap*

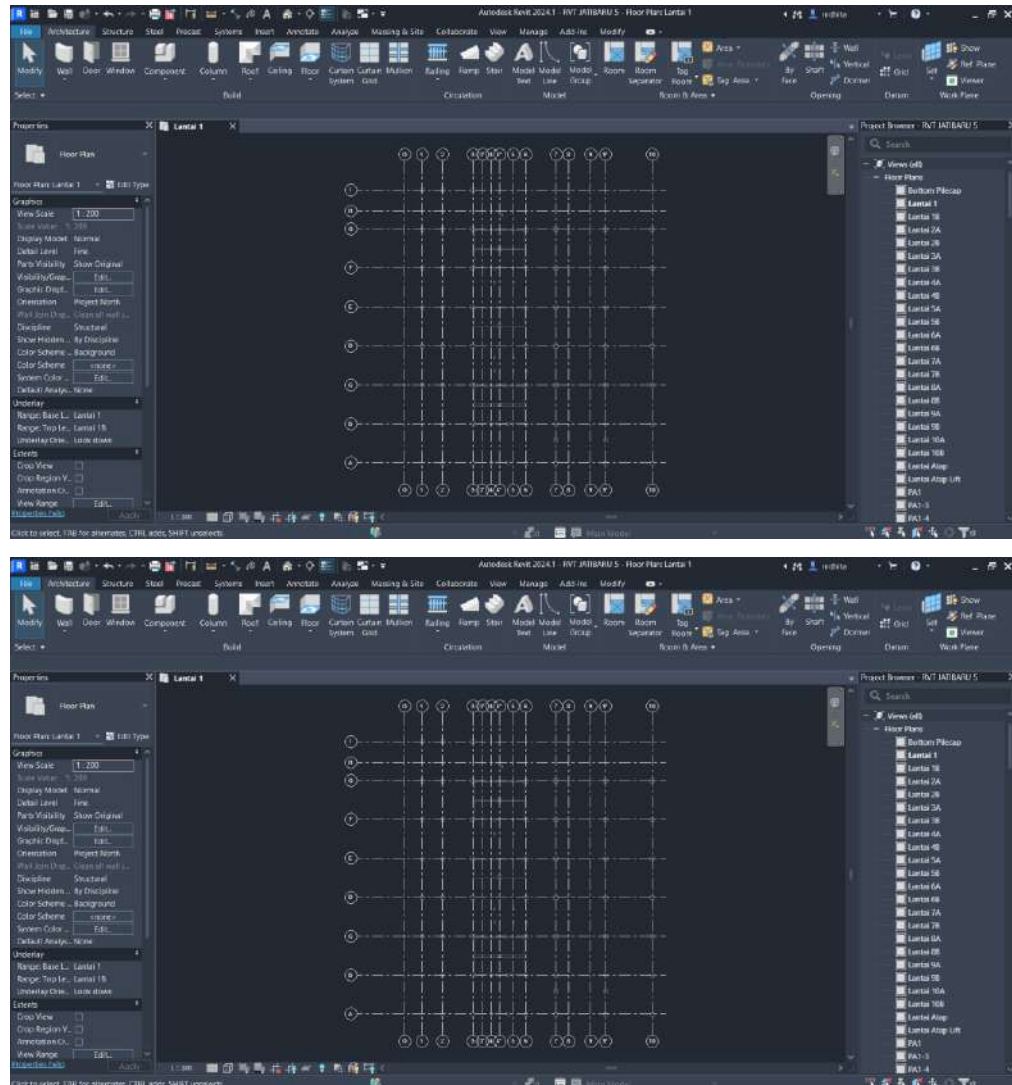


**Gambar 4. 32** Potongan dan Detail *Pile Cap*

#### 4.8 Pemodelan 3 Dimensi Struktur

Untuk memodelkan struktur bangunan tiga dimensi, *software* pembantu yang digunakan adalah *Autodesk Revit*. Tahap awal dalam proses pemodelan 3D adalah persiapan. Langkah-langkah persiapan meliputi pembuatan model baru dengan *construction template*, penyesuaian satuan yang akan digunakan dalam unit proyek, dan pembuatan *grid* yang akan menjadi panduan dalam proses pemodelan gedung. *Grid* dibuat sesuai dengan denah AS bangunan

sebagai acuan serta pembuatan *level* yang dibutuhkan sesuai dengan data gambar.



