

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Konsep Perencanaan**

Konsep desain dalam penelitian akhir ini dilakukan dengan merancang ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019. Dalam desain struktur, sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK) diterapkan untuk meningkatkan kinerja struktural dalam menahan gaya gempa yang bekerja pada bangunan.

Pada tahap perencanaan, proses dimulai dengan pengumpulan data primer bangunan yang ada, tinjauan pustaka, serta penentuan parameter beban berdasarkan peraturan yang berlaku. Tahap selanjutnya, dilakukan pemodelan penampang elemen struktur dan analisis tingkat keamanan struktur menggunakan SAP2000 untuk memperoleh gaya dalam, deformasi, dan dimensi elemen struktur serta kebutuhan tulangan baja.

Selain itu, bagian eksisting bangunan yang belum memenuhi standar juga dirancang ulang, termasuk dengan penambahan tangga darurat serta penyesuaian tata letak balok agar sesuai dengan sistem struktur bangunan. Setelah analisis struktur selesai, kami menggunakan *Autodesk Revit* untuk melakukan *Building Information Modeling* (BIM) dan membuat model 3D dari struktur bangunan.

Hasil pemodelan 3D pada Revit digunakan untuk menentukan volume pekerjaan sebagai dasar penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) menggunakan Microsoft Excel serta penyusunan penjadwalan proyek menggunakan Microsoft Project. Dengan konsep perencanaan tersebut diharapkan diperoleh bangunan yang memenuhi aspek kekuatan, keamanan, efisiensi, dan kemudahan dalam proses perencanaan proyek konstruksi.

#### **4.2 Preliminary Design**

*Preliminary design* dimensi penampang struktur yang meliputi balok, kolom, plat, dan tangga diperoleh hasil sebagai berikut:

### 4.2.1 Balok

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* dari balok.

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$H_{\min} = \frac{6000}{12}$$

$$= 500 \text{ mm}$$

Dipakai tinggi balok ialah 800 mm

$$b = \frac{1}{2} h$$

$$= \frac{1}{2} 800$$

$$= 400 \text{ mm}$$

Berikut merupakan rekap hasil *preliminary design* dari balok yang sudah diperhitungkan:

**Tabel 4.1** Rekapitulasi *Preliminary* Balok

No	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
1	S1	400 x 800
2	B1	400 x 800
3	B2	350 x 700
4	B3	250 x 500
5	B5	200 x 400

### 4.2.2 Plat Lantai

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* plat lantai  $t=15$  cm sesuai SNI 2847:2019.

a. Menentukan jenis plat

$$\text{Panjang (Ly)} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang (Lx)} = 6000 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{6000}{6000}$$

$$= 1 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

## b. Bentang Bersih Plat

$$\begin{aligned} L_{ny} &= L_y - \left(\frac{1}{2} \times B1\right) - \left(\frac{1}{2} \times B1\right) \\ &= 600 \text{ cm} - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) \\ &= 560 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{nx} &= L_x - \left(\frac{1}{2} \times B1\right) - \left(\frac{1}{2} \times B1\right) \\ &= 600 \text{ cm} - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) \\ &= 560 \text{ cm} \end{aligned}$$

## c. Lebar efektif balok

$$b_e = b_w + 2hb = 40 + 2(80-12) = 176 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8hf = 40 + 8(12) = 136 \text{ cm}$$

$$\text{Dipakai } b_e = 136 \text{ cm}$$

## d. Menentukan rasio kuat lentur balok terhadap plat

Untuk menentukan rasio kuat lentur balok terhadap kuat lentur plat menggunakan rumus berikut:

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \frac{12}{80} \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{80}\right) + 4 \left(\frac{12}{80}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{80}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{80}\right)}$$

$$k = 1,58$$

$$I_{balok} = k \times \frac{b_w h^3}{12} = 1,58 \times \frac{40 \times 80^3}{12} = 2696533,3 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{L t^3}{12} = \frac{600 \times 12^3}{12} = 86400 \text{ cm}^4$$

$$F_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$E_{cvb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f_c'} = 27805,58$$

Rasio kekakuan terhadap plat

$$\alpha_{fm} = \frac{E_{cb} \times L_b}{E_{cs} \times L_s} = \frac{27805,58 \times 2696533,3}{27805,58 \times 86400} = 31,2 > 2$$

Berikut merupakan perhitungan tebal plat:

$$h = h_{min} = \frac{L_{ny} \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = 13,68 \text{ cm}$$

Maka h pakai = 15 cm > h min 13,68 **MEMENUHI**

### 4.2.3 Kolom

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* kolom sesuai SNI 2847:2019.

Panjang kolom = 4000 mm

Bentang balok = 6000 mm

H balok = 500 mm

B balok = 250 mm

Dikarenakan dimensi penampang persegi, sehingga nilai inersia menggunakan rumus berikut:

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

Perhitungan rencana penampang persegi

$$\begin{aligned} \frac{I \text{ kolom}}{L \text{ kolom}} &\geq \frac{I \text{ balok}}{L \text{ balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L \text{ kolom}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L \text{ balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} \times h^4}{4000} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times h^4}{6000} \\ \frac{\frac{1}{12} \times h^4}{4000} &\geq \frac{5208333,3}{6000} \\ \frac{0,0833 \times h^4}{4000} &\geq 8680,556 \\ h^4 &\geq 41666666,7 \\ h &\geq 451,8 \text{ mm (minimum)} \\ h &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai nilai tinggi kolom K3 ialah 500 x 500 mm

**Tabel 4.4** Rekapitulasi *Preliminary* Kolom

No	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
1	K1	700 x 700
2	K2	600 x 600
3	K3	500 x 500

### 4.2.3 Tangga

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* tangga sesuai SNI 2847:2019.

$$\text{Tinggi tangga} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang panjang} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi trap} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar trap} = 160 \text{ mm}$$

Syarat standar desain tangga menggunakan rumus berikut:

$$\text{Syarat} = 570 < 2 T_{\text{trap}} + L_{\text{trap}} < 650$$

$$= 570 < 2(300) + 160 < 650$$

$$= 570 < 620 < 650 \text{ (memenuhi)}$$

Perhitungan jumlah keseluruhan trap dibutuhkan, sebagai berikut:

$$n_{\text{trap}} = \frac{h}{L_{\text{trap}}}$$

$$= \frac{4000}{0,16}$$

$$= 25 \text{ buah}$$

$$L_{\text{bordes}} = 6,00 - 12,00 \times 0,30$$

$$= 2,40 \text{ meter}$$

### 4.3 Perhitungan Pembebanan

Dalam perencanaan ini, menghitung rencana beban yang bekerja pada struktur Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dilakukan dengan memanfaatkan *Microsoft Excel* guna meningkatkan efisiensi perhitungan, ketelitian hasil dan kemudahan dalam menyesuaikan data pembebanan.

### 4.3.1 Beban Mati

Merujuk pada SNI 1727:2020 beban mati tambahan yang dihitung untuk analisa SAP2000, diantaranya sebagai berikut:

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada balok dengan dinding.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasangan } \frac{1}{2} \text{ bata} &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 4.00 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Penggantung} &= 1.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{balok}} &= \mathbf{11.25 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada balok tanpa dinding.

$$\begin{aligned} \text{a) Penggantung} &= 1.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{balok}} &= \mathbf{1.25 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada plat lantai.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasir (t = 1 cm)} &= 16 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Spesi (t = 3 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.03 \text{ m} = 0.66 \text{ kN/m}^2 \\ \text{c) Penutup lantai (t = 1 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.22 \text{ kN/m}^2 \\ \text{d) Plafond dan penggantung} &= 0.18 \text{ kN/m}^2 \\ \text{e) Instalasi ME} &= 0.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{plat lantai}} &= \mathbf{1.47 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada plat dak.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasir (t = 1 cm)} &= 16 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Spesi (t = 3 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.03 \text{ m} = 0.66 \text{ kN/m}^2 \\ \text{c) Waterproofing (t = 2 cm)} &= 14 \text{ kg/m}^2 \times 0.02 \text{ m} = 0.28 \text{ kN/m}^2 \\ \text{d) Plafond dan penggantung} &= 0.18 \text{ kN/m}^2 \\ \text{e) Instalasi ME} &= 0.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{plat dak}} &= \mathbf{1.53 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada tangga.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasir (t = 1 cm)} &= 16 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Spesi (t = 3 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.03 \text{ m} = 0.66 \text{ kN/m}^2 \\ \text{c) Penutup lantai (t = 1 cm)} &= 24 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.24 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{tangga}} &= \mathbf{1.04 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada atap baja.

$$\text{a) Plafond dan penggantung} = 0.18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{b) Instalasi ME} = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{SDL}_{\text{atap baja}} = 0.43 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.3.2 Beban Hidup

Penentuan beban hidup disesuaikan dengan fungsi ruangan, sehingga dalam satu lantai bisa berbeda beban hidupnya. Perhitungan beban hidup untuk perencanaan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang, diantaranya sebagai berikut:

$$\text{a) Beban lantai untuk ruang kuliah} = 1.92 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{b) Beban lantai untuk area parkir} = 1.92 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{c) Beban lantai untuk atap} = 0.96 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.3.3 Beban Air Hujan

Perhitungan beban hujan pada atap diperlukan untuk memperhitungkan beban tambahan akibat genangan air hujan yang dapat terjadi apabila sistem drainase tidak bekerja secara optimal (SNI 1727:2020). Direncanakan beban untuk air hujan, sebagai berikut:

$d_s$  : menempatkan posisi lubang (*scupper*) dengan tinggi 5 mm untuk memastikan air tidak menggenangi tinggi apabila terjadi penyumbatan pada saluran.

$d_h$  : direncanakan ketinggian aliran air 15 mm untuk *head hidrolis* agar air dapat mengalir saat kondisi intensitas hujan tinggi.

Sehingga beban air hujan (R) yang direncanakan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = 0.0098 (d_s + d_h)$$

$$= 0.0098 (5 + 15)$$

$$= 0.196 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.3.4 Beban Gempa

Semua bangunan atau struktur lainnya harus dievaluasi berdasarkan kategori risiko yang berlaku. Untuk struktur, harus mempertimbangkan faktor-faktor penting terkait risiko struktural bangunan dan non-bangunan sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019, serta pengaruh gempa desain terhadap koefisien tingkat keparahan  $I_e$ .

Berdasarkan kategori risiko bangunan dan non-bangunan sesuai Tabel 3 SNI 1727:2019, Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan diklasifikasikan ke dalam kategori risiko IV. Gedung ini termasuk dalam kategori risiko IV karena nilai koefisien penting gempa ( $I_e$ ) sebesar 1,50.

Untuk menentukan klasifikasi tanah dalam proyek ini, diperlukan data tanah yang didasarkan pada hasil uji bor mekanis yang mencantumkan nilai SPT dari masing-masing lapisan tanah.

**Tabel 4.5** Hasil N-SPT Tanah Proyek

No	N-SPT	T	Kedalaman	Ti/Ni
1	5	2	2	0.400
2	4	2	4	0.500
3	4	2	6	0.500
4	5	2	8	0.400
5	5	2	10	0.400
6	6	2	12	0.333
7	7	2	14	0.286
8	8	2	16	0.250
9	9	2	18	0.222
10	14	2	20	0.143
11	15	2	22	0.133
12	23	2	24	0.087
13	24	2	26	0.083
14	25	2	28	0.080
15	28	2	30	0.071
<b>Total</b>		<b>30</b>		<b>3.889</b>

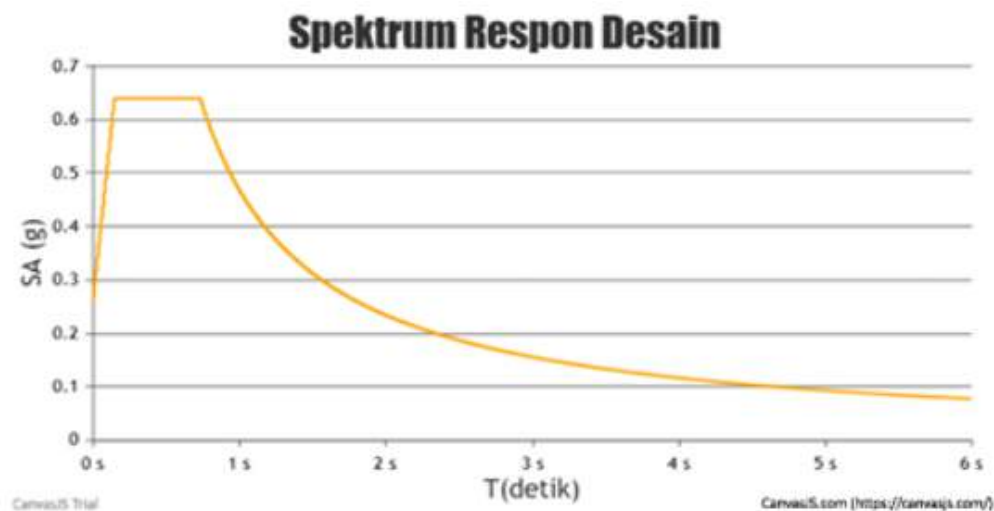
Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah UNTAG, (2024)

Perhitungan N-SPT rata-rata menggunakan persamaan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{N} &= \frac{\Sigma T}{\Sigma T_i/N_i} \dots\dots\dots(06) \\ &= \frac{30}{3.889} \\ &= 7.714 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas, nilai berada dalam rentang  $7.714 < 15$  yang masuk kedalam kategori tanah lunak. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah untuk pondasi direncanakan kedalaman 28 meter, dimana tanah tersebut memiliki jenis tanah pasir berwarna hitam dengan butiran sangat halus, kondisi tanah sedang (*medium dense*), tidak plastis dan terdapat pecahan kulit kerang.

Respon spektrum gempa pada lokasi Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang diambil dari *website* Cipta Karya 2021 yang mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2017. Hasil dari *website* desain spektra Indonesia berupa grafik dan nilai-nilai sebagai berikut:



**Gambar 4.1** Grafik Spektrum Respon Desain

Sumber: *website* Cipta Karya PUPR, (2021)

Nilai yang diperoleh dari hasil grafik diatas, diantaranya sebagai berikut:

$$PGA \text{ MCEG} = 0.37 \text{ g}$$

$$S_s \text{ MCEr} = 0.83 \text{ g}$$

$$S_1 \text{ MCEr} = 0.36 \text{ g}$$

$$T_L = 6.00 \text{ s}$$

$$T_0 = 0.18 \text{ s}$$

$$T_s = 0.90 \text{ s}$$

$$S_{DS} = 0.68 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0.61 \text{ g}$$

**Tabel 4.6** Koefisien Situs, Fa (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCEr) terpetakan pada periode pendek ( $S_s$ )					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
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	$SS^{(a)}$					

**Tabel 4.7** Koefisien Situs, Fv (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCEr) terpetakan pada periode 1 detik ( $S_1$ )					
	$S_s \leq 0.10$	$S_s = 0.20$	$S_s = 0.30$	$S_s = 0.40$	$S_s = 0.50$	$S_s \geq 0.60$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	$SS^{(a)}$					

Desain spektrum gempa yang diperoleh dari website Spektrum Gempa Cipta Karya juga dapat dihitung secara manual melalui metode interpolasi linier. Nilai faktor Fa dihitung menggunakan Persamaan (07), sedangkan faktor Fv dihitung berdasarkan Persamaan (08). Selanjutnya, nilai parameter spektrum percepatan SMS ditentukan dengan mengalikan Fa dan Ss sesuai Persamaan (09), dan nilai SM1 diperoleh dari hasil perkalian Fv dengan S1 sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (10).

$$F_a = 1.1 + \frac{1.0 - 0.83}{1.0 - 0.75} \times (1.3 - 1.1) = 1.2399$$

$$F_v = 2.4 + \frac{0.4 - 0.36}{0.4 - 0.3} \times (2.8 - 2.4) = 2.5528$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.2399 \times 0.8251 = 1.0231 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2.5528 \times 0.3618 = 0.9236 \text{ g}$$

Perhitungan parameter percepatan spektral desain dilakukan berdasarkan hasil sebelumnya. Nilai SDS dihitung menggunakan Persamaan (11), sedangkan nilai SD1 dihitung berdasarkan Persamaan (12). Selanjutnya, periode transisi  $T_0$  ditentukan menggunakan Persamaan (13), dan periode transisi  $T_s$  dihitung dengan Persamaan (14). Perhitungan parameter percepatan spektral desain, sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0.9649 = 0.6820 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0.7009 = 0.6157 \text{ g}$$

$$T_0 = 0.2 \times \frac{SD1}{SDS} = 0.2 \times \frac{0.6157}{0.6820} = 0.1806 \text{ s}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0.6157}{0.6820} = 0.9028 \text{ s}$$

Berkenaan dengan struktur bangunan Fakultas Hukum, perlu ditentukan kategori desain tahan gempa yang ditetapkan berdasarkan SDS serta SD1. Hasil kategori desain tahan gempa, yang didasarkan pada parameter respons percepatan dengan periode 1 detik dan periode pendek, menghasilkan kategori risiko IV dan kelas desain tahan gempa D. Selain itu, karena sistem rangka penopang struktur ini termasuk dalam kelas D, maka struktur ini diklasifikasikan sebagai berisiko tinggi, dan sistem rangka penopang yang direncanakan yaitu sistem rangka penopang momen khusus (SRPMK).