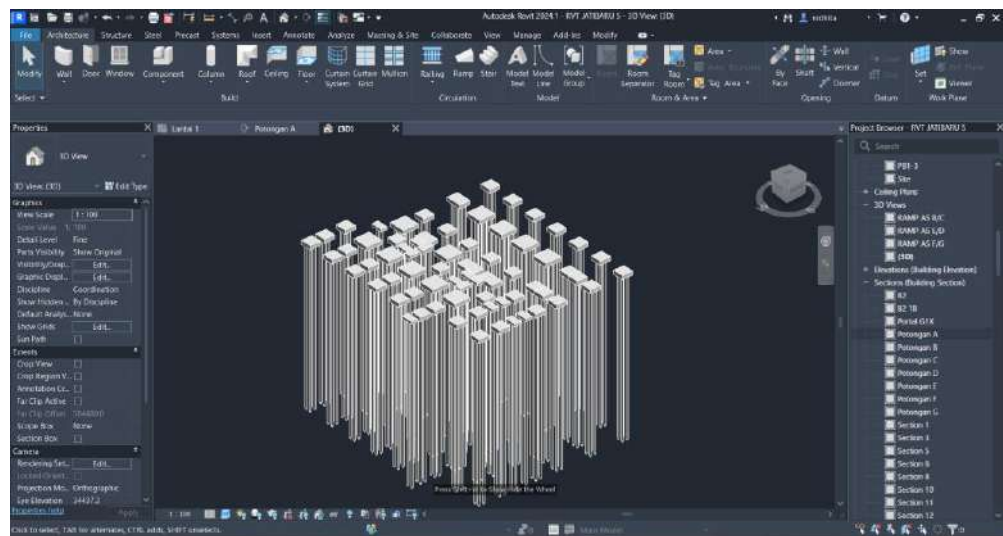
**Gambar 4. 33** Pemodelan *Grid* dan *Leveling* pada *Autodesk Revit*

#### 4.7.1 Pemodelan Struktur Bawah

Langkah pertama dalam pemodelan struktur bawah adalah pembuatan *family* tiang pancang dan *pile cap*. Pembuatan *family* dalam *Autodesk Revit* dapat dilakukan dengan menggunakan *template* yang disediakan oleh Autodesk atau dibuat secara manual.