Menentukan nilai koefisien vertikal ( $C_v$ ) pada gedung ini berdasarkan parameter percepatan spektral pada periode pendek ( $S_s$ ) sebesar 0.82g dan kelas situs D, maka diperoleh nilai koefisien vertikal  $C_v$  sebesar 1.3. Koefisien untuk batas atas periode yang hitung dengan mengambil nilai  $S_{DS}$  ialah 0.6820 g, sehingga nilai koefisien  $C_u$  sebesar 1,4. Tipe struktur yang dipilih adalah sistem rangka beton pemikul momen khusus, dengan nilai  $C_t$  sebesar 0.0466 dan nilai  $x$  sebesar 0.9. Perhitungan  $T_{min}$  menggunakan persamaan (19) sedangkan untuk  $T_{max}$  menggunakan persamaan (20). Maka persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{min} &= C_t \times h_n^x \\ &= 0.0466 \times (23.35)^{0.9} \\ &= 0.794 \text{ detik} \end{aligned}$$

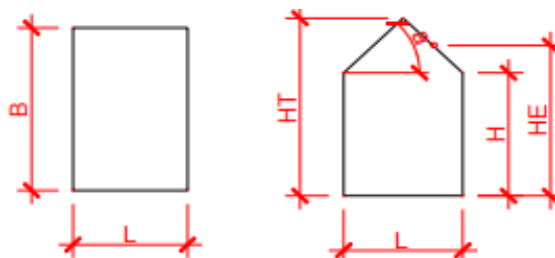
$$\begin{aligned}
 T_{\max} &= C_u \times T_{\min} \\
 &= 1.4 \times 0.794 \\
 &= 1.112 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Faktor sistem pemikul gaya sistem yang digunakan untuk perencanaan bangunan ini berdasarkan jenis struktur bangunan yang dimana menggunakan struktur rangka beton bertulang pemikul momen khusus, sehingga diperoleh koefisien R sebesar 8.0, Cd sebesar 5.5 dan  $\Omega$  sebesar 3.0.

#### 4.3.5 Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 27.2 menjelaskan terkait tahapan dalam menghitung beban angin SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian dan terbuka.

- a) Lokasi bangunan : Semarang
- b) Jumlah lantai : 5 lantai
- c) Tinggi total atap, HT : 2.00 meter
- d) Tinggi rata-rata atap, H : 0.45 meter
- e) Tinggi tepi atap, HE : 1.25 meter
- f) Panjang bangunan, B : 30.0 meter
- g) Lebar bangunan, L : 23.0 meter
- h) Kemiringan atap,  $\alpha$  :  $10^\circ$
- i) Struktur bangunan : SRPMK
- j) Kategori risiko : IV



**Gambar 4.2** Ilustrasi Denah dan Potongan Bangunan

Dalam menentukan nilai kecepatan angin dasar ( $V$ ) mengacu pada standart Australia HB 212-2002 terkait *Desaign Wind Speeds for the Asia Pacific Region*, dimana Indonesia masuk kedalam level I seperti pada Peta.



**Gambar 4.3** Peta Kecepatan Angin Asia Pasifik

Sumber: HB 212-2002

**Tabel 4.8** Kecepatan Angin Rencana (HB 212-2002)

Handbook Level	Description	Equation for $V_R$	$V_{50}$	$V_{500}$
I	Strong Thunderstorms and monsoon winds	$70 - 56 R^{-0,1}$	32	40

Berdasarkan SNI 1727:2020 memperoleh nilai kecepatan angin dasar ditentukan dari Buku Peta Angin Indonesia, akan tetapi diarahkan kedalam standar Australia HB 212-2002, dengan nilai kecepatan angin 32 m/s untuk periode 50 tahun dan 40 m/s untuk periode 500 tahun. Kecepatan angin dasar yang direncanakan adalah:

$$V = 32 \text{ m/s} \rightarrow \mathbf{71,58 \text{ mph}}$$

Fa Koefisien arah angin ( $K_d$ ) harus ditentukan sesuai dengan Tabel 26.6-1 dalam standar SNI 1727:2020. Karena jenis struktur yang digunakan untuk bangunan ini adalah sistem penahan angin utama (SPGAU), nilai  $K_d$  adalah 0,85. Sesuai dengan pasal 26.7.2 mengenai kategori kekasaran permukaan, gedung fakultas UNTAG Semarang diklasifikasikan dalam kategori kekasaran permukaan B, karena terletak di pusat kawasan perkotaan dan dikelilingi oleh kepadatan bangunan yang tinggi. Oleh karena itu, sesuai dengan pasal 26.7.3 dari standar SNI 1727:2020, kategori paparan B berlaku.

Berdasarkan SNI 1727:2020 terkait efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan persamaan (01) yaitu sebagai berikut berikut:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Jika kondisi lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka **K<sub>zt</sub>** sebesar **1.0**. Selain itu menentukan faktor elevasi permukaan tanah (**K<sub>e</sub>**) disesuaikan dengan tabel 26-9-1 pada SNI 1727-2020 untuk semua elevasi dapat diambil **K<sub>e</sub> 1**. Faktor efek hembusan angin untuk bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil **G** sebesar **0.85**. Kemudian menentukan nilai koefisien tekanan internal (**G<sub>Cpi</sub>**) berdasarkan tabel 26.13-1 SNI 1727:2020.

**Tabel 4.9** Koefisien Tekanan Internal, *G<sub>Cpi</sub>* (SNI 1727-2020)

Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan	Koefisien Tekanan
Bangunan tertutup	Sedang	± 0.18
Bangunan tertutup sebagian	Tinggi	± 0.55
Bangunan terbuka sebagian	Sedang	± 0.18
Bangunan terbuka	Diabaikan	0.00

Kemudian menentukan tekanan kecepatan yang diatur pada SNI 1727:2020 tabel 26.10-1 untuk koefisien eksposur tekanan kecepatan yang diperoleh nilai **K<sub>h</sub>** dan **K<sub>z</sub>** yang dipengaruhi ketinggian bangunan di atas permukaan tanah. Pembangunan Gedung Fakultas UNTAG Semarang direncanakan struktur dengan ketinggian 19.9 meter dan kategori eksposur B, sehingga ditentukan dengan menggunakan pada persamaan (03) sebagai berikut:

$$K_z = 2.01 (15/Zg)^{2/\alpha}$$

Nilai konstanta **Z<sub>g</sub>** dan **α** diperoleh dari tabel 26.11-1 SNI 1727:2020. Maka perhitungan untuk menentukan nilai **z** diperlukan persamaan, sebagai berikut:

$$\alpha = 7.0$$

$$Z_g = 365.76 \text{ m}$$

$$Z = 19.9 \text{ m}$$

$$K_z = 2.01 (Z/Z_g)^{2/\alpha}$$

$$= 2.01 (19.9/365.76)^{2/7.0}$$

$$= 2.01 (0.0545)^{0.286}$$

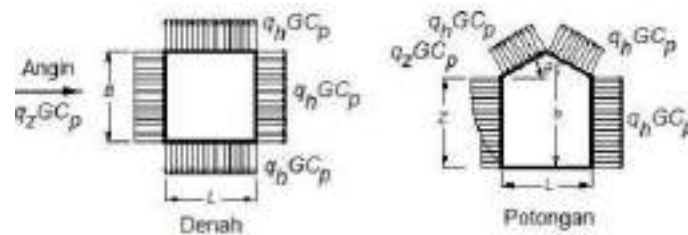
$$= \mathbf{0.875}$$

$$\mathbf{Kh = 0.85}$$

Menentukan tekanan velositas ( $q_z$ ) yang di evaluasi terhadap ketinggian ( $z$ ) diatas tanah harus dihitung dengan menggunakan persamaan (04) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_z = q_h &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2 \\ &= 0.613 \times 0.875 \times 1 \times 0.85 \times 1 \times 32^2 \\ &= 466,86 \text{ N/m}^2 \rightarrow \mathbf{0.467 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1727:2020 untuk menentukan koefisien tekanan atap ( $C_p$ ), diatur pada pasal 27.3-1 terkait sistem penahan gaya angin utama untuk seluruh ketinggian bagi bangunan tertutup dan bangunan tertutup sebagian, serta atap.



**Gambar 4.4** Diagram Beban Angin Atap Pelana (SNI 1727-2020)

Nilai koefisien tekanan dinding pada Gedung Fakultas Hukum UNTAG dipengaruhi oleh panjang dan lebar bangunan. Bangunan ini memiliki panjang sebesar 30 meter dan lebar 23 meter, sehingga nilai koefisien ( $C_p$ ) untuk sisi angin datang sebesar 0.8, sisi angin pergi ditentukan dari nilai  $L/B$  ialah  $0.767 < 1$  maka tekanan diambil sebesar -0.5, dan sisi tepi sebesar -0.7. Atap yang direncanakan memiliki sudut sebesar  $10^\circ$  dengan nilai  $h/L$  ialah  $0.087 < 0.25$ . Sehingga koefisien tekana atap ( $C_{pi}$ ) untuk sisi angin datang sebesar -0.7 dan -0.18, serta untuk sisi angin pergi sebesar -0.3. Perhitungan tekanan angin untuk sistem penahan gaya angin utama menggunakan persamaan (05), yaitu sebagai berikut:

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

Sesuai dengan standar SNI 1727:2020, pasal 27.1.5, beban angin minimum yang diterapkan pada bangunan tertutup atau sebagian tertutup tidak boleh kurang dari

16 lb/ft<sup>2</sup> (0,77 kN/m<sup>2</sup>) dikalikan dengan luas dinding bangunan, dan 8 lb/ft<sup>2</sup> (0,38 kN/m<sup>2</sup>) dikalikan dengan luas atap bangunan yang diproyeksikan pada bidang vertikal yang tegak lurus terhadap arah angin yang diasumsikan.

**Tabel 4.10** Perhitungan Nilai  $p$  Untuk Dinding.

Tipe	L	B	L/B	C <sub>p</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>syarat</sub>	P <sub>pakai</sub>
					(+0.18)	(+0.18)		
	m	m	m		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<i>Windward</i>				0.8	0.23	0.40		0.77
<i>Leeward</i>	23	30	0.767	-0.5	-0.28	-0.11	0.77	-0.77
<i>Sidewall</i>				-0.7	-0.36	-0.19		-0.77

**Tabel 4.11** Perhitungan Nilai  $p$  Untuk Atap.

Tipe	h	L	h/L	Ø	C <sub>p</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>syarat</sub>	P <sub>pakai</sub>
						(+0.18)	(+0.18)		
	m	m	m	°		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<i>Windward 1</i>					-0.7	-0.36	-0.19		-0.38
<i>Windward 2</i>	2	23	0.087	10	-0.18	-0.16	0.01	0.38	0.38
<i>Leeward</i>					-0.3	-0.20	0.04		-0.38

#### 4.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur ini menggunakan metode ultimit SNI 1726:2019 dengan perhitungan kombinasi sebagai berikut:

1.  $U = 1,4D$
2.  $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
3.  $U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5.  $U = 0,9D + 1,0W$
6.  $U = 1,2D + E_v + E_h + L$
7.  $U = 0,9D - E_v + E_h$

Berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 8.3.2.3 terkait kombinasi beban dengan faktor kuat lebih, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa sebagai berikut:

$$\text{Faktor kuat lebih: } (1.2 + 0.2 S_{DS})D + E_{MH} + L \dots\dots\dots (49)$$

$$(1.2 + 0.128 )D + E_{MH} + L$$

$$(0.9 - 0.2 S_{DS})D + E_{MH} \dots\dots\dots (50)$$

$$(0.9 - 0.128 )D + E_{MH}$$

Hasil kombinasi pembebanan, diantaranya sebagai berikut:

a) Grup Kombinasi 1

$$\text{Komb.1} = 1.4 \text{ DL} + 1.4 \text{ SDL}$$

b) Grup Kombinasi 2

$$\text{Komb.2} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1.6 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$$

c) Grup Kombinasi 3

$$\text{Komb.3} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1.6 \text{ R} + 1 \text{ LL}$$

d) Grup Kombinasi 4

$$\text{Komb.4a} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_x + 1 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$$

$$\text{Komb.4b} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_y + 1 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$$

e) Grup Kombinasi 5

$$\text{Komb.5a} = 0.9 \text{ DL} + 0.9 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_x$$

$$\text{Komb.5b} = 0.9 \text{ DL} + 0.9 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_y$$

f) Grup Kombinasi 6

$$\text{Komb.6a} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6b} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6c} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6d} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6e} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_y + 0.3 \text{ Ed}_x$$

$$\text{Komb.6f} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_y - 0.3 \text{ Ed}_x$$

$$\text{Komb.6g} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_y + 0.3 \text{ Ed}_x$$

$$\text{Komb.6h} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0,5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_y - 0.3 \text{ Ed}_x$$

g) Grup Kombinasi 7

$$\text{Komb.7a} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7b} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7c} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7d} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7e} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Edy} + 0.3 \text{ Edx}$$

$$\text{Komb.7f} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Edy} - 0.3 \text{ Edx}$$

$$\text{Komb.7g} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Edy} + 0.3 \text{ Edx}$$

$$\text{Komb.7h} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Edy} - 0.3 \text{ Edx}$$

Keterangan :

DL = beban mati sendiri struktur

SDL = beban mati tambahan struktur

LL = beban hidup

W<sub>x</sub> = beban angin arah X

W<sub>y</sub> = beban angin arah Y

R = beban air hujan

Ed<sub>x</sub> = beban gempa arah X

Ed<sub>y</sub> = beban gempa arah Y

#### 4.5 Perencanaan Struktur dengan SAP2000

Setelah menentukan besaran nominal beban yang akan bekerja pada struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang, dilanjut dengan menganalisa struktur dengan SAP2000. Tahap awal yang perlu dilakukan ialah pembuatan model 3D struktur bangunan yang akan di analisa dengan mengacu pada gambar rencana 2D dari AutoCAD agar dimensi penampang, jarak dan bentang elemen sesuai dengan rencana.

##### 4.5.1 Dimensi Penampang Struktur Dari UNTAG Semarang

Berdasarkan *Detail Engineering Design* (DED) bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang direncanakan dimensi penampang elemen struktur berupa sloof, kolom, balok, dan plat disertai dengan desain penulangannya.

**Tabel 4.12** Daftar Rencana Struktur Sloof

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Bawah	Pinggang	
<b>S1</b> <b>300 x 600</b>	Tumpuan	6 D 19	3 D 19	6 D 13	2Ø10-10
	Lapangan	3 D 19	3 D 19	6 D 13	Ø10-150
<b>S2</b> <b>200 x 400</b>	Tumpuan	6 D 13	3 D 13	4 Ø 12	2Ø10-150
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	3 D 13	Ø10-200

**Tabel 4.13** Daftar Rencana Struktur Balok

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Bawah	Pinggang	
<b>B1</b> 300 x 600	Tumpuan	8 D 19	4 D 19	6 D 13	Ø10 - 100
	Lapangan	4 D 19	3 D 19	2 D 13	Ø10 - 150
<b>B2</b> 300 x 500	Tumpuan	8 D 19	3 D 19	8 D 19	2Ø10 - 150
	Lapangan	4 D 19	3 D 19	4 D 19	Ø10 - 200
<b>B3</b> 250 x 450	Tumpuan	6 D 16	3 D 16	4 D 13	2Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 16	3 D 16	4 D 13	Ø10 - 200
<b>B4</b> 200 x 450	Tumpuan	4 D 16	2 D 16	4 D 13	Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 16	2 D 16	4 D 13	Ø10 - 200
<b>B5</b> 200 x 400	Tumpuan	6 D 13	3 D 13	4 Ø 12	Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	4 Ø 12	Ø10 - 200
<b>B6</b> 150 x 450	Tumpuan	4 D 13	2 D 13	4 Ø 10	Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	4 Ø 10	Ø10 - 200

**Tabel 4.14** Daftar Rencana Struktur Kolom

Struktur	Tipe	Tulangan Pokok	Sengkang
<b>K1</b> 700 x 700	Tumpuan	14 D 22	3 D10-150
	Lapangan	14 D 22	3 D10-150
<b>K2</b> 600 x 600	Tumpuan	10 D 22	3 D10-150
	Lapangan	10 D 22	3 D10-150
<b>K3</b> 500 x 500	Tumpuan	8 D 22	3 D10-150
	Lapangan	8 D 22	3 D10-150
<b>K4</b> 200 x 400	Tumpuan	12 D 12	2 D10-150
	Lapangan	12 D 16	2 D10-150
<b>K5</b> 200 x 600	Tumpuan	6 D 13	2 D10-150
	Lapangan	6 D 13	2 D10-150

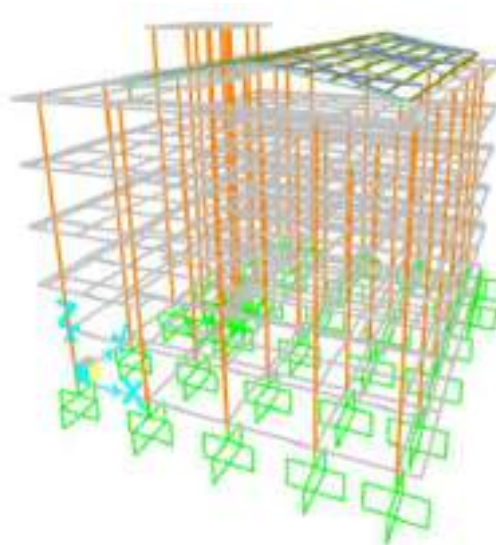
**Tabel 4.15** Daftar Rencana Struktur Plat

Struktur	Tulangan
Plat Lantai t = 200 mm	2Ø10-150
Plat Lantai t = 150 mm	2Ø10-150
Plat Lantai t = 120 mm	2Ø10-150
Plat Lantai t = 100 mm	2Ø10-150

#### 4.5.2 Hasil Analisa Struktur

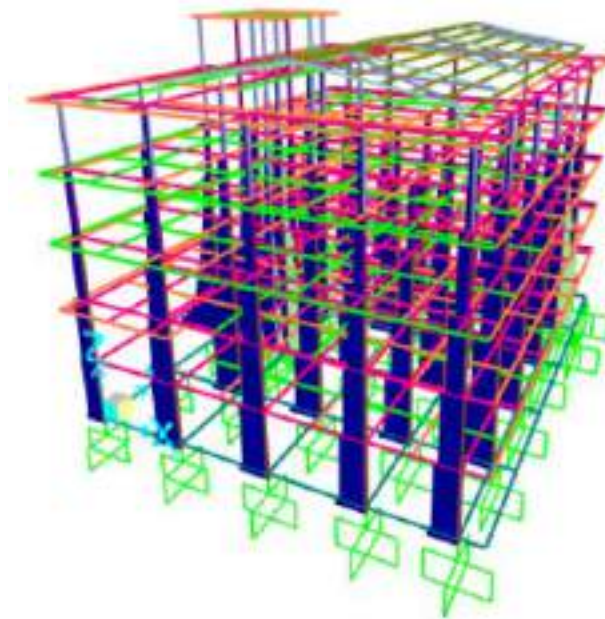
Berdasarkan hasil analisis *Detail Engineering Design* (DED) Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang menggunakan *software* SAP2000, diperoleh hasil bahwa struktur bangunan belum memenuhi persyaratan keamanan struktur. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil analisis elemen *frame* yang sebagian besar mengalami *overstress* sehingga struktur dinilai belum mampu menahan beban gempa maupun beban kerja lainnya secara aman. Oleh karena itu, dilakukan perencanaan ulang terhadap dimensi elemen struktur untuk meningkatkan kapasitas dan kekuatan bangunan. Selain perubahan dimensi struktur, dilakukan pula penambahan elemen *shear wall* untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Untuk struktur bawah juga dilakukan penambahan *raft* pada bagian lift dan juga tangga darurat. Setelah dilakukan perencanaan ulang, menunjukkan bahwa struktur bangunan telah aman memenuhi persyaratan sesuai ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku.