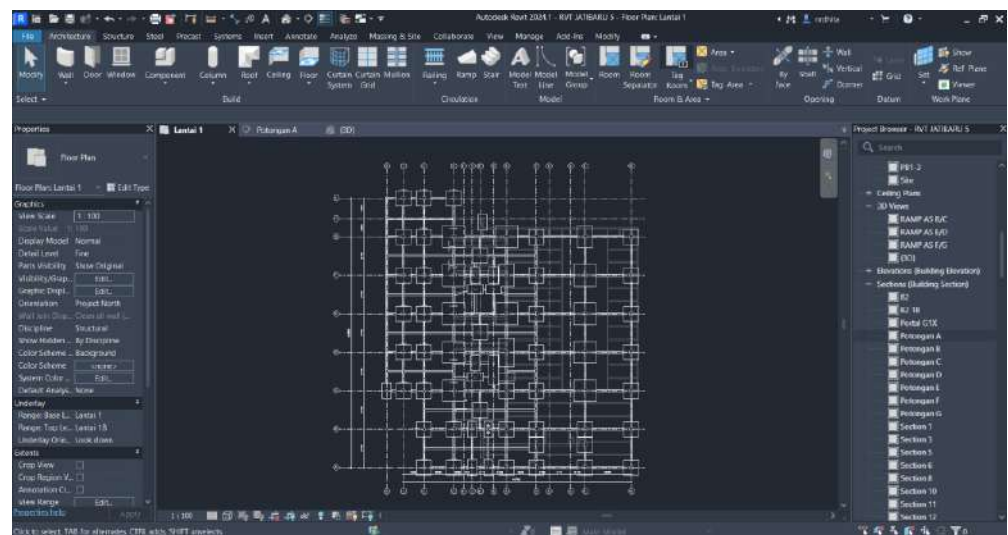
##### a) Pemodelan *Spun Pile*





**Gambar 4. 34 3D Pemodelan Spun Pile**

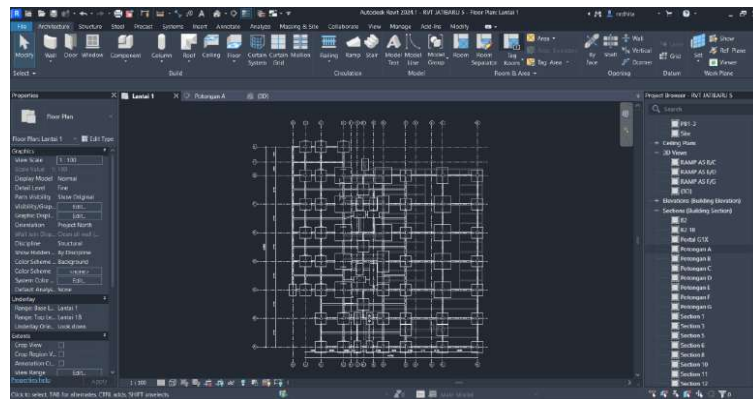
b) Pemodelan *Pile Cap*



**Gambar 4. 35 Pemodelan Pile cap dan Tie Beam**

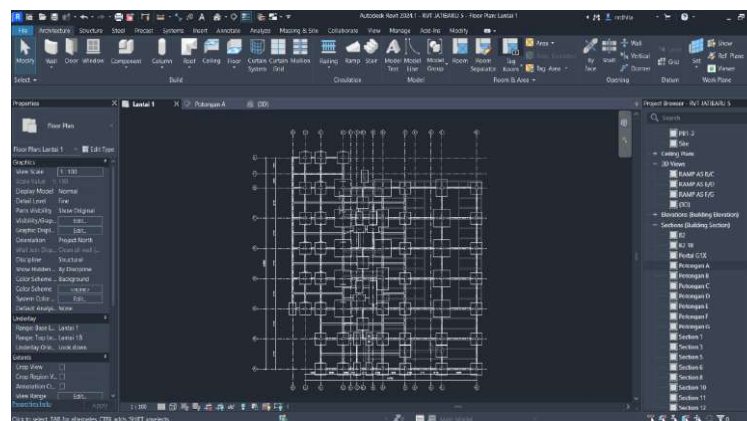
## 4.7.2 Pemodelan Struktur Atas

a) Pemodelan Balok



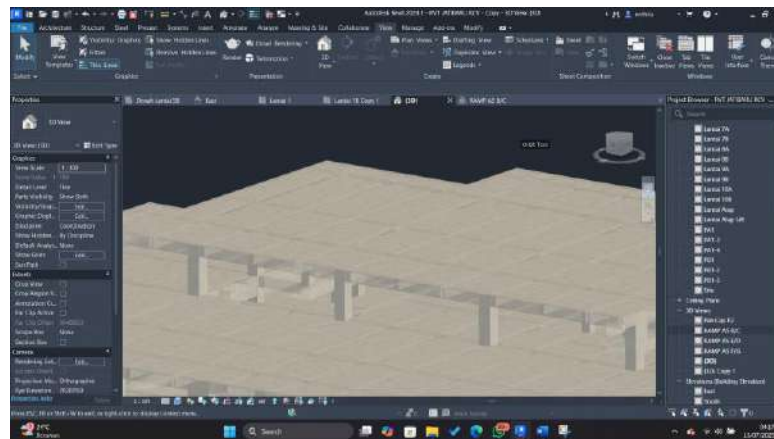
**Gambar 4. 36** Pemodelan Balok

b) Pemodelan Kolom

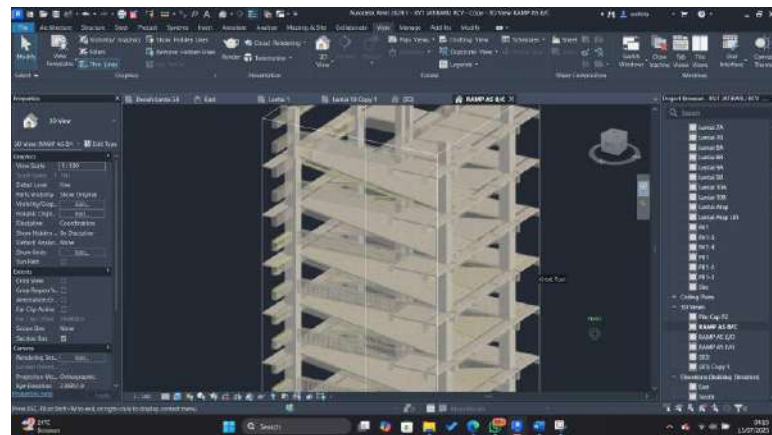


**Gambar 4. 37** Pemodelan Kolom

c) Pemodelan Pelat



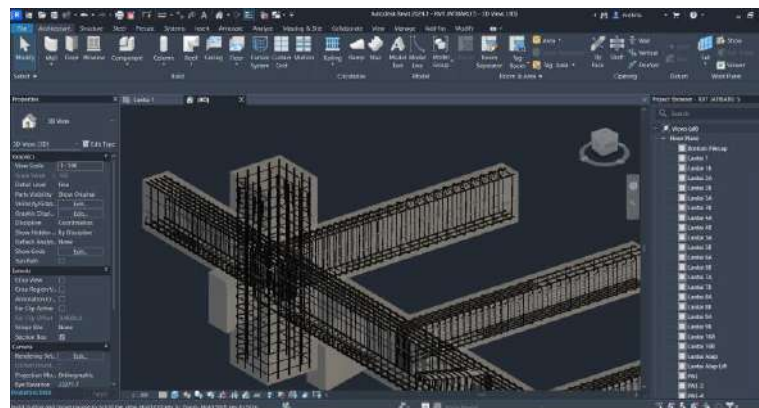
Gambar 4. 38 Pemodelan Pelat

d) Pemodelan *Ramp*

Gambar 4. 39 Pemodelan Ramp

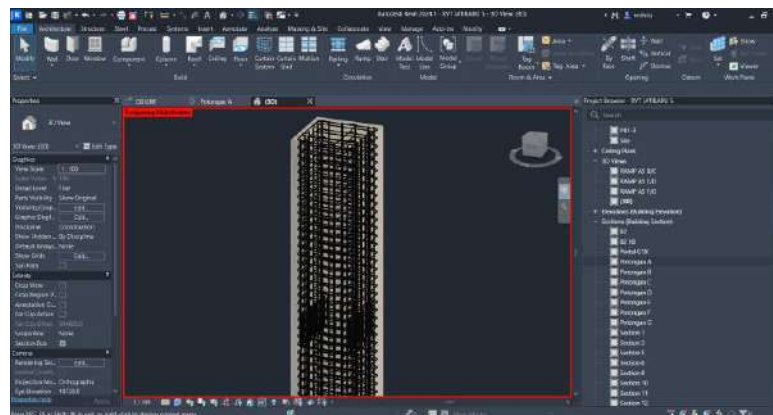
## 4.7.3 Pemodelan Tulangan Struktur

## a) Pemodelan Balok



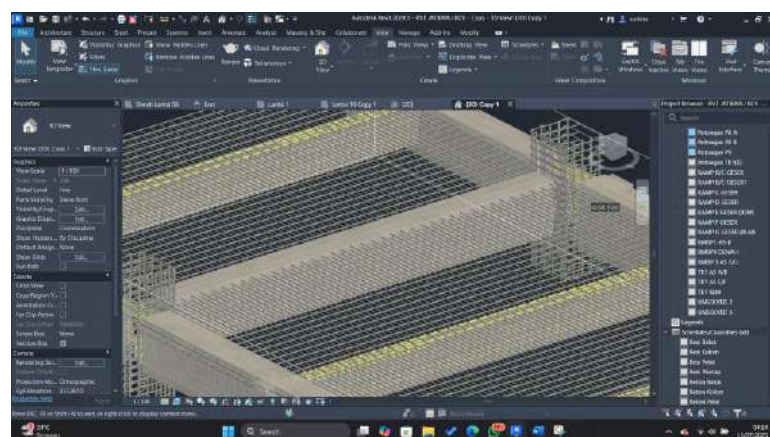
Gambar 4. 40 Pemodelan Tulangan Balok