Dilakukan pengecekan mengenai semua struktur untuk menghindari adanya *frame* yang mengalami *overstressed*. Setelah dilakukan *run analysis* serta perubahan beberapa dimensi struktur menunjukkan bahwa tidak ada *frame* yang mengalami *overstressed* sehingga semua struktur aman. Berikut merupakan hasil analisa struktur dari SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8 sebagai berikut.

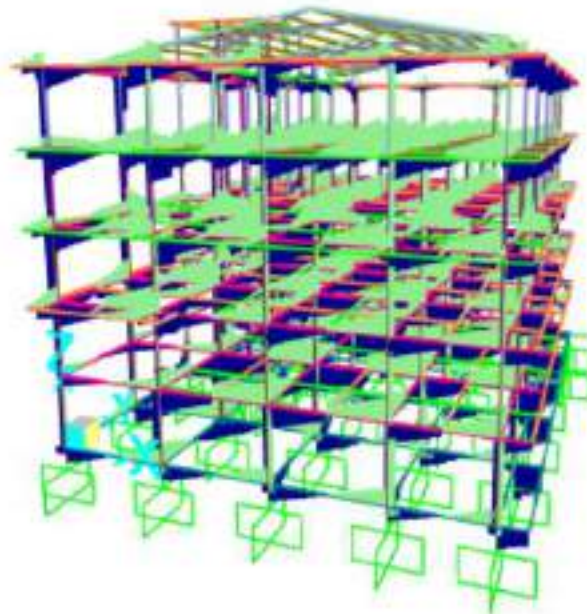


**Gambar 4.5** Hasil Analisa SAP2000

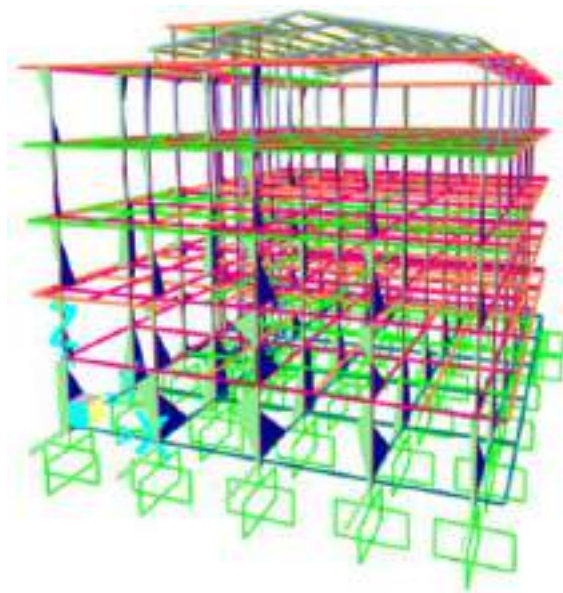
Setelah dilakukan pengecekan terhadap *frame* maka terdapat gaya – gaya yang didapatkan dari analisis struktur pada SAP2000 yang meliputi gaya aksial, gaya geser, dan momen dapat dilihat pada gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 sebagai berikut:



**Gambar 4.6** Gaya Aksial



**Gambar 4.7** Gaya Geser



**Gambar 4.8** Momen

Berdasarkan SNI 1726:2019, pemeriksaan jumlah ragam harus memenuhi ketentuan bahwa partisipasi massa kumulatif yang ditinjau pada masing-masing arah horizontal ortogonal minimal mencapai 90% dari massa aktual struktur. Setelah dilakukan analisis menggunakan SAP2000 adapun hasil dari *modal participatting mass ratio* dari hasil SAP2000 yaitu pada tabel 4.12 berikut ini.

**Tabel 4.16** Pemeriksaan Jumlah Ragam Gempa

No	Periode (dtk)	Sum Ux	Sum Uy
1	0,486418	0,52464	0,04681
2	0,38807	0,56984	0,66117
3	0,315432	0,64015	0,6613
4	0,273782	0,64031	0,6687
5	0,224671	0,64071	0,66872
6	0,214907	0,64071	0,66875
7	0,179815	0,64163	0,66875
8	0,165337	0,64187	0,66964
9	0,141689	0,71108	0,6774
10	0,131478	0,76468	0,69247
11	0,116904	0,78825	0,81726
12	0,087688	0,79001	0,84227

13	0,08066	0,84174	0,84263
14	0,035987	0,84415	0,92231
15	0,033891	<b>0,92829</b>	<b>0,92454</b>

Berdasarkan hasil tabel tersebut diperoleh jumlah partisipasi massa pada 15 mode arah X yaitu  $92\% \geq 90\%$  dan arah Y yaitu  $92\% \geq 90\%$ . Sehingga partisipasi massa X dan Y memenuhi. Selain itu adapun perbandingan geser statik dan perbandingan geser dinamik yang diperoleh yaitu pada tabel 4.13 dan 4.14 berikut ini.

**Tabel 4.17** Base Reaction 1

No	Output Case	Global Fx (kN)	Global Fy (kN)
1	Eqsx	-6710,27	-0,0000000285
2	Eqsy	0,00000000321	-6710,27
3	Eqdx	4668,151	1794,038
4	Eqdy	1811,188	5330,162

**Tabel 4.18** Hasil Penjumlahan Geser Untuk Masing – Masing Gempa

No	Geser Dasar	Dinamik (kN)	Statik (kN)	Kontrol (VD>100% VS)	VD/VS
1	X	4668,151	6710,27	<b>TIDAK OKE</b>	0,696
2	Y	5330,162	6710,27	<b>TIDAK OKE</b>	0,794

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bahwa X-direction dan Y-direction kurang dari 100% sehingga perlu dilakukan *scale factor* ulang sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1. Setelah dilakukan *scale factor* sebesar arah X yaitu 1,437 dan arah Y 1,258 diperoleh hasil pada tabel 4.15 dan 4.16 berikut ini.

**Tabel 4.19** Base Reaction 2

No	Output Case	Global Fx (kN)	Global Fy (kN)
1	Eqsx	-6710,27	-0,0000000261
2	Eqsy	0,000000001922	-6710,27
3	Eqdx	6725,436	2584,682
4	Eqdy	2284,447	6722,923

**Tabel 4.20** Hasil Penjumlahan Geser Untuk Masing – Masing Gempa

No	Geser Dasar	Dinamik (kN)	Statik (kN)	Kontrol (VD>100% VS)	VD/VS
1	X	6725,436	6710,27	OKE	1
2	Y	6722,923	6710,27	OKE	1

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bawah *X-direction* dan *Y-direction* mencapai 100% sehingga  $VD > VS$  memenuhi persyaratan.

Adapun simpangan antar lantai tidak boleh melebihi dari simpangan izin sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6. Berdasarkan SNI tersebut untuk simpangan antar tingkat izin dengan kategori resiko IV memakai  $0,015h_{sx}$ .

$$\Delta a \text{ (ijin)} = \frac{0,015 h_{sx}}{\rho} \dots\dots\dots(51)$$

Keterangan :

- $H_{sx}$  : Tinggi tiap lantai
- $\delta x$  : Defleksi yang terjadi
- $Cd$  : 5,5 (Faktor pembesar defleksi)
- $I$  : 1,5 (Faktor keutamaan gedung)
- $\Delta x$  : Simpangan antar lantai
- $\Delta a \text{ (ijin)}$  : Simpangan ijin

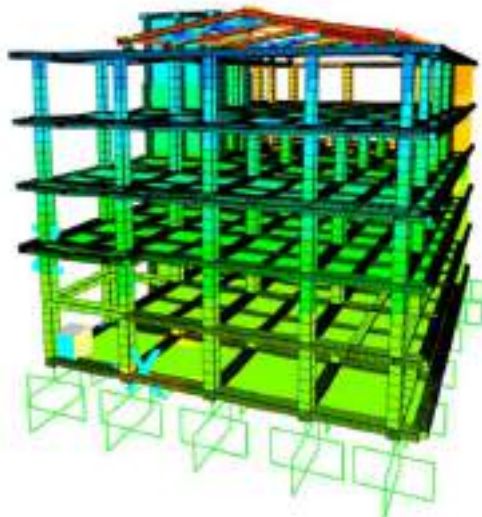
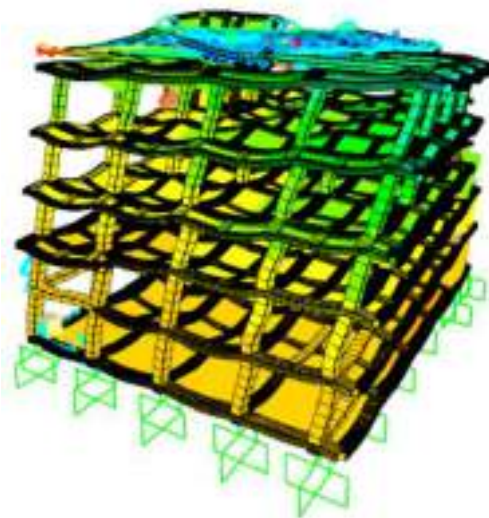
Berikut untuk hasil perhitungan analisa mengenai simpangan antar lantai arah-X dan arah-Y dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18. Adapun gambar simpangan antar lantai arah  $U_x$  dan  $U_y$  dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10.

**Tabel 4.21** Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	$H_{sx}$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\delta x \text{ Cd} / I$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta a$ (ijin) (mm)	Keterangan
Dak atap	4000	10,92	40,02	8,6	46,15	Aman
5	4000	8,57	31,41	9,71	46,15	Aman
4	4000	5,92	21,7	8,22	46,15	Aman
3	4000	3,67	13,47	7,84	46,15	Aman
2	4000	1,54	5,63	5,52	46,15	Aman
1	4000	0,03	0,11	0,11	46,15	Aman

**Tabel 4.22** Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Hsx (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\delta x$ Cd / I (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta a$ (ijin) (mm)	Keterangan
Dak atap	4000	10,78	39,51	-8,18	46,15	Aman
5	4000	8,67	47,69	-12,72	46,15	Aman
4	4000	6,36	34,97	25,21	46,15	Aman
3	4000	1,77	9,76	-0,42	46,15	Aman
2	4000	1,85	10,17	9,96	46,15	Aman
1	4000	0,04	0,21	0,21	46,15	Aman

**Gambar 4.9** Simpangan Arah Ux**Gambar 4.10** Simpangan Arah Uy

Setelah itu memasukkan gaya dalam dari hasil analisa SAP2000 maka diperoleh hasil untuk penulangan atap baja ringan, sloof, balok, kolom, plat, *shear wall*, tangga, dan struktur bawah.

Berikut merupakan perhitungan dari struktur atap baja ringan.

Bentang kuda – kuda	= 16 m
Jarak antar kuda – kuda	= 6 m
Jarak antar gording	= 1,5 m
Sudut kemiringan	= 10°
Alat sambung	= Baut ASTM A325
Mutu baja	= BJ 41
Kolom kuda – kuda	= IWF 300.150.6,5.9
Kaki kuda – kuda	= IWF 300.150.6,5.9
Gording	= CNP 150.150.50.20.3,2

### 1. Kolom kuda – kuda ke *base plate*

#### **Data *base plate***

Lebar <i>base plate</i>	B	= 350 mm
Panjang <i>base plate</i>	N	= 450 mm
Panjang kolom IWF	d	= 300 mm
Lebar kolom IWF	bf	= 150 mm
Tebal <i>base plate</i>	t	= 10 mm
Diameter angkur	D	= 19 mm
Luas angkur	Ab	= 283,5 m <sup>2</sup>
Tegangan tarik putus baut	fub	= 825 MPa
Angkur sisi tekan	nt	= 4 bh
Angkur sisi tarik	nc	= 4 bh
Kolom IWF 300.150,6,5.0	tw	= 6,5 mm
	Tf	= 9 mm
Lebar penampang kolom	I	= 150 mm
Panjang penampang kolom	J	= 300 mm
Kolom pedestal		= 500 x 500 mm
Mutu beton	fc'	= 35 MPa

Berat jenis beton	$W_c$	= 24 kN/m <sup>3</sup>
Mutu baja		= BJ 41
	$f_y$	= 250 MPa
	$f_u$	= 410 MPa

### Hasil dari SAP2000

Gaya aksial kolom	$P_u$	= 65,863 kN	= 65863 N
Momen	$M_u$	= 39,4059 kNm	= 39405900 Nmm
Gaya geser	$V_u$	= 10,361 kN	= 10361 Nmm

### Aturan standar jarak tepi baut

Berdasarkan SNI 1729:2020 Tabel J3.4 atau J3.4M jarak minimum dari pusat lubang pengikat (baut/angkur) ke tepi pelat ditentukan oleh diameter baut yang digunakan  $D = 19$  mm ( baut ukuran  $\frac{3}{4}$  inchi).

Batas jarak tepi minimum  $e_b = 25$  mm

### Kontrol eksentrisitas dan klasifikasi beban

$$\text{Eksentrisitas, } e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{39405900}{65863} = 598,301019 \text{ mm}$$

Tegangan tumpu beton desain maksimum diizinkan

$$\begin{aligned} \phi f_c, \text{ max} &= \phi \times 0,85 \times f_c' \\ &= 0,65 \times 0,65 \times 35 = 19,3375 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kapasitas tekan beton per mm lebar pelat ( $q$  max)

$$\begin{aligned} q \text{ max} &= \phi f_c, \text{ max} \times B \\ &= 19,3375 \times 350 = 6768,125 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Batas eksentrisitas kritis

$$\begin{aligned} e_{crit} &= \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \times q \text{ max}} \\ &= \frac{450}{2} - \frac{65863}{13536,25} = 220,134 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat, eksentrisitas (e) >  $e_{crit}$

$$598,301019 \text{ mm} > 220,134 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)}$$

**Distribusi area tekan (Y) dan gaya tarik angkur (Tu)**

Jarak baut angkur ke pusat as kolom (f).

$$f = \frac{N}{2} - eb = 225 - 25 = 200 \text{ mm}$$

Jarak baris angkur tarik ke ujung plat tekan terluar (g).

$$g = \frac{N}{2} + f = 225 + 200 = 425 \text{ mm}$$

Menggunakan persamaan abc untuk mencari nilai Y

$$Y^2 - 2gY + \frac{2Pu(e+f)}{q_{max}} = 0$$

$$Y^2 - 850Y + 15537,095 = 0$$

$$Y_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Menghitung nilai diskriminan (nilai dalam akar)

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{b^2 - 4ac} \\ &= \sqrt{722500 - 62148,3795} \\ &= 812,620 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{850 + 812,62}{2} \\ &= 831,31 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{850 - 812,62}{2} \\ &= 18,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga  $Y = 18,69 \text{ mm}$

**Gaya tarik terfaktor pada grup angkur (Tu)**

$$\begin{aligned} T_u &= (q_{max} \times Y) - P_u \\ &= 126495,514 - 65863 = 60632,514 \text{ N} = 60,632 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik per satu baut angkur (T1 baut)

$$T1 \text{ baut} = \frac{T_u}{nt} = \frac{60632,514}{4} = 15158,128 \text{ N} = 15,158 \text{ kN}$$

### Jarak tepi minimum lubang

Syarat jarak tepi minimum dari pusat lubang baut ke tepi plat D 19 mm

$$\begin{aligned} \text{Total sisa ruang diluar kolom} &= \text{panjang plat (N)} - \text{panjang IWF (d)} \\ &= 450 - 300 = 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sisa ruang kanan kiri karena kolom berada tepat di tengah plat maka sisanya yaitu 75 mm.

$$\begin{aligned} \text{Jarak tepi (eb) aktual} &= 225 - f \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol geometeri, eb aktual} &\geq \text{eb min} \\ 25 &\geq 25 \text{ mm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

### Kekuatan tarik desain baut angkur

$$\text{Kuat tarik desain per unit baut } \phi T_n = \phi \times F_{nt} \times A_b$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik nominal } F_{nt} &= 0,75 \times F_{ub} \\ &= 618,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \phi T_n &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 131575,0545 \text{ N} = 131,575 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol kekuatan tarik } T_1 \text{ baut} &\leq \phi T_n \\ 15,158 &\leq 131,575 \text{ kN (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

### Kekuatan geser desain baut angkur

$$V_1 \text{ baut} = \frac{V_u}{n_{total}} = \frac{10361}{8} = 1295,125 \text{ N}$$

Kuat geser desain per unit baut  $\phi V_n$ , kondisi ulir berada di bidang geser

$$\phi V_n = \phi \times F_{nv} \times A_b$$

tegangan geser nominal,

$$\begin{aligned} F_{nv} &= 0,45 \times F_{ub} \\ &= 371,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = \phi \times F_{nv} \times A_b$$

$$= 78945 \text{ N}$$

$$= 78,945 \text{ kN}$$

Tahanan geser nominal

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 105260,04 \text{ N} = 105,2600 \text{ kN}$$

Tahanan geser desain / izin angkur baut

$$\phi R_n = 0,75 \times R_n = 79 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol kekuatan geser, } V_1 \text{ baut} &\leq \phi R_n \\ 1,295 &\leq 79 \text{ kN (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

**Tegangan tumpu nominal beton ( $f_p$ , nominal)**

$$\begin{aligned} f_p, \text{ nominal} &= 0,85 \times f_c' \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7f_c' \\ \frac{A_2}{A_1} &= \frac{250000}{157500} = 1,587 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_p, \text{ nominal} &= 0,85 \times 35 \times \sqrt{1,587} \leq 1,7f_c' \\ &= 37,48 \text{ MPa} \leq 1,7 \times 35 \\ &= 37,48 \leq 59,5 \text{ MPa (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

**Ketebalan minimum *base plate* terhadap lentur kantilever**

Jarak bentang kantilever kritis penampang plat diukur dari muka sayap kolom IWF (m).

$$m = \frac{N - 0,95 d}{2} = \frac{450 - 285}{2} = 82,5 \text{ mm}$$

Tebal minimum plat landasan baja yang diperlukan secara teoritis akibat distribusi tegangan tumpu.

$$t_{\min} = m \sqrt{\frac{2Pu}{\phi \times f_y \times B \times N}} = 82,5 \sqrt{\frac{131726}{35437500}} = 5,03 \text{ mm}$$

Kontrol kelenturan plat,  $t$  rencana 10 mm

$$\begin{aligned} t_{\text{aktual}} &\geq t_{\min} \\ 10 &\geq 5,03 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

**Tahanan tumpu nominal satu baut angkur**

$$\text{Diameter baut} \quad D = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang standar} \quad D_{lh} = 21 \text{ mm}$$

Jarak dari as baut ke tepi plat	$e_b$	$= 25$
Jarak bersih dari tepi lubang ke tepi plat	$l_c$	$= e_b - \frac{Dl_h}{2} = 14,5 \text{ mm}$
Tebal plat landasan	$t$	$= 10 \text{ mm}$
Tegangan putus	$f_u$	$= 410 \text{ MPa}$

Tahanan tumpu nominal

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t \times f_u \leq 2,4 D \times t \times f_u$$

$$= 71340 \leq 186960 \text{ N (MEMENUHI)}$$

**Syarat tahanan tumpu**

$$\text{Tahanan tumpu desain } \phi R_n = 0,75 \times R_n$$

$$= 53,505 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat aman, gaya tumpu aktual } \leq \text{Tahanan tumpu desain}$$

$$1,295 \leq 53,505 \text{ (MEMENUHI)}$$

**Perhitungan panjang angkur**

$$T_u = 60632,514 \text{ N}$$

Kedalaman penanaman efektif ke beton,

$$h_{ef} = 15D$$

$$= 285 \text{ mm}$$

Akumulasi panjang fisik batang lurus angkur, L total.

$$L \text{ total} = 333 \text{ mm}$$

Panjang tekuk pengait bawah, Kait =  $5D = 95 \text{ mm}$  dibulatkan 100 mm.

## 2. Kaki Kuda – Kuda ke Kolom

**Data Base Plate**

IWF		$= 300.150.6,5.9$
Lebar sayap profil	$B$	$= 150 \text{ mm}$
Tinggi total profil	$H$	$= 300 \text{ mm}$
Diameter angkur	$D$	$= 19 \text{ mm}$
Tebal sayap/ flens (tf atau h')		$= 9 \text{ mm}$
Tinggi bersih badan	$h$	$= H - (2h')$
		$= 282 \text{ mm}$
Tebal plat badan tegak	$d'$	$= 6,5 \text{ mm}$
Jarak antar baut minimum	$s$	$= 3D = 3 \times 19 = 57 \text{ mm}$

	$s$ pakai	= 60 mm
Jarak baut ke tepi bawah	$s_2$	= 70 mm
Tebal plat sambung	$t$	= 10 mm
Tebal las	$t_w$	= 6 mm
Tebal efektif laas	$a$	= $t_w \times \sin 45^\circ$ = 4,24 mm
Mutu las	$f_y'$	= 240 MPa
	$f_u$	= 370 MPa
Jumlah baut	$n$	= 14 buah
Mutu baut	$f_y$	= 585 MPa
	$f_u$	= 825 MPa
Reduksi kekuatan las	$\phi$	= 0,75

### **Beban Sambungan**

Gaya aksial balok	$N_u$	= 16,392 kN
Momen ultimit	$M_u$	= 7,8027 kNm
Gaya geser ultimit	$V_u$	= 6,755 kN

### **Perhitungan sambungan las**

Kapasitas tegangan las nominal, $F_{nw}$	= 0,6 x $F_{uw}$ = 222 MPa
--	-------------------------------

Maka tegangan desain izin las $\phi F_{nw}$	= 0,75 x $F_{nw}$ = 0,75 x 222 = 166,5 N/mm <sup>2</sup>
---	---

Tegangan geser las akibat gaya geser ( $V_u$ ) dan aksial ( $N_u$ )

### **L<sub>w1</sub> (Panjang las sayap)**

Lebar sayap	$B$	= 150 mm
Tebal badan	$d'$	= 6,5 mm
Sisi luar atas		= 150 mm
Sisi dalam kiri		= 71,75 mm
Sisi dalam kanan		= 75,75 mm
Sisi ujung samping		= 9 mm
L <sub>w 1</sub>		= 2 x (150+71,75+71,75) = 587 mm

**Tahanan geser las 1 (sayap)**

$$\begin{aligned}\phi R_n1 &= \phi F_{nw} \times a \times L_{w1} \\ &= 414657 \text{ N} \\ &= 414,66 \text{ kN}\end{aligned}$$

Total panjang keseluruhan jalur las yang mengikat badan (plat tengah yang tegak)

$$\begin{aligned}H &= 300 \text{ mm} \\ t_f &= 9 \text{ mm} \\ r &= 13 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi bersih plad badan (d)} &= H - (2 \times t_f) - (2 \times r) \\ &= 256 \text{ mm}\end{aligned}$$

Plat badan berbentuk tegak lurus dan harus dilas di kedua sisinya (kanan dan kiri) agar tidak lepas saat menerima gaya geser vertikal.

$$\begin{aligned}\text{Jalur las sisi kanan badan} &= 256 \text{ mm} \\ \text{Jalur las sisi kiri badan} &= 256 \text{ mm} \\ L_{w2} &= 512 \text{ mm} \\ \text{Total panjang las nyata, } L_w &= L_{w1} + L_{w2} \\ &= 1099 \text{ mm}\end{aligned}$$

**Tahanan geser las 2 (badan)**

$$\begin{aligned}\phi R_n2 &= \phi F_{nw} \times a \times L_w 2 \\ &= 361667 \text{ N} \\ &= 361,676 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat } L_{w1} \quad 587 &\geq 17,73 \text{ (MEMENUHI)} \\ \text{Syarat } L_{w2} \quad 361,676 &\geq 17,73 \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

**Momen tahanan las**

Menghitung modulus penampang las ( $Z_w$ )

$$\begin{aligned}Z_w &= \frac{L_{w1}}{2} \times H \\ &= 88050 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menghitung momen tahanan nominal ( $M_{nw}$ )

$$\begin{aligned}M_{nw} &= F_{nw} \times a \times Z_w \\ &= 82931322 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Menghitung momen tahanan las desain ( $\phi M_{nw}$ )

$$\begin{aligned}\phi M_{nw} &= 0,75 \times M_{nw} \\ &= 62198491,33 \text{ Nmm} \\ &= 62,198 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat } \phi M_{nw} &\geq M_u \\ 62,198 &\geq 7,8027 \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

### Perhitungan sambungan baut

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang baut } A_b &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 283,528 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### Gaya lintang (geser) dan gaya normal aksial per baut

$$\begin{aligned}\text{Gaya lintang (geser) per baut } V_{u1} &= \frac{V_u}{n} \\ &= 0,4825 \text{ kN} \\ &= 482,5 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya normal (aksial) per baut } N_{u1} &= \frac{N_u}{n} \\ &= 1,1708 \text{ kN} \\ &= 1170,857 \text{ N}\end{aligned}$$

### Gaya tarik akibat momen pada baut terluar ( $T_{mu}$ )

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J3.4 dan Pasal J3.5 untuk diameter 19 jarak tepi minimum yang diizinkan adalah 26 mm jika ujung plat dipotong menggunakan mesin pelubang / geser dan 22 mm apabila dipotong dengan gas/plasma tarikan plus. Sehingga batas minimumnya 22-26 mm, maka memakai 30 mm.

$$\begin{aligned}\text{Maka } d_{\max} &= H - \text{jarak pemasangan baut} \\ &= 270 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{mu} &= \frac{M_u}{2d_{\max}} \\ &= 14,449 \text{ Kn} = 14449,44 \text{ N}\end{aligned}$$

### Total gaya tarik yang dipikul baut kritis ( $T_u$ )

$$\begin{aligned}T_u &= T_{mu} + N_{u1} \\ &= 15,620 \text{ kN}\end{aligned}$$

**Tegangan tarik nominal (Fnt)**

$$\begin{aligned} F_{nt} &= 0,75F_u \\ &= 618,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

**Tegangan geser nominal**

$$\begin{aligned} F_{nv} &= 0,45F_u \\ &= 371,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

**Kuat geser desain baut ( $\phi R_{nv}$ )**

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= \phi \times F_{nv} \times A_b \\ &= 78945,0327 \text{ N} \\ &= 78,945 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } \phi R_{nv} &\geq V_{u1} \\ 78,945 &\geq 0,4825 \text{ kN (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

**Kuat tarik desain baut ( $\phi R_{nt}$ )**

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 131575,0545 \text{ N} \\ &= 131,575 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } \phi R_{nt} &\geq T_u \\ 131,575 &\geq 15,620 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

**Tebal plat sambung minimum ( $t_p$ )**

Menggunakan konsep analisis garis leleh pelat (*yield line*) akibat tarikan momen baut terluar.

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ t_p &= \sqrt{\frac{4 \times T_u \times m}{\phi \times f_y \times B}} = 9,705 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat tebal plat sambung} &\geq \text{tebal plat sambung minimum} \\ 10 &\geq 9,705 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

**3. Kuda – Kuda ke Kuda – Kuda****Data Base Plate**

$$\begin{aligned} \text{IWF} &= 300.150.6,5.9 \\ \text{Lebar sayap profil} & \quad B = 150 \text{ mm} \\ \text{Tinggi total profil} & \quad H = 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter angkur	D	= 16 mm
Tebal sayap/ <i>flens</i>	(tf atau h')	= 9 mm
Tinggi bersih badan	h	= $H - (2h')$ = 282 mm
Tebal plat badan tegak	d'	= 6,5 mm
Sisi lebar sayap		= $B - d' = 143,5$ mm
Lebar sayap bersih	d	= 71,75 mm
Jarak antar baut	s	= 48 mm
	s pakai	= 50 mm

Berdasarkan SNI 1729:2020 Tabel J3.4 untuk diameter 16 mm maka batas minimumnya adalah 22 mm.

Jarak baut ke tepi	s1	= 50 mm
Jarak baut ke tepi bawah	s2	= 60 mm
Tebal plat sambung	tp	= 19 mm
Tebal las	tw	= 6 mm

#### **Panjang las 1 (Lw1)**

Sisi luar sayap (atas+bawah)	= 2B = 300 mm
Sisi dalam sayap (atas+bawah)	= $2(B - d') = 287$ mm
Lw1	= 587 mm

#### **Panjang las 2 (Lw2)**

Tinggi bersih badan asli	= $H - (2tf) = 282$ mm
--------------------------	------------------------

Tinggi bersih badan vertikal

$$h \text{ vertikal} = \frac{\text{tinggi bersih badan asli}}{\cos(10^\circ)}$$

$$= 286,35 \text{ mm}$$

Karena plat badan dilas di kesua sisinya kanan kiri maka Lw2 yaitu

$$Lw2 = 2 \times h \text{ vertikal}$$

$$= 573 \text{ mm}$$

$$\text{Total panjang las (Lw)} = Lw1 + Lw2$$

$$= 1160 \text{ mm}$$

Mutu las	fy	= 240 MPa
----------	----	-----------

	$f_u$	= 370 MPa
Diameter baut	$D$	= 16 mm
Jumlah baut	$n$	= 8 bh
Mutu baut	$f_y$	= 585 MPa
	$f_u$	= 825 MPa
Reduksi kekuatan las	$\phi$	= 0,75
Tebal efektif las	$a$	= 4,24 mm

### **Beban Sambungan**

Gaya aksial	$N_u$	= 15,168 kN
Momen ultimit	$M_u$	= 21,805 kNm = 21805000 Nmm
Gaya geser ultimit	$V_u$	= 18,165 kN

### **Tahanan geser nominal las bahan ( $F_{nw}$ )**

$$F_{nw} = 0,65f_u$$

$$= 222 \text{ N/mm}^2$$

### **Tahanan geser las 1 ( $\phi R_{n1}$ )**

$$\text{Luas efektif las 1 (Awe1)} = L_{w1} \times a$$

$$= 2490,430 \text{ mm}^2$$

Kapasitas geser desain las 1

$$\phi R_{n1} = \phi \times F_{nw} \times A_{we1}$$

$$= 414656,6089 \text{ N}$$

$$= 414,657 \text{ kN}$$

Syarat	$\phi R_{n1}$	$\geq$	$V_u$
	414,657	$\geq$	18,165 ( <b>MEMENUHI</b> )

### **Tahanan geser las 2 ( $\phi R_{n2}$ )**

$$\text{Luas efektif las 2 (Awe2)} = L_{w2} \times a$$

$$= 2429,8 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_{n2} = \phi \times F_{nw} \times A_{we2}$$

$$= 404556 \text{ N}$$

$$= 404,555 \text{ kN}$$

Syarat	$\phi R_{n2}$	$\geq$	$V_u$
	404,55	$\geq$	18,165 ( <b>MEMENUHI</b> )

**Total tahanan geser las**

$$\phi R_n \text{ total} = 819,212 \text{ kN}$$

**Momen tahanan las & kontrol gaya tarik**

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi las sayap (Zw1)} &= A_{we1} \times H \\ &= 747129 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi las badan (Zw2)} &= ((a \times (h \text{ vertikal})^2)/(3)) \times 2 \text{ sisi} \\ &= 231921,116 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Total modulus penampang las} = 979050 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= (\phi F_{nw}) \times \text{Total modulus penampang} \\ &= 163011848,5 \text{ Nmm} \\ &= 163,011 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Syarat } \phi M_n & \geq & M_u \\ 163,011 & \geq & 21,805 \text{ (MEMENUHI)} \end{array}$$

**Gaya lintang & geser normal yang dipikul per baut**

Gaya lintang (geser) per baut ( $V_{u1}$ )

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{V_u}{n} \\ &= 2,2706 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya normal (aksial) per baut ( $N_{u1}$ )

$$\begin{aligned} N_{u1} &= \frac{N_u}{n} \\ &= 1,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Gaya tarik akibat momen ( $T_{mu}$ ) dan total tarik per baut**

Gaya tarik total akibat momen ( $T_{mu}$ )

$$\begin{aligned} T_{mu} &= \frac{M_u}{H} \\ &= 72683,33 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tarik yang dipikul per baut ( $T_{u1}$ )

$$\begin{aligned} T_{u1} &= \left( \frac{T_{mu}}{\text{jumlah baut tarik}} \right) + N_{u1} \\ &= 38237,7 \text{ N} \\ &= 38,237 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Kuat geser desain baut ( $\phi R_{nv}$ )**

$$\begin{aligned} \text{Tegangan geser nominal (F}_{nv}\text{)} &= 0,45 \times F_{ub} \\ &= 371,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kapasitas geser 1 baut

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= \phi \times F_{nv} \times A_b \\ &= 55983,18109 \text{ N} \\ &= 55,983 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Syarat dan kontrol geser baut } \phi R_{nv} & \geq & V_{u1} \\ & 55,983 & \geq 2,27 \text{ (MEMENUHI)} \end{array}$$

**Kuat tarik desain baut ( $\phi R_{nt}$ )**

Tegangan tarik nominal

$$\begin{aligned} F_{nt} &= 0,75 \times F_{ub} \\ &= 618,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kapasitas tarik 1 baut

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 93305,30181 \text{ N} \\ &= 93,305 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Syarat dan kontrol tarik baut } \phi R_{nt} & \geq & T_{u1} \\ & 93,305 & \geq 38,24 \text{ (MEMENUHI)} \end{array}$$

**Tebal plat sambungan baut (tp)**

$$\begin{aligned} \text{Jarak baut dari dinding badan IWF} &= \frac{d}{2} \\ &= 35,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mencari nilai lengan tekuk kritis (m)} &= \frac{d}{2} \\ &= 35,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal plat (tp min)} &= \sqrt{\frac{4 \times T_{mu} \times m}{\phi \times f_y \times b_p}} \\ &= 17,579 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga untuk tebal plat sambung memakai ialah 19 mm

$$\begin{array}{lcl} \text{Syarat } tp \text{ pakai} & \geq & tp \text{ min} \\ & 19 & \geq 17,579 \text{ (MEMENUHI)} \end{array}$$

**Tabel 4.23** Hasil Analisa Atap Baja ringan

<b>Atap Baja Ringan</b>		
Kolom Kuda - Kuda		IWF 300.150.6,5.9
Kolom Pedestal		K3 50 x 50 cm
Kaki Kuda - Kuda		IWF 300.150.6,5.9
Gording		CNP 150.150.50.20.3,2
<b>Kolom Kuda – Kuda ke <i>Base Plate</i></b>		
Lebar <i>Base Plate</i>	B	350 mm
Panjang <i>Base Plate</i>	N	450 mm
Panjang Kolom IWF	d	300 mm
Lebar Kolom IWF	bf	150 mm
Tebal <i>Base Plate</i>	t	10 mm
Diameter Angkur	D	19 mm
Luas Angkur	Ab	283,5 mm
Tegangan Tarik Putus Baut	Fub	825 Mp
Angkur Sisi Tekan	nt	4 bh
<b>Kolom Kuda – Kuda ke <i>Base Plate</i></b>		
Angkur Sisi Tarik	nc	4 bh
<b>Kaki Kuda – Kuda ke Kolom</b>		
Lebar Sayap Profil	B	150 mm
Tinggi Total Profil	H	300 mm
Diameter Angkur	D	19
Tebal Plat Sambung	t	10 mm
Tebal Las	tw	6 mm
Jumlah Baut	n	14 bh
<b>Kuda – Kuda ke Kuda - Kuda</b>		
Lebar Sayap Profil	B	150 mm
Tinggi Total Profil	H	300 mm
Diameter Angkur	D	16
Tebal Plat Sambung	t	10 mm
Tebal Las	tw	19 mm
Jumlah Baut	n	8 bh

Berikut merupakan perhitungan dari kebutuhan penulangan pada sloof.