## b) Pemodelan Kolom

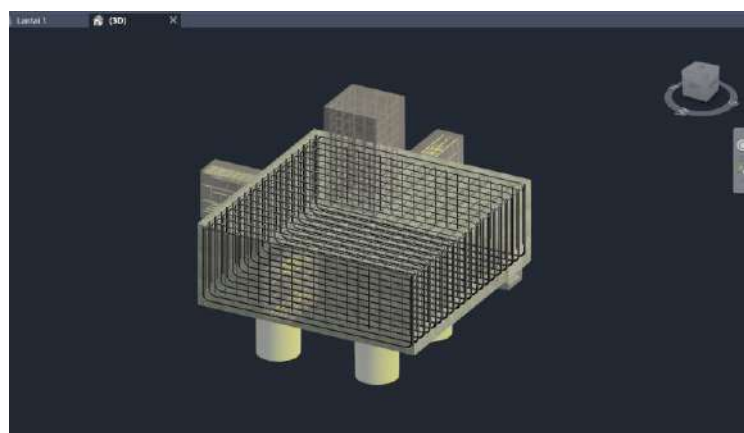


Gambar 4. 41 Pemodelan Tulangan Kolom

## c) Pemodelan Pelat



Gambar 4. 42 Pemodelan Tulangan Pelat

d) Pemodelan *Pile Cap*

Gambar 4. 43 Pemodelan Tulangan Pile cap

## 4.9 Quantity Take Off dan Perhitungan RAB

### 4.8.1 Quantity Take Off

Proses *Quantity Take-Off* (QTO) dalam penelitian ini dilakukan melalui pemodelan elemen struktur menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit*. Hasil QTO mencakup estimasi volume total beton, berat tulangan pada masing-masing elemen struktur, serta luas permukaan bekisting yang diperlukan untuk setiap pekerjaan struktur. Data kuantitatif yang dihasilkan dari pemodelan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan biaya pada Rencana Anggaran Biaya (RAB).