### Data Dimensi dan Material

Panjang sloof	L	= 6000 mm
Lebar sloof	b	= 400 mm
Tinggi sloof	h	= 800 mm
Panjang tumpuan		= 2 x h = 1600 mm
Diameter tulangan longitudinal	db	= 19 mm
Diameter tulangan pinggang	dbt	= 13 mm
Diameter tulangan sengkang	ds	= 10 mm
Selimut beton	cc	= 50 mm
Tinggi efektif balok	d	= h – cc – ds – (db/2) = 800 – 50 – 10 – (19/2) = 730,5 mm
Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal	fy	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal	fyv	= 280 MPa

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3. untuk  $28 < f_c' < 55$  maka,  $\beta_1$  yaitu

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c' - 28)}{7} = 0,8$$

Panjang kolom	c1	= 700 mm
Lebar kolom	c2	= 700 mm
Ln		= L – c1 = 6000 – 700 = 5300 mm

### Gaya Dalam Dari SAP2000

$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(-)}$	= -225,5709	kNm
$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)}$	= 75,9241	kNm
$M_{u, \text{Lapangan}}^{(-)}$	= -73,5119	kNm
$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)}$	= 74,7537	kNm
Pu	= 143,369	kN
$V_{u, \text{Tumpuan}}$	= 261,646	kN
$V_{u, \text{Lapangan}}$	= 97,604	kN

### Perhitungan Penulangan Lentur

#### 4. Tumpuan Negatif

Jumlah tulangan tumpuan negatif, n	= 5 buah
Diameter tulangan longitudinal, db	= 19 mm
Jarak bersih antar tulangan ( $S_{bersih}$ )	$= \frac{b-2cc-2ds-n \times db}{n-1}$ $= \frac{400-2(50)-2(10)-(5 \times 19)}{5-1}$ $= 46,25 \text{ mm}$
Syarat jarak bersih minimum (SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.	$= S_{bersih} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$ $= 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$ <p><b>(MEMENUHI)</b></p>
Jumlah lapis	= 2
As pasang	$= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$ $= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2$ $= 1417,6437 \text{ mm}^2$
As,min,1	$= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$ $= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$ $= 1028,975 \text{ mm}^2$
As,min,2	$= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$ $= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5$ $= 974 \text{ mm}^2$
Syarat cek as min	$= As \text{ pasang} \geq As_{min,1} \text{ dan } As_{min,2}$ $= 1417,644 \geq 10288,975 \text{ dan } 974 \text{ mm}^2$ <p><b>(MEMENUHI)</b></p>
$\rho$	$= \frac{As}{b \times d}$ $= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5}$ $= 0,5\%$

$$\begin{aligned} \rho_{\max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,5\% \end{aligned}$$

$$\rho_{\max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman blok tegangan tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 50,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat momen nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1417,6437 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{50,03}{2}\right) \\ &= 420,0517 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\epsilon_s$ .

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003 \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,15 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(-)} = 225,5709 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas  $\phi M_n > M_u = 378,046 > 225,5709 \text{ kNm}$  (**MEMENUHI**)

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{225,5709}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6 = 761,2851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 5. Tumpuan Positif

$$\text{Jumlah tulangan tumpuan positif, } n = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19)}{4 - 1} \\ &= 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$\text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.} = 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

**(MEMENUHI)**

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

$$\text{As pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

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

$$= 1134,1149 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min},1} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$$

$$= 1028,975 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min},2} = \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$$

$$= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5$$

$$= 974 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min},4} = 0,5 \times \text{as tumpuan negatif}$$

$$= 0,5 \times 1417,6437 = 708,821 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat cek as min} = \text{As pasang} \geq (\text{As}_{\text{min},1}; \text{As}_{\text{min},4})$$

$$= 1134,1149 \geq (1028,975; 708,821) \text{ mm}^2 \text{ (**MEMENUHI**)}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1134,115}{400 \times 730,5} \\ &= 0,388\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,5\%\end{aligned}$$

$$\rho_{\max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman blok tegangan tekan, } a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1134,115 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 40,027 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat momen nominal, } M_n &= As \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1134,115 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{40,027}{2}\right) \\ &= 338,427 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{40,027}{0,8} = 50,034 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\epsilon_s$ .

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-50,034}{50,034} \times 0,003 \\ &= 0,04\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 338,427 = 304,582 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(+)} = 75,9241 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek syarat kapasitas } \phi M_n &> M_u \\ 304,582 &> 75,9241 \text{ kNm (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{75,9241}{(420 \times (730,5 - \frac{40,027}{2}))} \times 10^6 \\ &= 254,433 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### 6. Lapangan Negatif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan negatif, } n = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (} S_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19)}{5 - 1} \\ &= 46,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat jarak bersih minimum} &= S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm} \\ \text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.} &= 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm} \\ &\text{(MEMENUHI)}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 1417,6437 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{min},1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\ &= 1028,975 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{As}_{\text{min},2} = \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
 &= 974 \text{ mm}^2 \\
 \text{As,min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat cek as min} &= \text{As pasang} \geq (\text{As,min,1}; \text{As,min,4}) \\
 &= 1417,6437 \geq (1028,975; 354,410) \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5} \\
 &= 0,485\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
 &= 2,5\%
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\
 &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 50,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1417,6437 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{50,03}{2}\right) \\
 &= 420,0517 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\epsilon_s$ .

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003 \\
 &= 0,032
 \end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,15\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{ Lapangan}^{(-)} = 73,5119 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas  $\phi M_n > M_u = 378,046 > 73,5119 \text{ kNm}$  (**MEMENUHI**)

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{73,5119}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6 \\ &= 248,097 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

## 7. Lapangan Positif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan positif, } n = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (} S_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (6 \times 19)}{6 - 1} \\ &= 33,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$\text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.} = 33,2 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

**(MEMENUHI)**

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

$$\text{As pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$= 6 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2$$

$$= 1701,172 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min,1} &= \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1028,975 \text{ mm}^2 \\
 A_{s,\min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
 &= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
 &= 974 \text{ mm}^2 \\
 A_{s,\min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat cek as min} &= A_s \text{ pasang} \geq (A_{s,\min,1}; A_{s,\min,4}) \\
 &= 1701,172 \geq (1028,975; 354,410) \text{ mm}^2 \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1701,172}{400 \times 730,5} \\
 &= 0,582\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
 &= 2,5\%
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\
 &= 0,5\% \leq 2,5\% \quad \textbf{(MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c' \times b} \\
 &= \frac{1701,172 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 60,041 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1701,172 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{60,041}{2}\right) \\
 &= 500,487 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang,  $c$ .

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{60,041}{0,8} = 75,051 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\varepsilon_s$ .

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-75,051}{75,051} \times 0,003 \\ &= 0,0261\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,0261 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 2,658\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 500,487 = 450,438 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{ Tumpuan}^{(+)} = 74,7537 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas  $\phi M_n > M_u = 450,438 > 74,7537 \text{ kNm}$  (**MEMENUHI**)

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{74,7537}{(420 \times (730,5 - \frac{60,041}{2}))} \times 10^6 = 254,090 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

## Perhitungan Tulangan Geser

### 1. Tulangan Tumpuan

#### Gaya Desain

$$\begin{aligned}V_{g, \text{tumpuan}} &= \frac{M_{\text{tumpuan}} + M_{\text{lapangan}}}{L_n} \\ &= \frac{225,571 + 73,5119}{5300} \times 1000 = 56,430 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$A_s^+ \text{ Tumpuan} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$A_s^- \text{ Tumpuan} = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,25 \times 40,027 \\
 &= 50,034 \text{ mm} \\
 a_{pr}^- &= 1,25 \times a \\
 &= 1,25 \times 50,0344 \text{ mm} \\
 &= 62,543 \text{ mm} \\
 M_{pr}^+ &= A_s^+ \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right) \\
 &= 1134,115 \times (1,25 \times 420) \times \left(730,5 - \frac{50,034}{2}\right) \\
 &= 420051735 \text{ Nmm} \\
 M_{pr}^- &= A_s^- \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\
 &= 1417,644 \times (1,25 \times 420) \times \left(730,5 - \frac{62,543}{2}\right) \\
 &= 520409817 \text{ Nmm} \\
 V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= \frac{420051735 + 520409817}{5300} \\
 &= 117446 \text{ N} \\
 V_e &= V_g + V_{pr} \\
 &= (56,430 \times 1000) + 117446 \\
 &= 182553 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### Tahanan Geser Beton

Gaya geser gempa,

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= \frac{420051735 + 520409817}{5300} \\
 &= 117446 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Batas setengah gaya geser desain,

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \times V_e &= \frac{1}{2} \times 182553 \\
 &= 91276 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u = 143369 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas gaya aksial tekan minimum} &= \frac{A_g \times F_{c'}}{20} \\
 &= \frac{b \times d \times f_{c'}}{20} \\
 &= \frac{400 \times 800 \times 35}{20} \\
 &= 560000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pengecekan syarat  $V_c = 0$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 1,} \quad V_{pr} &\geq \frac{1}{2} \times V_e \\
 117446 \text{ N} &\geq 91276 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 2,} \quad P_u &< \frac{A_g \times F_{c'}}{20} \\
 143369 \text{ N} &< 560000 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan kedua syarat terpenuhi, maka  $V_c = 0$ .

### Penulangan Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang, } A_v &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 1} = \frac{d}{4} = \frac{730,5}{4} = 182,63 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 6d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 3} = 150 \text{ mm}$$

Cek syarat spasi,  $\text{Spasi} \leq (\text{Spasi max 1} : \text{Spasi max 3})$

$$100 \text{ mm} \leq (182,63 : 150) \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang,  $V_s$ .

$$V_s = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} = \frac{314,159 \times 280 \times 730,5}{100} = 642581 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1140928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser nominal penampang,  $V_n$ .

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 642581 \\ &= 642581 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser ulmitit,

$$\begin{aligned} V_u &= 182553 \text{ N} \\ \frac{\phi V_n}{V_u} &= \frac{0,75 \times 642581}{182553} \\ &= 2,640 \end{aligned}$$

$$\text{Cek kapasitas } \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$2,640 \geq 1 \text{ (MEMENUHI)}$$

## 2. Tulangan Lapangan

### Penulangan Geser

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kaki} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Luas penampang, } A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \\ \text{Spasi} &= 150 \text{ mm} \\ \text{Spasi max} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{730,5}{2} \\ &= 365,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat spasi,  $\text{Spasi} \leq \text{Spasi max}$

$$150 \text{ mm} \leq 365,25 \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang,  $V_s$ .

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} \\ &= \frac{157,08 \times 280 \times 730,5}{150} \\ &= 214194 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1140928 \text{ N} \\
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 293875 \text{ N} \\
 \phi &= 0,75
 \end{aligned}$$

Kuat geser nominal penampang,  $V_n$ .

$$V_n = V_c + V_s = 293875 + 214194 = 508069 \text{ N}$$

$$\text{Gaya geser ulmitit, } V_u = 97604 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 508069}{97604} = 3,904$$

$$\text{Cek kapasitas } \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$3,904 \geq 1 \text{ (MEMENUHI)}$$

### Perhitungan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \times h &= 400 \times 800 &= 320000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2 \times (b+h) &= 2 \times (400 + 800) &= 2400 \text{ mm} \\
 X_0 &= b - 2c_c - d_s &= 400 - 2(50) - 10 &= 290 \text{ mm} \\
 Y_0 &= h - 2c_c - d_s &= 800 - 2(50) - 10 &= 690 \text{ mm} \\
 A_{oh} &= X_0 \times Y_0 &= 290 \times 690 &= 200100 \text{ mm}^2 \\
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} &= 0,85 \times 200100 &= 170085 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 \times (X_0 + Y_0) &= 2 \times (290 + 690) &= 1960 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Gaya Dalam dari SAP2000

$$T_u = 83,4818 \text{ kNm}$$

### Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

Momen torsi retak nominal,  $T_{cr}$ .

$$\begin{aligned}
 T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
 &= 0,33 \times \sqrt{35} \times \frac{320000^2}{2400} = 83298403 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\frac{\phi \times T_{cr}}{4} = \frac{0,75 \times 83298403}{4} = 15618451 \text{ Nmm}$$

Cek apakah perlu tulangan torsi atau tidak.

$$T_u > \frac{\phi \times T_{cr}}{4}$$

83481800 > 15618451 Nmm (**MEMBUTUHKAN TULANGAN TORSI**)

### Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis torsi = Kompabilitas

$T_u$  Pakai =  $\phi T_{cr}$  atau  $T_u = 62473803$  Nmm

$V_u = 182553$  N

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\ &= 293875 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi  $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2}$

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} &= \sqrt{\left(\frac{182553}{400 \times 730,5}\right)^2 + \left(\frac{62473803 \times 1960}{1,7 \times 200100^2}\right)^2} \\ &= 1,904 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas tegangan beton} &= \phi \left[ \frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'c'} \right] \\ &= 0,75 \left[ \frac{293875}{400 \times 730,5} + 0,66 \times \sqrt{35} \right] \\ &= 3,683 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Cek dimensi penampang

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi < Kapasitas tegangan beton. 1,996 < 3,683 MPa (**MEMENUHI**).

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1  $\theta$  diambil untuk balok komponen struktur non prategang = 45°

### Penulangan Transversal Torsi

n kaki tumpuan = 4 buah

n kaki lapangan = 2 buah

s tumpuan = 100 mm

$$\begin{aligned}
 s \text{ lapangan} &= 150 \text{ mm} \\
 s \text{ max 1} &= \frac{Ph}{8} = \frac{1960}{8} = 245 \text{ mm} \\
 s \text{ max 2} &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pengecekan spasi tumpuan,  $s \text{ tumpuan} \geq (s \text{ max 1} : s \text{ max 2})$ .

$$100 \geq (245:300) \text{ mm (MEMENUHI).}$$

Pengecekan spasi lapangan,  $s \text{ lapangan} \geq (s \text{ max 1} : s \text{ max 2})$ .

$$150 \geq (245:300) \text{ mm (MEMENUHI).}$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang,  $\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}}$ .

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\
 &= \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{100} \\
 &= 3,142 \text{ mm}^2/\text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang,  $\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}}$ .

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\
 &= \frac{2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{150} \\
 &= 1,047 \text{ mm}^2/\text{ mm}.
 \end{aligned}$$

Kebutuhan luas sengkang torsi per satuan jarak,  $\frac{A_t}{s}$ .

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2 \times \emptyset \times A_o \times f_{yv}} \\
 &= \frac{62473803}{2 \times 0,75 \times 170085 \times 280} \\
 &= 0,875 \text{ mm}^2/\text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s \text{ tumpuan perlu}} &= \frac{\left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\emptyset} - V_c\right)}{f_{yv} \times d} \\
 &= \frac{\left(\frac{182553}{0,75} - 0\right)}{280 \times 730,5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,19 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \frac{A_v}{s \text{ lapangan perlu}} &= \frac{\left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c\right)}{f_{yv} \times d} \\
 &= \frac{\left(\frac{97604}{0,75} - 293875\right)}{280 \times 730,5} \\
 &= -0,80051 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}} &= 2 \left(\frac{A_t}{s}\right) + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2(0,875) + 1,19 \\
 &= 2,94
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}} &= 2 \left(\frac{A_t}{s}\right) + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2(0,875) + (-0,80051) \\
 &= 0,949
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 1}} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\
 &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{280} \\
 &= 0,524
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 2}} &= 0,35 \times \frac{b}{f_{yv}} \\
 &= 0,35 \times \frac{400}{280} \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek geser + torsi tumpuan} &= \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 1}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 2}} \\
 &= 5,309 \geq 3,397 ; 0,524 ; 0,5 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek geser + torsi lapangan} &= \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 1}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 2}} \\
 &= 1,047 \geq 0,949 ; 0,524 ; 0,5 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

### Penulangan Longitudinal Torsi

$$dbt = 13 \text{ mm}$$

$$db, \text{ min} = 0,042 \times s = 0,042 \times 150 = 6,3 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat db} = db \geq db, \text{min} \quad (13 \geq 6,3 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}$$

$$\text{As perlu tumpuan atas} = 761,285 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu tumpuan bawah} = 254,434 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu lapangan atas} = 248,097 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu lapangan bawah} = 254,090 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \\ &= 0,875 \times 1960 \\ &= 1714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= 0,42 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \\ &= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{320000}{420} - (0,875) \times 1960 \\ &= 179,035 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 2729,829 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Lapangan} = 2216,298 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tumpuan atas} = 5 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan vertikal} = 2 + n \text{ Tengah} / 2 = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ lapangan atas} = 5 \text{ buah}$$

$$n \text{ lapangan tengah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ lapangan bawah} = 6 \text{ buha}$$

$$n \text{ lapangan vertikal} = 2 + n \text{ Tengah} / 2 = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi horizontal tumpuan} &= \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{4-1} \end{aligned}$$

$$= 87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi vertikal tumpuan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\ &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} \end{aligned}$$

$$= 220 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi horizontal lapangan} = \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{5-1} \\
 &= 65 \text{ mm} \\
 \text{Spasi vertikal lapangan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\
 &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} \\
 &= 220 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan.

Spasi horizontal, vertikal  $\geq 300$  mm

$$87 \text{ dan } 220 \geq 300 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

### Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan

Spasi horizontal, vertikal  $\geq 300$  mm

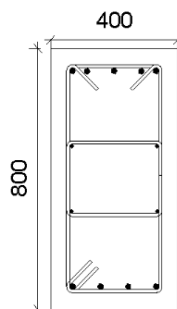
$$65 \text{ dan } 220 \geq 300 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned}
 A_s + A_l \text{ pasang tumpuan} &= ((n \text{ tumpuan atas} + n \text{ tumpuan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + \\
 &\quad (n \text{ tumpuan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2) \\
 &= 3082,688 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

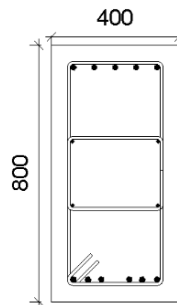
$$\begin{aligned}
 A_s + A_l \text{ pasang lapangan} &= ((n \text{ lapangan atas} + n \text{ lapangan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + \\
 &\quad (n \text{ lapangan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2) \\
 &= 3649,745 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek lentur + torsi tumpuan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\
 &= 3082,688 \geq 2729,829 \text{ mm}^2 \text{ MEMENUHI}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek lentur + torsi lapangan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\
 &= 3649,745 \geq 2216,298 \text{ mm}^2 \text{ MEMENUHI}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.11** Detail Sloof Tumpuan



**Gambar 4.12** Detail Sloof Lapangan

**Tabel 4.24** Hasil Analisa Sloof

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Tengah	Bawah	
S1 400 x 800	Tumpuan	5 D 19	4 D 13	4 D 19	4Ø10-100
	Lapangan	5 D 19	4 D 13	6 D 19	2Ø10-150

**Tabel 4.25** Hasil Analisa Gaya Dalam Kolom

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	5107,822	99,5893	107,6031
P min	-8088,245	-212,2517	-299,6669
M2 max	2865,572	304,2137	114,5566
M2 min	-6101,252	-294,8756	-149,9476
M3 max	4110,653	187,5351	359,2885
M3 min	-2803,454	-148,3618	-341,7249
Geser			
	Tumpuan	Lapangan	
V2 (kN)	680,657	680,657	
V3 (kN)	617,896	617,896	
Gaya Tekan Terkecil			
Nu (kN)	0,33		

### Data Dimensi dan Material

Tinggi kolom		= 4000 mm
Sisi pendek kolom	b	= 700 mm
Sisi panjang kolom	h	= 700 mm

Diameter tulangan longitudinal	$d_b$	= 22 mm
Diameter tulangan sengkang	$d_s$	= 13 mm
Selimit beton	$c_c$	= 50 mm
Kuat tekan beton	$f_c'$	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal	$f_y$	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan sengkang	$f_{yv}$	= 280 MPa
Tinggi balok	$h_b$	= 800 mm
$L_n$	$L-h_b$	= 3200 mm

### 1. Desain Longitudinal

#### Syarat Terhadap Gaya dan Geometri

$$\begin{aligned} \text{Syarat gaya aksial} &= P_u > 0,1 \times A_g \times f_c' \\ &= 8088,245 > 0,1 \times 700 \times 700 \times 35 \\ &= 8088245 > 1715000 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat sisi terpendek} &= b \geq 300 \text{ mm} \\ &= 700 \geq 300 \text{ mm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat rasio dimensi penampang} &= \frac{b}{h} \geq 0,4 \\ &= \frac{700}{700} \geq 0,4 \\ &= 1 \geq 0,4 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

#### Syarat Terhadap Gaya Dalam Aksial Lentur

$$\text{Jumlah tulangan } n = 16 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan longitudinal } A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 16 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 6082,123 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio tulangan } \rho &= \frac{A_s}{b \times h} \\ &= \frac{6082,123}{700 \times 700} = 0,0124 = 1,2412\% \end{aligned}$$

Cek batasan rasio tulangan longitudinal kolom.

$$1\% \leq \rho \leq 6\%$$

$$1\% \leq 1,2412\% \leq 6\% \text{ (MEMENUHI)}$$

#### Pengecekan Terhadap *Strong Column – Weak Beam*

Untuk momen nominal kolom,  $M_{nc}$  didapatkan dari hasil *Sp Column*.

$$M_{nc} = 514,562$$

$$M_n^- \text{ tumpuan balok} = 420,052 \text{ kNm}$$

$$M_n^+ \text{ tumpuan balok} = 338,425 \text{ kNm}$$

Cek *Strong Column Weak Beam* (SCWB).

$$\begin{aligned} \text{SCWB} &= 2 \times M_{nc} \geq 1,2 (M_n^- + M_n^+) \\ &= 2 \times 514,562 \geq 1,2 (420,052 + 338,425) \\ &= 1029,124 \geq 910,1724 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

## 2. Desain Transversal

### Panjang Zona Sendi Plastis

$$l_{o1} = h = 700 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = \frac{L_n}{6} = \frac{3200}{6} = 533,333 \text{ mm}$$

$$l_{o3} = 450 \text{ mm}$$

$$l_o = \max (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3})$$

$$= 700 \text{ mm}$$

### Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/ Tumpuan

$$\text{Jumlah kaki sisi pendek } n_1 = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah kaki sisi panjang } n_2 = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Spasi } s = 65 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Kaki Terbesar } x_{i \max} = 300 \text{ mm}$$

Kapasitas luas sengkang kekangan terpasang,  $A_{sh}$ .

Luas penampang sengkang pengekok terpasang arah 1 sumbu X.

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang sengkang pengekok terpasang arah 2 sumbu Y.

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan rasio luas sengkang kekangan aktual terpasang per satuan jarak arah – 1.

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{530,929}{65} = 8,16814$$

Menentukan rasio luas sengkang kekangan aktual terpasang per satuan jarak arah – 2.

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{530,929}{65} = 8,16814$$

### Kekangan Zona Sendi Plastis

Lebar penampang inti beton,  $b_c$ .

$$b_c = b - 2c_c = 700 - 2(50) = 600 \text{ mm}$$

Panjang penampang inti beton,  $h_c$ .

$$h_c = h - 2c_c = 700 - 2(50) = 600 \text{ mm}$$

Luas penampang kolom,  $A_g$ .

$$A_g = b \times h = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

Luas penampang inti beton,  $A_{ch}$ .

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 600 \times 600 = 360000 \text{ mm}^2$$

Sisi pendek atau sumbu lemah,  $\frac{A_{sh1}}{s}$ .

$$\begin{aligned} \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 1} &= 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f_{ct}}{f_{yv}}\right) \times \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}}\right) - 1\right] \\ &= 0,3 \times \left(\frac{600 \times 35}{280}\right) \times \left[\left(\frac{490000}{360000}\right) - 1\right] \\ &= 8,125 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_{ct}}{f_{yv}} \\ &= 0,09 \times 600 \times \frac{35}{280} \\ &= 6,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Cek syarat } \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\text{pasang}} \geq \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min 1,2}$$

$$8,16814 \geq (8,125; 6,75) \text{ (MEMENUHI)}$$

Sisi panjang atau sumbu kuat,  $\frac{A_{sh1}}{s}$ .

$$\left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 1} = 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f_{ct}}{f_{yv}}\right) \times \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}}\right) - 1\right]$$

$$= 0,3 \times \left(\frac{600 \times 35}{280}\right) \times \left[\left(\frac{490000}{360000}\right) - 1\right]$$

$$= 8,125 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_{ct}}{f_{yv}}$$

$$= 0,09 \times 600 \times \frac{35}{280}$$

$$= 6,75 \text{ mm}^2$$

Cek syarat  $\left(\frac{A_{sh2}}{s}\right)_{\text{pasang}} \geq \left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\min 1,2}$

$$8,16814 \geq (8,125; 6,75) \text{ (MEMENUHI)}$$

Cek spasi

$$S_{\max, 1} = \frac{b}{4} = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$$

$$S_{\max, 2} = 6 \times d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$h_x = x_i \max = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\max, 3} \text{ so} = 100 + \frac{350 - h_x}{3} = 100 + \frac{350 - 300}{3} = 116,6 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 116,6 \text{ mm}$$

Cek syarat s max,  $100 \leq s_o \leq 150 \text{ mm}$

$$100 \leq 116,6 \leq 150 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

### **Kuat Geser Zona Sendi Plastis**

#### **Gaya Geser Desain**

$M_{pr}$  kolom, input dari hasil perhitungan  $Sp \text{ Column} = 1372,178 \text{ kNm}$

$$V_{u1} = 2 \times \frac{M_{pr}}{L_n} = 2 \times \frac{1372,178}{3200} \times 1000000 = 857611,3014 \text{ N}$$

#### **Gaya Geser Hasil Analisa Stuktur**

$$V_{u2} \text{ sumbu lemah} = 680657 \text{ N}$$

$$V_{u2} \text{ sumbu kuat} = 617896 \text{ N}$$

#### **Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah**

$$V_u = 857611,3014 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times \left(h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right)$$

$$= 0,17 \times \left( 1 + \frac{0,33}{14 \times 490000} \right) \times \sqrt{35} \times 700 \times \left( 700 - 50 - 13 - \frac{22}{2} \right)$$

$$= 440734 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{857611,3014}{0,75} - 440734 = 702748,087 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{702748,087}{280 \times 626} = 4,009 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min 1}} = 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}}$$

$$= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min 2}} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek persyaratan,  $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$8,168140899 \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min 2}}\right) \text{ (MEMENUHI)}$$

### Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 857611,3014 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 \times \left( 1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left( 1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times \left( h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2} \right)$$

$$= 0,17 \times \left( 1 + \frac{0,33 \times 1000}{14 \times 49000} \right) \times \sqrt{35} \times 700 \times \left( 700 - 50 - 13 - \frac{22}{2} \right)$$

$$= 440733,6 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{857611,3014}{0,75} - 440733,6 = 702748,087 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{702748,087}{280 \times 626} = 4,009 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min 1}} = 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}}$$

$$= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min 2}} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek persyaratan,  $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$8,168140899 \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min } 2}\right) \text{ (MEMENUHI)}$$

### Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Platis / Tumpuan

$$\text{Jumlah kaki sisi pendek, } n_1 = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah kaki sisi panjang, } n_2 = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Spasi } s = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v, \text{ sumbu lemah} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 265,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v, \text{ sumbu kuat} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 265,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Kekangan Luar Zona Sendi Platis

$$\text{Spasi max 1} = 6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Cek spasi, spasi max 1} \geq \text{spasi max 2}$$

$$132 \geq 150 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

### Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 680657 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times \left(h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right) \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,33 \times 1000}{14 \times 49000}\right) \times \sqrt{35} \times 700 \times \left(700 - 50 - 13 - \frac{22}{2}\right) \\ &= 440733,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{680657}{0,75} - 440733,6 = 466809,018 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{466809,018}{280 \times 626} = 2,6 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{s \text{ min } 1} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mM}$$

Cek persyaratan,  $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$\frac{A_v}{s} \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min } 2}\right)$$

$$\frac{265}{100} \geq \max(2,6 : 0,875)$$

$$2,65 \geq \max(2,6 : 0,875) \text{ (MEMENUHI)}$$

### Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 617896 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times \left(h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right) \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,33 \times 1000}{14 \times 49000}\right) \times \sqrt{35} \times 700 \times \left(700 - 50 - 13 - \frac{22}{2}\right) \\ &= 440733,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{617896}{0,75} - 440733,6 = 177162,35 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{177162,35}{280 \times 626} = 1,01 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{s \text{ min } 1} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mM}$$

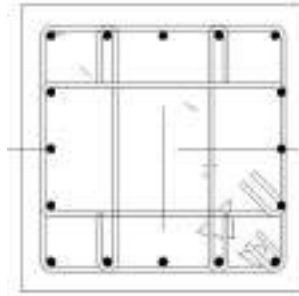
Cek persyaratan,  $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$\frac{A_v}{s} \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min } 2}\right)$$

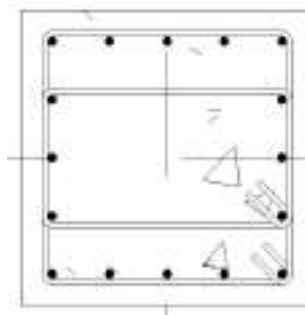
$$\frac{265}{100} \geq \max(2,6 : 0,875)$$

$$2,65 \geq \max(2,6 : 0,875) \text{ (MEMENUHI)}$$

Berikut merupakan gambar dari K1 tumpuan dan lapangan dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14 di bawah ini.



**Gambar 4.13** Detail K1 Tumpuan



**Gambar 4.14** Detail K1 Lapangan

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pada struktur kolom dapat dilihat pada tabel 4.22.

**Tabel 4.26** Hasil Analisa Struktur Kolom

Struktur	Tulangan Longitudinal	Tulangan Senggang	
<b>K1 700 x 700</b>	16 D 22	Tumpuan	4Ø13 - 65
		Lapangan	2Ø13 - 100
<b>K2 600 x 600</b>	12 D 22	Tumpuan	4Ø13 - 60
		Lapangan	2Ø13 - 100
<b>K3 500 x 500</b>	12 D 22	Tumpuan	4Ø13 - 60
		Lapangan	2Ø13 - 100

Berikut merupakan perhitungan dari kebutuhan penulangan pada balok B1.

#### Data Dimensi dan Material

Panjang balok  $L = 6000 \text{ mm}$

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

Tinggi balok  $h = 800 \text{ mm}$

Panjang tumpuan		= 2 x h = 1600 mm
Diameter tulangan longitudinal	db	= 19 mm
Diameter tulangan pinggang	dbt	= 13 mm
Diameter tulangan sengkang	ds	= 10 mm
Selimut beton	cc	= 50 mm
Tinggi efektif balok	d	= h – cc – ds – (db/2) = 800 – 50 – 10 – (19/2) = 730,5 mm

Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal	fy	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal	fyv	= 280 MPa

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3. untuk  $28 < f_c' < 55$  maka,  $\beta_1$  yaitu

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c' - 28)}{7}$$

$$= 0,8$$

Panjang kolom	c1	= 700 mm
Lebar kolom	c2	= 700 mm
Ln		= L – c1 = 6000 – 700 = 5300 mm

### Gaya Dalam Dari SAP2000

$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(-)}$	= -243,821	kNm
$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)}$	= 150,3386	kNm
$M_{u, \text{Lapangan}}^{(-)}$	= 1,9526	kNm
$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)}$	= 4,0446	kNm
$P_u$	= -215,586	kN
$V_{u, \text{Tumpuan}}$	= -207,068	kN
$V_{u, \text{Lapangan}}$	= 130,432	kN

### Perhitungan Penulangan Lentur

#### 1. Tumpuan Negatif

Jumlah tulangan tumpuan negatif, n	= 5 buah
Diameter tulangan longitudinal, db	= 19 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b-2cc-2ds-n \times db}{n-1} \\
 &= \frac{400-2(50)-2(10)-(5 \times 19)}{5-1} \\
 &= 46,25 \text{ mm} \\
 \text{Syarat jarak bersih minimum} &= S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm} \\
 \text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.} &= 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm} \\
 &\text{(MEMENUHI)} \\
 \text{Jumlah lapis} &= 2 \\
 \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\
 &= 1417,6437 \text{ mm}^2 \\
 \text{As,min,1} &= \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1028,975 \text{ mm}^2 \\
 \text{As,min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
 &= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
 &= 974 \text{ mm}^2 \\
 \text{Syarat cek as min} &= \text{As pasang} \geq \text{As,min,1 dan As,min,2} \\
 &= 1417,6437 \geq 1028,975 \text{ dan } 974 \text{ mm}^2 \\
 &\text{(MEMENUHI)} \\
 \rho &= \frac{As}{b \times d} \\
 &= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5} \\
 &= 0,5\% \\
 \rho \text{ max,1} &0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
 &= 2,5\% \\
 \rho \text{ max,2} &= 2,5\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c' \times b} \\ &= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 50,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat momen nominal, Mn} &= As \times fy \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1417,6437 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{50,03}{2}\right) \\ &= 420,0517 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\epsilon_s$ .

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003 \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,15 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u, \text{ Tumpuan}^{(-)} = 243,821 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek syarat kapasitas } \phi M_n &> M_u \\ 378,046 &> 243,821 \text{ kNm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\text{As perlu} = \frac{M_u}{(fy \times (d - \frac{a}{2}))}$$

$$= \frac{243,821}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6$$

$$= 822,8779 \text{ mm}^2$$

## 2. Tumpuan Positif

Jumlah tulangan tumpuan positif, n = 4 buah

Diameter tulangan longitudinal, db = 19 mm

Jarak bersih antar tulangan ( $S_{\text{bersih}}$ ) =  $\frac{b-2cc-2ds-n \times db}{n-1}$

$$= \frac{400-2(50)-2(10)-(5 \times 19)}{4-1}$$

$$= 68 \text{ mm}$$

Syarat jarak bersih minimum =  $S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$   
 (SNI 2847:2019 pasal 25.2.1. =  $46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$

**(MEMENUHI)**

Jumlah lapis = 2

As pasang =  $n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$

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

$$= 1134,1149 \text{ mm}^2$$

As,min,1 =  $\frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$$

$$= 1028,975 \text{ mm}^2$$

As,min,2 =  $\frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$

$$= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5$$

$$= 974 \text{ mm}^2$$

As,min,4 = 0,5 x as tumpuan negatif

$$= 0,5 \times 1417,6437$$

$$= 708,821 \text{ mm}^2$$

Syarat cek as min =  $As \text{ pasang} \geq (As, \text{min}, 1; As, \text{min}, 4)$

$$= 1134,1149 \geq (1028,975; 708,821) \text{ mm}^2 \text{ **(MEMENUHI)**}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1134,115}{400 \times 730,5} \\ &= 0,388\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,5\%\end{aligned}$$

$$\rho_{\max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \quad (\text{MEMENUHI})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman blok tegangan tekan, } a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1134,115 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 40,027 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat momen nominal, } M_n &= As \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1134,115 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{40,027}{2}\right) \\ &= 338,427 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{40,027}{0,8} = 50,034 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\epsilon_s$ .