| Desain Lantai 5B      | East    | Lantai 1 | Lantai 1B Copy 1 | (3D)     | (3D) Copy 1 | Besi Bal           |
|-----------------------|---------|----------|------------------|----------|-------------|--------------------|
| B1K-ATAP LIFT 1875    | 6332 mm | <varies> | 3245285 mm       | <varies> | 4695.23 kg  |                    |
| B1K-ATAP LIFT 37 1875 | 6332 mm | <varies> | 3245285 mm       | <varies> | 4695.23 kg  |                    |
| B2-1                  | 218     | 1181 mm  | 595441 mm        | <varies> | 1253.18 kg  | Structural Framing |
| B2-1-65               | 218     | 1181 mm  | 595441 mm        | <varies> | 1253.18 kg  |                    |
| B2-1B                 | 2308    | 8415 mm  | 4535562 mm       | <varies> | 9873.73 kg  | Structural Framing |
| B2-1B-396             | 2308    | 8415 mm  | 4535562 mm       | <varies> | 9873.73 kg  |                    |
| B2-2A                 | 2962    | 12886 mm | 5435020 mm       | <varies> | 11756.34 kg | Structural Framing |
| B2-2A-607             | 2962    | 12886 mm | 5435020 mm       | <varies> | 11756.34 kg |                    |
| B2-2B                 | 1396    | 4666 mm  | 2811021 mm       | <varies> | 5939.64 kg  | Structural Framing |
| B2-2B-220             | 1396    | 4666 mm  | 2811021 mm       | <varies> | 5939.64 kg  |                    |
| B2-3A                 | 2524    | 19559 mm | 4742673 mm       | <varies> | 10384.42 kg | Structural Framing |
| B2-3A-497             | 2524    | 19559 mm | 4742673 mm       | <varies> | 10384.42 kg |                    |
| B2-3B                 | 1396    | 4666 mm  | 2811021 mm       | <varies> | 5939.64 kg  | Structural Framing |
| B2-3B-220             | 1396    | 4666 mm  | 2811021 mm       | <varies> | 5939.64 kg  |                    |
| B2-4A                 | 2556    | 19559 mm | 4825558 mm       | <varies> | 10466.25 kg | Structural Framing |
| B2-4A-497             | 2556    | 19559 mm | 4825558 mm       | <varies> | 10466.25 kg |                    |
| B2-4B                 | 1325    | 4411 mm  | 2671748 mm       | <varies> | 5643.77 kg  | Structural Framing |
| B2-4B-208             | 1325    | 4411 mm  | 2671748 mm       | <varies> | 5643.77 kg  |                    |
| B2-4b                 | 71      | 255 mm   | 139173 mm        | <varies> | 296.48 kg   | Structural Framing |
| B2-4b-12              | 71      | 255 mm   | 139173 mm        | <varies> | 296.48 kg   |                    |
| B2-5A                 | 2356    | 9794 mm  | 4441559 mm       | <varies> | 9645.89 kg  | Structural Framing |
| B2-5A-461             | 2356    | 9794 mm  | 4441559 mm       | <varies> | 9645.89 kg  |                    |
| B2-5B                 | 1397    | 4666 mm  | 2814516 mm       | <varies> | 5953.11 kg  | Structural Framing |
| B2-5B-220             | 1397    | 4666 mm  | 2814516 mm       | <varies> | 5953.11 kg  |                    |
| B2-6A                 | 2412    | 19049 mm | 4546862 mm       | <varies> | 9878.92 kg  | Structural Framing |
| B2-6A-473             | 2412    | 19049 mm | 4546862 mm       | <varies> | 9878.92 kg  |                    |
| B2-6B                 | 1396    | 4666 mm  | 2810521 mm       | <varies> | 5939.26 kg  | Structural Framing |
| B2-6B-220             | 1396    | 4666 mm  | 2810521 mm       | <varies> | 5939.26 kg  |                    |
| B2-7A                 | 2520    | 19543 mm | 4732979 mm       | <varies> | 10289.46 kg | Structural Framing |
| B2-7A-496             | 2520    | 19543 mm | 4732979 mm       | <varies> | 10289.46 kg |                    |
| B2-7B                 | 1399    | 4666 mm  | 2812966 mm       | <varies> | 5932.91 kg  | Structural Framing |
| B2-7B-220             | 1399    | 4666 mm  | 2812966 mm       | <varies> | 5932.91 kg  |                    |
| B2-8A                 | 2520    | 19543 mm | 4732979 mm       | <varies> | 10289.46 kg | Structural Framing |
| B2-8A-496             | 2520    | 19543 mm | 4732979 mm       | <varies> | 10289.46 kg |                    |
| B2-8B                 | 1693    | 5431 mm  | 3109687 mm       | <varies> | 6721.87 kg  | Structural Framing |
| B2-8B-208             | 1693    | 5431 mm  | 3109687 mm       | <varies> | 6721.87 kg  |                    |