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-50,034}{50,034} \times 0,003 \\ &= 0,04\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 338,427 = 304,582 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(+)} = 150,3386 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas  $\phi M_n > M_u$

$$304,582 > 150,3386 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{150,3386}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{75,9241}{(420 \times (730,5 - \frac{40,027}{2}))} \times 10^6 \\ &= 503,80858 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### 3. Lapangan Negatif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan negatif, } n = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (} S_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19)}{5 - 1} \\ &= 46,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$\text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.} = 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

**(MEMENUHI)**

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

$$\text{As pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2$$

$$= 1417,6437 \text{ mm}^2$$

$$\text{As, min, 1} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$$

$$= 1028,975 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
 &= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
 &= 974 \text{ mm}^2 \\
 A_{s,\min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2 \\
 \text{Syarat cek as min} &= A_s \text{ pasang} \geq (A_{s,\min,1}; A_{s,\min,4}) \\
 &= 1417,6437 \geq (1028,975; 354,410) \\
 &\text{mm}^2 \text{ (MEMENUHI)} \\
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5} \\
 &= 0,485\% \\
 \rho \text{ max,1} &0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
 &= 2,5\% \\
 \rho \text{ max,2} &= 2,5\% \\
 \text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\
 &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \\
 \text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 50,03 \text{ mm} \\
 \text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times (d \times \frac{a}{2}) \\
 &= 1417,6437 \times 420 \times (730,5 \times \frac{50,03}{2}) \\
 &= 420,0517 \text{ kNm} \\
 \text{Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm} \\
 \text{Nilai regangan pada baja tulangan tarik, } \epsilon_s \\
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003
 \end{aligned}$$

$$= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003$$

$$= 0,032$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 3,15$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai  $\phi = 0,9$ .

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm}$$

$$M_u, \text{Lapangan}^{(-)} = 1,9526 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas  $\phi M_n > M_u$

$$378,046 > 1,9526 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\text{As perlu} = \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))}$$

$$= \frac{1,9526}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6 = 6,589 \text{ mm}^2$$

#### 4. Lapangan Positif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan positif, } n = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak bersih antar tulangan (} S_{\text{bersih}} \text{)} = \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (6 \times 19)}{6 - 1}$$

$$= 33,2 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$\text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.} = 33,2 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

**(MEMENUHI)**

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

$$\text{As pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$\begin{aligned}
&= 6 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\
&= 1701,172 \text{ mm}^2 \\
\text{As,min,1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d \\
&= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\
&= 1028,975 \text{ mm}^2 \\
\text{As,min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
&= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
&= 974 \text{ mm}^2 \\
\text{As,min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
&= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2 \\
\text{Syarat cek as min} &= \text{As pasang} \geq (\text{As,min,1}; \text{As,min,4}) \\
&= 1701,172 \geq (1028,975; 354,410) \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)} \\
\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
&= \frac{1701,172}{400 \times 730,5} \\
&= 0,582\% \\
\rho \text{ max,1} &0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
&= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
&= 2,5\% \\
\rho \text{ max,2} &= 2,5\% \\
\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\
&= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \\
\text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
&= \frac{1701,172 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
&= 60,041 \text{ mm} \\
\text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right)
\end{aligned}$$

$$= 1701,172 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{60,041}{2}\right)$$

$$= 500,487 \text{ kNm}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang,  $c$ .

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{60,041}{0,8} = 75,051 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik,  $\varepsilon_s$ .

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{730,5-75,051}{75,051} \times 0,003$$

$$= 0,0261$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,0261 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 2,658$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 500,487 = 450,438 \text{ kNm}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(+)} = 4,0446 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas  $\phi M_n > M_u$

$$450,438 > 4,0446 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\text{As perlu} = \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))}$$

$$= \frac{4,0446}{(420 \times (730,5 - \frac{60,041}{2}))} \times 10^6 = 13,7477 \text{ mm}^2$$

## Perhitungan Tulangan Geser

### 1. Tulangan Tumpuan

#### Gaya Desain

$$V_{g, \text{tumpuan}} = \frac{M_{\text{tumpuan}} + M_{\text{lapangan}}}{L_n}$$

$$= \frac{243,821 + 4,0446}{5300} \times 1000$$

$$\begin{aligned}
 &= 46,7670 \text{ kN} \\
 A_s^+ \text{ Tumpuan} &= 1134,115 \text{ mm}^2 \\
 A_s^- \text{ Tumpuan} &= 1417,644 \text{ mm}^2 \\
 a_{pr}^+ &= 1,25 \times a \\
 &= 1,25 \times 40,027 \\
 &= 50,034 \text{ mm} \\
 a_{pr}^- &= 1,25 \times a \\
 &= 1,25 \times 50,0344 \text{ mm} \\
 &= 62,543 \text{ mm} \\
 M_{pr}^+ &= A_s^+ \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right) \\
 &= 1134,115 \times (1,25 \times 420) \times \left(730,5 - \frac{50,034}{2}\right) \\
 &= 420051735 \text{ Nmm} \\
 M_{pr}^- &= A_s^- \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\
 &= 1417,644 \times (1,25 \times 420) \times \left(730,5 - \frac{62,543}{2}\right) \\
 &= 520409817 \text{ Nmm} \\
 V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= \frac{420051735 + 520409817}{5300} = 117446 \text{ N} \\
 V_e &= V_g + V_{pr} \\
 &= (46,7670 \times 1000) + 117446 = 224213 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### Tahanan Geser Beton

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya geser gempa, } V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= \frac{420051735 + 520409817}{5300} \\
 &= 117446 \text{ N} \\
 \text{Batas setengah gaya geser desain, } \frac{1}{2} \times V_e &= \frac{1}{2} \times 224213 \\
 &= 112106 \text{ N} \\
 P_u &= 215586 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas gaya aksial tekan minimum} &= \frac{A_g \times F_c'}{20} \\
 &= \frac{b \times d \times f_c'}{20} \\
 &= \frac{400 \times 800 \times 35}{20} \\
 &= 560000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pengecekan syarat  $V_c = 0$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 1, } V_{pr} &\geq \frac{1}{2} \times V_e \\
 117446 \text{ N} &\geq 112106 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 2, } P_u &< \frac{A_g \times F_c'}{20} \\
 215586 \text{ N} &< 560000 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan kedua syarat terpenuhi, maka  $V_c = 0$ .

### Penulangan Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang, } A_v &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 1} = \frac{d}{4} = \frac{730,5}{4} = 182,63 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 6d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 3} = 150 \text{ mm}$$

Cek syarat spasi,  $\text{Spasi} \leq (\text{Spasi max 1} : \text{Spasi max 3})$

$$100 \text{ mm} \leq (182,63 : 150) \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang,  $V_s$ .

$$V_s = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} = \frac{314,159 \times 280 \times 730,5}{100} = 642581 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 = 1140928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser nominal penampang,  $V_n$ .

$$V_n = V_c + V_s = 0 + 642581 = 642581 \text{ N}$$

Gaya geser ulmitit,  $V_u = 224213 \text{ N}$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 642581}{224213} = 2,149$$

Cek kapasitas  $\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 = 2,149 \geq 1$  (**MEMENUHI**)

## 2. Tulangan Lapangan

### Penulangan Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang, } A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\text{Spasi max} = \frac{d}{2} = \frac{730,5}{2} = 365,25 \text{ mm}$$

Cek syarat spasi,  $\text{Spasi} \leq \text{Spasi max}$

$$150 \text{ mm} \leq 365,25 \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang,  $V_s$ .

$$V_s = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} = \frac{235,619 \times 280 \times 730,5}{150} = 321291 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 = 1140928 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\ &= 293875 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser nominal penampang,  $V_n$ .

$$V_n = V_c + V_s = 293875 + 321291 = 615166 \text{ N}$$

Gaya geser ulmitit,  $V_u = 130432 \text{ N}$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 615166}{130432} = 3,537$$

Cek kapasitas  $\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 = 3,537 \geq 1$  (**MEMENUHI**)

**Perhitungan Tulangan Torsi**

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \times h &= 400 \times 800 \\
 &&= 320000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2 \times (b+h) &= 2 \times (400 + 800) \\
 &&= 2400 \text{ mm} \\
 X_0 &= b - 2c_c - d_s &= 400 - 2(50) - 10 \\
 &&= 290 \text{ mm} \\
 Y_0 &= h - 2c_c - d_s &= 800 - 2(50) - 10 \\
 &&= 690 \text{ mm} \\
 A_{oh} &= X_0 \times Y_0 &= 290 \times 690 \\
 &&= 200100 \text{ mm}^2 \\
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} &= 0,85 \times 200100 \\
 &&= 170085 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 \times (X_0 + Y_0) &= 2 \times (290 + 690) \\
 &&= 1960 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**Gaya Dalam dari SAP2000**

$$T_u = 59,0959 \text{ kNm}$$

**Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi**

Momen torsi retak nominal,  $T_{cr}$ .

$$\begin{aligned}
 T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
 &= 0,33 \times \sqrt{35} \times \frac{320000^2}{2400} = 83298403 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\frac{\phi \times T_{cr}}{4} = \frac{0,75 \times 83298403}{4} = 15618451 \text{ Nmm}$$

Cek apakah perlu tulangan torsi atau tidak.

$$T_u > \frac{\phi \times T_{cr}}{4}$$

83481800 > 15618451 Nmm (**MEMBUTUHKAN TULANGAN TORSI**)

**Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang**

Jenis torsi = Kompabilitas

$$T_u \text{ Pakai} = \phi T_{cr} \text{ atau } T_u = 59095900 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 224213 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 = 293875 \text{ N}$$

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi  $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2}$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{224213}{400 \times 730,5}\right)^2 + \left(\frac{59095900 \times 1960}{1,7 \times 200100^2}\right)^2}$$

$$= 1,867 \text{ MPa}$$

$$\text{Kapabilitas tegangan beton} = \phi \left[ \frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'c'} \right]$$

$$= 0,75 \left[ \frac{293875}{400 \times 730,5} + 0,66 \times \sqrt{35} \right] = 3,683 \text{ MPa}$$

Cek dimensi penampang

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi < Kapabilitas tegangan beton.  $1,996 < 3,683 \text{ MPa}$  (**MEMENUHI**).

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1  $\theta$  diambil untuk balok komponen struktur non prategang =  $45^\circ$

### Penulangan Transversal Torsi

$$n \text{ kaki tumpuan} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ kaki lapangan} = 3 \text{ buah}$$

$$s \text{ tumpuan} = 100 \text{ mm}$$

$$s \text{ lapangan} = 150 \text{ mm}$$

$$s \text{ max 1} = \frac{P_h}{8} = \frac{1960}{8} = 245 \text{ mm}$$

$$s \text{ max 2} = 300 \text{ mm}$$

Pengecekan spasi tumpuan,  $s \text{ tumpuan} \geq (s \text{ max 1} : s \text{ max 2})$ .

$$100 \geq (245:300) \text{ mm} \text{ (**MEMENUHI**)}$$

Pengecekan spasi lapangan,  $s \text{ lapangan} \geq (s \text{ max 1} : s \text{ max 2})$ .

$$150 \geq (245:300) \text{ mm} \text{ (**MEMENUHI**)}$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang,  $\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}}$ .

$$\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{100} = 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang,  $\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}}$ .

$$\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} = \frac{3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{150} = 1,571 \text{ mm}^2/\text{mm}.$$

Kebutuhan luas sengkang torsi per satuan jarak,  $\frac{A_t}{s}$ .

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yv}} = \frac{59095900}{2 \times 0,75 \times 170085 \times 280} = 0,827 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s \text{ tumpuan perlu}} = \frac{\left( \frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c \right)}{f_{yv} \times d} = \frac{\left( \frac{224213}{0,75} - 0 \right)}{280 \times 730,5} = 1,462 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s \text{ lapangan perlu}} = \frac{\left( \frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \right)}{f_{yv} \times d} = \frac{\left( \frac{130432}{0,75} - 293875 \right)}{280 \times 730,5} = -0,587 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}} = 2 \left( \frac{A_t}{s} \right) + \frac{A_v}{s} = 2 (0,827) + 1,462 = 3,116$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}} &= 2 \left( \frac{A_t}{s} \right) + \frac{A_v}{s} = 2 (0,827) + (-0,587) \\ &= 1,068 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 1} = 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} = 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{280} = 0,524$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 2} = 0,35 \times \frac{b}{f_{yv}} = 0,35 \times \frac{400}{280} = 0,5$$

Cek geser + torsi tumpuan

$$\begin{aligned} &= \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 1}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 2} \\ &= 3,142 \geq 3,116; 0,524; 0,5 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Cek geser + torsi lapangan

$$\begin{aligned} &= \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 1}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 2} \\ &= 1,571 \geq 1,068; 0,524; 0,5 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

### Penulangan Longitudinal Torsi

$$\text{dbt} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{db, min} = 0,042 \times s = 0,042 \times 150 = 6,3 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat db} = \text{db} \geq \text{db, min} (13 \geq 6,3 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}$$

$$\text{As perlu tumpuan atas} = 822,878 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu tumpuan bawah} = 503,809 \text{ mm}^2$$

As perlu lapangan atas = 6,590mm<sup>2</sup>

As perlu lapangan bawah = 13,748 mm<sup>2</sup>

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_h = 0,827 \times 1960 = 161,430 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= 0,42 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \\ &= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{320000}{420} - (0,827) \times 1960 = 271,716 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A<sub>s</sub> + A<sub>l</sub> Perlu Tumpuan = 2948,116 mm<sup>2</sup>

A<sub>s</sub> + A<sub>l</sub> Perlu Lapangan = 1641,767 mm<sup>2</sup>

n tumpuan atas = 5 buah

n tumpuan tengah = 4 buah

n tumpuan bawah = 4 buah

n tumpuan vertikal = 2 + n Tengah / 2 = 4 buah

n lapangan atas = 5 buah

n lapangan tengah = 4 buah

n lapangan bawah = 6 buha

n lapangan vertikal = 2 + n Tengah / 2 = 4 buah

$$\begin{aligned} \text{Spasi horizontal tumpuan} &= \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{4-1} = 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi vertikal tumpuan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\ &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} = 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi horizontal lapangan} &= \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{5-1} = 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi vertikal lapangan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\ &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} = 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan.

Spasi horizontal, vertikal ≥ 300 mm

87 dan 220 ≥ 300 mm (**MEMENUHI**)

### Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan

Spasi horizontal, vertikal  $\geq 300$  mm

65 dan 220  $\geq 300$  mm (**MEMENUHI**)

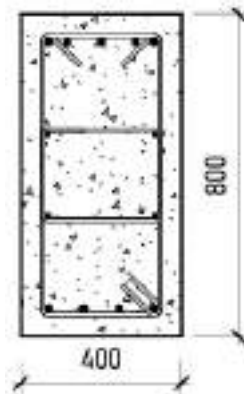
$$A_s + A_l \text{ pasang tumpuan} = ((n \text{ tumpuan atas} + n \text{ tumpuan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + (n \text{ tumpuan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times db^2) = 3082,688 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ pasang lapangan} = ((n \text{ lapangan atas} + n \text{ lapangan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + (n \text{ lapangan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times db^2) = 3649,745 \text{ mm}^2$$

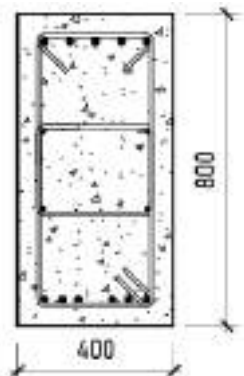
$$\begin{aligned} \text{Cek lentur + torsi tumpuan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\ &= 3082,688 \geq 2948,116 \text{ mm}^2 \text{ MEMENUHI} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek lentur + torsi lapangan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\ &= 3649,745 \geq 1641,767 \text{ mm}^2 \text{ MEMENUHI} \end{aligned}$$

Berikut merupakan detail dari penulangan dari struktur balok B1 dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14.



**Gambar 4.15** Detail B1 Tumpuan



**Gambar 4.16** Detail B1 Lapangan

Berikut merupakan hasil rekapitulasi struktur balok dapat dilihat pada tabel 4.23.

**Tabel 4.27** Hasil Analisa Struktur Balok

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Tengah	Bawah	
<b>B1</b> 400 x 800	Tumpuan	5 D 19	4 D 13	4 D 19	4Ø10-100
	Lapangan	5 D 19	4 D 13	6 D 19	3Ø10-150
<b>B2</b> 350 x 700	Tumpuan	4 D 19	4 D 13	3 D 19	4Ø10-100
	Lapangan	4 D 19	4 D 13	5 D 19	2Ø10-150
<b>B3</b> 250 x 500	Tumpuan	4 D 13	4 D 13	3 D 13	2Ø10-50
	Lapangan	3 D 13	4 D 13	4 D 13	2Ø10-150
<b>B5</b> 200 x 400	Tumpuan	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2Ø10-50
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2Ø10-75

Berikut merupakan hasil perhitungan dari plat lantai  $t = 12$  cm.

#### Data Dimensi dan Material

Panjang plat arah sumbu 1	L1	= 6000 mm
Panjang plat arah sumbu 2	L2	= 6000 mm
Tebal plat	t	= 120 mm
Diamater tulangan	db	= 14 mm
Selimut bersih	cc	= 20 mm
Tebal efektif penampang	d	= $h - c_c - d_s - d_b/2$ = 79 mm
Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan	fy	= 420 MPa
Modulus elastisitas beton	Ec	= 27805,575

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3. untuk  $28 < f_c' < 55$  maka,  $\beta_1$  yaitu

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c' - 28)}{7}$$

$$= 0,8$$

#### Gaya Dalam

M max akibat M11 max	= 8,9467 kNm
M min akibat M11 min	= -24,0238 kNm
M max akibat M22 max	= 9,3542 kNm

$$M \text{ min akibat M22 min} = -20,4015 \text{ kNm}$$

$$V_u = 65,02 \text{ kN}$$

### Penulangan Lentur Per Meter Lari

#### Momen Positif M11 Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X

$$\text{Spasi tulangan} \quad s = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \quad s_{\text{max}} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek spasi maksimum} &= s \leq s_{\text{max}} \\ &= 200 \leq 240 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan negatif tumpuan, } n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal} \quad d_b = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak bersih antar tulangan} = s - d_b = 200 - 14 = 186 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih

Jarak bersih  $\geq d_b$  dan 25 mm

$$186 \geq 14 \text{ dan } 25 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 769,6902 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{min}} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% \times b \times t \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka untuk As}_{\text{min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$$

Cek as min

$$\text{As pasang} \geq \text{As}_{\text{min}}$$

$$769,6902 \geq (240; 216; 168) \text{ (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton} \quad a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{769,6902 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 10,8662 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas lentur	$M_n$	$= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$ $= 769,6902 \times 420 \times (79 - \frac{10,8662}{2})$ $= 23,781 \text{ kNm}$
Lokasi garis netral	$c$	$= \frac{a}{\beta_1}$ $= \frac{10,8662}{0,8} = 13,583 \text{ mm}$
Regangan tulangan tarik	$\epsilon_s$	$= (\frac{d-c}{c}) \times 0,003$ $= (\frac{79-13,583}{13,583}) \times 0,003$ $= 0,0144$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai  $\phi = 0,9$ .