Gambar 4. 44 Hasil QTO



Denah Lantai 5B East Lantai 1 Lantai 1B Copy 1 (3D) (3D) Copy 1

<Beton Balok>

| A          | B       | C       | D               | E          | F     | G                   | H                           |
|------------|---------|---------|-----------------|------------|-------|---------------------|-----------------------------|
| Type       | b balok | h balok | Reference Level | Cut Length | Count | Volume Beton        | Bekisting (m <sup>2</sup> ) |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 7900       | 1     | 1.09 m <sup>3</sup> | 10.67 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 1275       | 1     | 0.18 m <sup>3</sup> | 1.72 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 1550       | 1     | 0.21 m <sup>3</sup> | 2.09 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 736        | 1     | 0.10 m <sup>3</sup> | 0.99 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 3100       | 1     | 0.43 m <sup>3</sup> | 4.19 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 1125       | 1     | 0.15 m <sup>3</sup> | 1.52 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 901        | 1     | 0.12 m <sup>3</sup> | 1.22 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 3100       | 1     | 0.43 m <sup>3</sup> | 4.19 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 1350       | 1     | 0.19 m <sup>3</sup> | 1.82 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 925        | 1     | 0.13 m <sup>3</sup> | 1.25 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 1B       | 8050       | 1     | 1.11 m <sup>3</sup> | 10.87 m <sup>2</sup>        |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2A       | 1923       | 1     | 0.26 m <sup>3</sup> | 2.60 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2A       | 1998       | 1     | 0.27 m <sup>3</sup> | 2.70 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2A       | 2100       | 1     | 0.25 m <sup>3</sup> | 2.84 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2A       | 1375       | 1     | 0.19 m <sup>3</sup> | 1.86 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2A       | 675        | 1     | 0.09 m <sup>3</sup> | 0.91 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 1175       | 1     | 0.16 m <sup>3</sup> | 1.59 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 1550       | 1     | 0.21 m <sup>3</sup> | 2.09 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 736        | 1     | 0.10 m <sup>3</sup> | 0.99 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 3100       | 1     | 0.43 m <sup>3</sup> | 4.19 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 1125       | 1     | 0.15 m <sup>3</sup> | 1.52 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 901        | 1     | 0.12 m <sup>3</sup> | 1.22 m <sup>2</sup>         |
| 31 250x550 | 250     | 550     | Lantai 2B       | 3100       | 1     | 0.43 m <sup>3</sup> | 4.19 m <sup>2</sup>         |

**Gambar 4. 45** Hasil QTO oleh Autodesk Revit

#### 4.8.2 Perencanaan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan ini disusun berdasarkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang merujuk pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Nomor 8 Tahun 2024 serta Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 7 Tahun 2024. Perhitungan total biaya dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan, yang diperoleh melalui proses *Quantity Take-Off* (QTO) dari model bangunan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit, dengan harga satuan pekerjaan yang berlaku.

### REKAP RENCANA ANGGARAN BIAYA

NAMA PEKERJAAN : Gedung Parkir Jatibaru  
 LOKASI : Jl Jatibaru, Tanah Abang, Jakarta  
 PEMILIK PROYEK : Dinas Cipta Karya Tata Ruang dan Pertanahan DKI Jakarta  
 TAHUN ANGGARAN : 2025

| NO         | NAMA PEKERJAAN                        | HARGA<br>(Rp)             |
|------------|---------------------------------------|---------------------------|
| A.1        | Pekerjaan Persiapan                   | 713.533.198,62            |
| A.1.1      | Administrasi dan Dokumen              | 11.000.000,00             |
| A.1.2      | Pembersihan Lahan                     | 54.174.840,14             |
| A.1.3      | Pengadaan Listrik dan Air Kerja       | 26.202.961,40             |
| A.1.4      | Pengukuran dan Pemasangan Bowplank    | 25.894.486,82             |
| A.1.5      | Pembuatan Direksi Keet dan Gudang     | 489.047.254,18            |
| A.1.6      | Pemasangan Seng Keliling Proyek       | 106.075.456,01            |
| A.1.7      | Pemasangan Papan Nama                 | 1.138.200,06              |
| A.2        | Pekerjaan Tanah                       | 20.822.475.409,70         |
| A.2.1      | Pekerjaan Tanah untuk Spun Pile       | 20.337.584.920,19         |
| A.2.1.1    | Mobilisasi dan demobilisasi Spun Pile | 159.500.000,00            |
| A.2.1.2    | Pemancangan Spun Pile Dia. 60 cm      | 20.178.084.920,19         |
| A.2.2      | Pekerjaan Tanah untuk Pondasi         | 484.890.489,51            |
| A.2.2.1    | Pekerjaan Galian Tanah                | 223.279.257,34            |
| A.2.2.2    | Pekerjaan Urugan Pasir                | 86.845.082,93             |
| A.2.2.3    | Pemadatan Pasir untuk                 | 5.485.386,37              |
| A.2.2.4    | Pekerjaan lantai kerja                | 169.280.762,87            |
| A.3        | Pekerjaan Struktur                    | 87.527.321.543,34         |
| A.3.1      | Pekerjaan Struktur Bawah              | 7.731.228.808,21          |
| A.3.1.1    | Pekerjaan Pile Cap                    | 4.709.498.501,15          |
| A.3.1.2    | Pekerjaan Tie Beam                    | 3.021.730.307,06          |
| A.3.2      | Pekerjaan Struktur Atas               | 79.796.092.735,14         |
| A.3.2.1    | Pekerjaan Struktur Lantai 1           | 6.674.250.321,91          |
| A.3.2.2    | Pekerjaan Struktur Lantai 2           | 8.001.736.488,32          |
| A.3.2.3    | Pekerjaan Struktur Lantai 3           | 7.720.346.379,56          |
| A.3.2.4    | Pekerjaan Struktur Lantai 4           | 7.704.624.796,12          |
| A.3.2.5    | Pekerjaan Struktur Lantai 5           | 7.753.750.462,00          |
| A.3.2.6    | Pekerjaan Struktur Lantai 6           | 7.472.163.946,11          |
| A.3.2.7    | Pekerjaan Struktur Lantai 7           | 7.248.630.092,85          |
| A.3.2.8    | Pekerjaan Struktur Lantai 8           | 7.349.146.715,28          |
| A.3.2.9    | Pekerjaan Struktur Lantai 9           | 7.301.892.469,70          |
| A.3.2.10   | Pekerjaan Struktur Lantai 10          | 6.816.563.931,62          |
| A.3.2.11.1 | Pekerjaan Struktur Lantai Atap        | 3.721.953.542,94          |
| A.3.2.11.2 | Pekerjaan Struktur Lantai Atap Lift   | 2.031.033.588,75          |
|            | <b>TOTAL PEKERJAAN</b>                | <b>109.063.330.151,66</b> |
|            | <b>PPN 12%</b>                        | <b>13.087.599.618,20</b>  |
|            | <b>TOTAL BIAYA</b>                    | <b>122.150.929.769,86</b> |
|            | <b>PEMBULATAN</b>                     | <b>122.150.929.000,00</b> |

**Gambar 4. 46** Rekap RAB Proyek Gedung Parkir

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek pembangunan Gedung Parkir Umum Dinas Teknis Jatibaru dilakukan berdasarkan kuantitas pekerjaan yang dihasilkan dari *Quantity Take Off* (QTO) model 3D Autodesk

Revit, kemudian dikalikan dengan harga satuan pekerjaan yang mengacu pada Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) terbaru. Proses penyusunan RAB ini dilakukan secara sistematis untuk seluruh item pekerjaan yang meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, serta pekerjaan penunjang lainnya

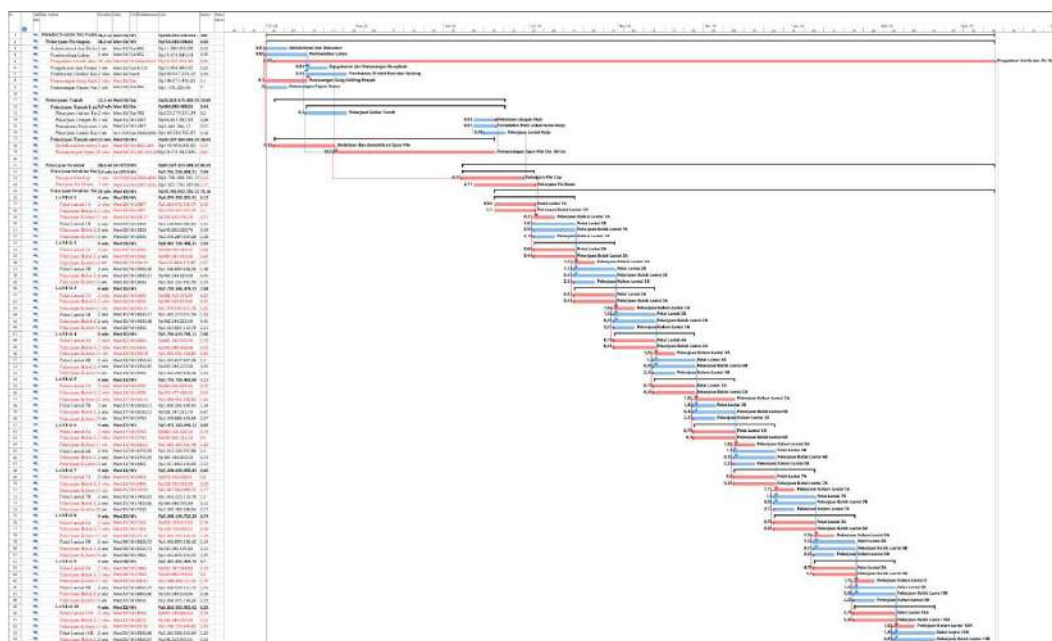
Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan ulang, diperoleh nilai Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp122.150.929.000,00 (Seratus dua puluh dua miliar seratus lima puluh juta sembilan ratus dua puluh sembilan ribu rupiah), termasuk Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 12%.

Dengan total anggaran tersebut, perencanaan ini menunjukkan bahwa penerapan metode BIM 5D tidak hanya memudahkan integrasi data desain dan perhitungan biaya, tetapi juga meningkatkan akurasi estimasi anggaran melalui visualisasi dan pengendalian kuantitas yang presisi.

#### **4.10 Penjadwalan Kerja Proyek**

Penjadwalan proyek dalam penelitian ini disusun menggunakan perangkat lunak *Microsoft Project*. Bobot masing-masing pekerjaan dihitung berdasarkan proporsi biaya pekerjaan terhadap total nilai Rencana Anggaran Biaya (RAB), kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase. Nilai bobot ini digunakan untuk memperkirakan durasi tiap aktivitas pekerjaan. Melalui *Microsoft Project*, penjadwalan dapat dilakukan secara lebih sistematis, termasuk identifikasi lintasan kritis (*critical path*) serta penentuan tanggal mulai dan selesai tiap aktivitas secara lebih terstruktur.



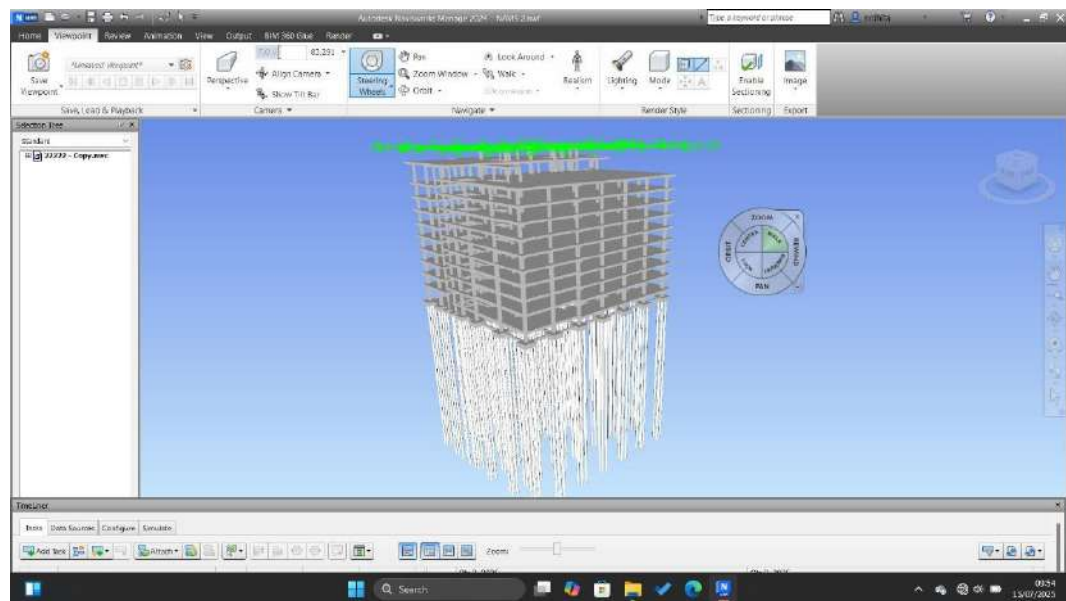


**Gambar 4. 47** Penjadwalan dengan *Microsoft Project*

Penjadwalan proyek perencanaan ulang Gedung Parkir Jatibaru ini direncanakan selama 36 minggu dari tanggal 1 Juli 2024 dan selesai pada 12 Maret 2025.

#### 4.11 Pengintegrasian dalam BIM 5 Dimensi

Integrasi data Rencana Anggaran Biaya (RAB), penjadwalan proyek, dan model tiga dimensi (3D) struktur ke dalam *Building Information Modeling* (BIM) 5D dilakukan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Navisworks*. Melalui proses ini, model 3D yang dibuat di *Autodesk Revit* dikaitkan secara langsung dengan data estimasi biaya atau rencana anggaran biaya (RAB) dan jadwal pelaksanaan dari *Microsoft Project* sebelumnya, sehingga memungkinkan visualisasi progres pekerjaan secara temporal dan finansial. Penggunaan *Navisworks* dalam BIM 5D memungkinkan pemantauan menyeluruh terhadap durasi, urutan pelaksanaan, dan nilai biaya dari setiap elemen pekerjaan dalam satu sistem terintegrasi.



**Gambar 4. 48** Integrasi BIM 5D pada Autodesk Naviswork