Kapasitas lentur tereduksi	$\phi M_n$	$= \phi \times M_n$ $= 0,9 \times 23,781 = 21,403 \text{ kNm}$
----------------------------	------------	---

Momen ultimit	$M_u$	$= 8,9467 \text{ kNm}$
---------------	-------	------------------------

Cek kapasitas	$\phi M_n > M_u$ $21,403 > 8,9467 \text{ kNm}$ <b>(MEMENUHI)</b>
---------------	---

### **Momen Positif M11 Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X**

Spasi tulangan	$s$	$= 150 \text{ mm}$
Spasi maksimum	$s_{\max}$	$= 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$
Cek spasi maksimum		$= s \leq s_{\max}$ $= 150 \leq 240 \text{ mm}$ <b>(MEMENUHI)</b>
Jumlah tulangan negatif tumpuan,	$n$	$= \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = 6,6667$
Diameter tulangan longitudinal	$db$	$= 14 \text{ mm}$
Jarak bersih antar tulangan		$= s - db = 150 - 14 = 136 \text{ mm}$
Cek jarak bersih		

Jarak bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$136 \geq 14$  dan 25 mm (**MEMENUHI**)

Jumlah lapis = 2

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= x \frac{\pi}{4} x db^2 \\ &= 6,667 x \frac{\pi}{4} x 14^2 = 1026,2536 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% x b x t \\ &= 0,2\% x 1000 x 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= (0,18\% x \frac{420}{f_y}) x b x t \\ &= (0,18\% x \frac{420}{420}) x 1000 x 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% x b x t \\ &= 0,14\% x 1000 x 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka untuk  $\text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$

Cek as min

$\text{As}_{\text{pasang}} \geq \text{As}_{\min}$

$1026,2536 \geq (240;216;168)$  (**MEMENUHI**)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton} \quad a &= \frac{\text{As} x f_y}{0,85 x f_c' x b} \\ &= \frac{1026,2536 x 420}{0,85 x 420 x 1000} = 14,488 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur} \quad M_n &= \text{As} x f_y x (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1026,2536 x 420 x (79 - \frac{10,8662}{2}) \\ &= 30,9286 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral} \quad c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{14,488}{0,8} = 18,110 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} \quad \epsilon_s &= \left( \frac{d-c}{c} \right) x 0,003 \\ &= \left( \frac{79-18,110}{18,110} \right) x 0,003 \\ &= 0,010086 \end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas lentur tereduksi} \quad \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 30,9286 = 27,835 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\text{Momen ultimit} \quad M_u = 24,0238 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek kapasitas} \quad \phi M_n &> M_u \\ 27,835 &> 24,0238 \text{ kNm (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

### **Momen Positif M22 Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y**

$$\text{Spasi tulangan} \quad s = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \quad s_{\max} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek spasi maksimum} \quad &= s \leq s_{\max} \\ &= 200 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan negatif tumpuan,} \quad n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal} \quad d_b = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak bersih antar tulangan} \quad = s - d_b = 200 - 14 = 186 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih

Jarak bersih  $\geq d_b$  dan 25 mm

$$186 \geq 14 \text{ dan } 25 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

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

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 769,6902 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t$$

$$= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm}$$

$A_s \text{ min (} f_y \geq 420 \text{ MPa)}$

$$= 0,14\% \times b \times t$$

$$= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm}$$

Maka untuk  $A_s \text{ min (} f_y \geq 420 \text{ MPa)}$  = 216 mm

Cek as min

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min}$

769,6902  $\geq$  (240;216;168) **(MEMENUHI)**

Tinggi blok beton

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{769,6902 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 10,8662 \text{ mm}$$

Kapasitas lentur

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - d_b - \frac{a}{2})$$

$$= 769,6902 \times 420 \times (79 - 14 - \frac{10,8662}{2})$$

$$= 19,256 \text{ kNm}$$

Lokasi garis netral

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{10,8662}{0,8} = 13,583 \text{ mm}$$

Regangan tulangan tarik

$$\epsilon_s = \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 0,003$$

$$= \left(\frac{79-13,583}{13,583}\right) \times 0,003$$

$$= 0,0144$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 3,1816$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai

$\phi = 0,9$ .

Kapasitas lentur tereduksi

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 19,256 = 17,330 \text{ kNm}$$

Momen ultimit

$$M_u = 9,3542 \text{ kNm}$$

Cek kapasitas

$$\phi M_n > M_u$$

$$17,330 > 9,3542 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

### Momen Positif M22 Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan} \quad s &= 150 \text{ mm} \\ \text{Spasi maksimum} \quad s_{\max} &= 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm} \\ \text{Cek spasi maksimum} &= s \leq s_{\max} \\ &= 150 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan negatif tumpuan, } n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = 6,6667$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal } db = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak bersih antar tulangan} = s - db = 150 - 14 = 136 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih

Jarak bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$136 \geq 14 \text{ dan } 25 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

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

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 6,667 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 1026,2536 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% \times b \times t \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka untuk } \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$$

Cek as min

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As}_{\min} \\ 1026,2536 &\geq (240; 216; 168) \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1026,2536 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 14,488 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas lentur } Mn = As \times f_y \times \left(d - db - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 1026,2536 \times 420 \times \left(79 - 14 - \frac{10,8662}{2}\right)$$

$$= 24,894 \text{ kNm}$$

Lokasi garis netral  $c = \frac{a}{\beta_1}$

$$= \frac{14,488}{0,8} = 18,110 \text{ mm}$$

Regangan tulangan tarik  $\epsilon_s = \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 0,003$

$$= \left(\frac{79-18,110}{18,110}\right) \times 0,003$$

$$= 0,010086$$

Fakto reduksi kekuatan,  $\phi$ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 3,1816$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk  $0,65 \leq \phi \leq 0,9$  maka memakai  $\phi = 0,9$ .

Kapasitas lentur tereduksi  $\phi M_n = \phi \times M_n$

$$= 0,9 \times 24,894 = 22,4048 \text{ kNm}$$

Momen ultimit  $M_u = 20,4015 \text{ kNm}$

Cek kapasitas  $\phi M_n > M_u$

$$22,4048 > 20,4015 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

### **Tulangan Minimum (Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)**

Spasi tulangan  $s = 200 \text{ mm}$

Spasi maksimum  $s_{\max} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$

Cek spasi maksimum  $s \leq s_{\max}$

$$= 200 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

Jumlah tulangan negatif tumpuan,  $n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$

Diameter tulangan longitudinal  $db = 14 \text{ mm}$

Jarak bersih antar tulangan  $= s - db = 200 - 14 = 186 \text{ mm}$

Cek jarak bersih

Jarak bersih  $\geq db$  dan  $25 \text{ mm}$

$186 \geq 14$  dan  $25$  mm (**MEMENUHI**)

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

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 769,6902 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% \times b \times t \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka untuk As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$$

Cek as min

$$\text{As pasang} \geq \text{As min}$$

$$769,6902 \geq (240; 216; 168) \text{ (**MEMENUHI**)}$$

### **Pengecekan Kapasitas Geser**

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas geser beton } V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 79 = 79,453 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi } \phi = 0,75$$

$$\text{Ambang batas geser plat} = 0,5 \phi V_c = 29,795 \text{ kN}$$

Pengecekan kebutuhan tulangan geser pelat

$$V_u > 0,5 \phi V_c$$

$$65,01 > 29,795 \text{ kN **MEMERLUKAN TULANGAN GESER PELAT**}$$

### **Lendutan Plat**

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia plat } I_g &= 0,5 \times b \times t^3 \\ &= 864000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan retak } f_r &= 0,62 \times \sqrt{f'c'} \\ &= 0,62 \times \sqrt{35} = 3,667 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Garis netral } y = \frac{t}{2} = 60 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas retak lentur} \quad M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y} \\
 &= 3,667 \times \frac{864000000}{60} \\
 &= 52,518 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia retak} \quad I_{cr} = 0,25 \times I_g$$

### **Lendutan arah sumbu 1**

$$M_{11} \text{ max akibat DL} = 3,8685 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ min akibat DL} = -7,7981 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ max akibat SDL} = 2,7608 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ min akibat SDL} = -8,2756 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ max akibat LL} = 1,134 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ min akibat LL} = -2,2467 \text{ kNm}$$

$$M_a \text{ lapangan (+)} \quad \sum M_{11} \text{ max} = 7,7633 \text{ kNm}$$

$$M_a \text{ tumpuan (-)} \quad \sum M_{11} \text{ min} = -2,2467 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} / M_a \text{ lapangan} = 6,893$$

$$M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} = 2,88$$

$$\begin{aligned}
 I_e \text{ lapangan} &= \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \\
 &= 864000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_e \text{ tumpuan} &= \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \\
 &= 864000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 I_e \text{ tumpuan} + 0,5 I_e \text{ lapangan} \\
 &= 864000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan seketika akibat DL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
 &= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [3,8685 + \\
 &\quad 0,2(7,7981)] \\
 &= 0,847 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan seketika akibat SDL, } \delta_{i, DL} = \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}]$$

$$= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [2,7608 + 0,2(8,2756)]$$

$$= 0,689 \text{ mm}$$

Lendutan seketika akibat LL,  $\delta_{i, DL}$   $= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}]$

$$= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [1,134 + 0,2(2,2467)]$$

$$= 0,247 \text{ mm}$$

Syarat lendutan seketika LL  $= \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm}$

Cek lendutan seketika

Lendutan seketika akibat LL,  $\delta_{i, DL}$   $<$  Syarat lendutan seketika LL

0,247 mm  $<$  16,667 mm (**MEMENUHI**)

Faktor jangka panjang  $\lambda = \frac{2}{(1+(50 \times \rho'))}$

$$= \frac{2}{1+(50 \times (\frac{769,6902}{1000 \times 79}))} = 1,344$$

Lendutan Jangka Panjang,  $\Delta_{LT} = (\delta_{i, DL} + SIDL) \times \lambda + \delta_{i, LL}$

$$= (0,847 + 0,689) \times 1,344 + 0,247$$

$$= 2,31$$

Syarat lendutan jangka panjang  $= \frac{L}{240} = 25 \text{ mm}$

Cek lendutan jangka panjang

Lendutan Jangka Panjang,  $\Delta_{LT} \leq$  Syarat lendutan jangka panjang

2,31  $\leq$  25 mm (**MEMENUHI**)

**Lendutan arah sumbu 2**

M22 max akibat DL  $= 3,193 \text{ kNm}$

M22 min akibat DL  $= -7,783 \text{ kNm}$

M22 max akibat SDL  $= 3,487 \text{ kNm}$

M22 min akibat SDL  $= -6,277 \text{ kNm}$

M22 max akibat LL  $= 0,864 \text{ kNm}$

M22 min akibat LL  $= -2,574 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}
M_a \text{ lapangan (+)} \quad \Sigma M_{22} \text{ max} &= 7,544 \text{ kNm} \\
M_a \text{ tumpuan (-)} \quad \Sigma M_{22} \text{ min} &= -16,63 \text{ kNm} \\
M_{cr} / M_a \text{ lapangan} &= 7,001 \\
M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} &= 3,175 \\
I_e \text{ lapangan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} < I_g \\
&= 864000000 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} < I_g \\
&= 864000000 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 I_e \text{ tumpuan} + 0,5 I_e \text{ lapangan} \\
&= 864000000 \text{ mm}^4 \\
\text{Lendutan seketika akibat DL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [3,193 + \\
&\quad 0,2(7,7839)] \\
&= 0,741 \text{ mm} \\
\text{Lendutan seketika akibat SDL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [3,487 + \\
&\quad 0,2(6,277)] \\
&= 0,740 \text{ mm} \\
\text{Lendutan seketika akibat LL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [0,864 + \\
&\quad 0,2(2,574)] \\
&= 0,215 \text{ mm} \\
\text{Syarat lendutan seketika LL} &= \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm} \\
\text{Cek lendutan seketika} & \\
\text{Lendutan seketika akibat LL, } \delta_{i, DL} &< \text{Syarat lendutan seketika LL} \\
0,215 \text{ mm} &< 16,667 \text{ mm (MEMENUHI)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor jangka panjang } \lambda &= \frac{2}{(1 + (50 \times \rho'))} \\ &= \frac{2}{1 + (50 \times (\frac{769,6902}{1000 \times 79}))} = 1,344 \\ \text{Lendutan Jangka Panjang, } \Delta_{LT} &= (\delta_{i, DL} + \text{SIDL}) \times \lambda + \delta_{i, LL} \\ &= (0,741 + 0,740) \times 1,344 + 0,215 = 2,207 \\ \text{Syarat lendutan jangka panjang} &= \frac{L}{240} = 25 \text{ mm} \\ \text{Cek lendutan jangka panjang} & \\ \text{Lendutan Jangka Panjang, } \Delta_{LT} &\leq \text{Syarat lendutan jangka panjang} \\ 2,207 &\leq 25 \text{ mm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$



**Gambar 4.17** Struktur Plat

**Tabel 4.28** Hasil Analisa Struktur Plat

Jenis Plat	Posisi	Penulangan
<b>Plat t = 150 mm</b>	Tulangan lapangan bawah arah x	D14-250
	Tulangan tumpuan atas arah x	D14-250
	Tulangan lapangan bawah arah y	D14-250
	Tulangan tumpuan atas arah y	D14-250
<b>Plat t = 120 mm</b>	Tulangan lapangan bawah arah x	D14-150
	Tulangan tumpuan atas arah x	D14-150
	Tulangan lapangan bawah arah y	D14-150
	Tulangan tumpuan atas arah y	D14-150
<b>Plat atap</b>	Tulangan lapangan bawah arah x	D14-100
	Tulangan tumpuan atas arah x	D14-100
	Tulangan lapangan bawah arah y	D14-100
	Tulangan tumpuan atas arah y	D14-80

Berikut merupakan perhitungan dari tangga utama.

### 1. Data Bahan Tangga

$$\text{Mutu beton } f_c' = 35 \text{ MPa}$$

Kuat leleh baja tulangan polos $f_y$	= 420 MPa
Kuat leleh baja tulangan <i>deform</i> $f_y$	= 420 MPa
Berat beton bertulang $W_c$	= 24 kN/m <sup>3</sup>
Berat pasir	= 16 kN/m <sup>3</sup>
Berat semen	= 21 kN/m <sup>3</sup>
Berat keramik	= 24 kN/m <sup>3</sup>
Berat <i>railing</i> tangga	= 0,5 kN/m <sup>3</sup>

## 2. Data Perencanaan Desain

Fungsi bangunan	= Gedung sekolah
Tinggi tangga keseluruhan	= 4 m
Panjang ruang tangga	= 6 m
Lebar anak tangga	= 3,6 m
Lebar bordes	= 2,4 m
Ketinggian bordes	= 2 m
Langkah datar 30 cm $L_d$	= 0,3 m
Langkah naik 16 cm $L_n$	= 0,16 m
Beban hidup	= 2,5 kN/m <sup>2</sup>
Lebar tangga 1 trap	= 1,2 m
Cek syarat	$57 < 2 L_n + L_d = 0,62 \text{ m} = 62 \text{ cm} < 65$ ( <b>MEMENUHI</b> )

$$\text{Jumlah langkah naik} = \frac{h}{L_n} = \frac{4}{16} = 25 \text{ bh}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar bordes } b_o &= \text{Panjang ruang tangga} - 12 \times \text{langkah datar} \\ &= 6 - 12 \times 0,3 = 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Kemiringan tangga} = \tan \alpha \times \frac{\text{langkah naik}}{\text{langkah datar}}$$

$$\alpha = 28,1$$

$$\text{Tebal plat bordes} = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

### Pembebanan struktur tangga

Tinggi beban merata tangga

$$t' = \frac{0,5 \times L_n \times L_d}{\sqrt{L_n^2 + A^2}} = 7,06 \text{ cm}$$

$$h = \frac{\text{Jumlah naik}}{2} + t' = 12,5 + 7,06 = 19,56 \text{ cm}$$

$$h' = \frac{tb}{\cos \alpha} + \frac{Ln}{2} = 21,6 \text{ cm} = 0,126 \text{ m}$$

### 1. Beban mati (DL)

#### **Beban mati pada plat bordes**

Berat lapisan pasir	3 cm	= 0,03 x 16 = 0,48 kN/m <sup>2</sup>
Berat lapisan spasi	3 cm	= 0,03 x 21 = 0,63 kN/m <sup>2</sup>
Berat sendiri plat	12 cm	= 0,12 x 24 = 2,88 kN/m <sup>2</sup>
Berat penutup lantai	1 cm	= 0,01 x 24 = 0,24 kN/m <sup>2</sup>
Berat <i>railing</i> tangga	360 cm	= 3,6 x 0,5 = 1,80 kN/m <sup>2</sup>

**Jumlah beban mati pada plat bordes = 6,03 kN/m<sup>2</sup>**

#### **Beban mati pada plat tangga**

Berat lapisan pasir	3 cm	= 0,03 x 16	= 0,48 kN/m <sup>2</sup>
Berat trap tangga	21,6 cm	= 0,216 x 24	= 5,18 kN/m <sup>2</sup>
Berat sendiri plat	16 cm	= 0,16 x 24	= 3,84 kN/m <sup>2</sup>
Berat penutup lantai	1 cm	= 0,01 x 24	= 0,24 kN/m <sup>2</sup>
Berat <i>railing</i> tangga	360 cm	= 3,6 x 0,5	= 1,8 kN/m <sup>2</sup>

**Jumlah beban mati pada plat tangga = 11,54 kN/m<sup>2</sup>**

### 2. Beban hidup (LL)

Beban hidup = 2,5 kN/m<sup>2</sup>

### 3. Reaksi tumpuan

$$\begin{aligned} Q_u \text{ tangga} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 17,853 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u \text{ bordes} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 11,236 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### **Penulangan Struktur Tangga**

Momen	Mu	= 12,7 kNm = 12668400 Nmm
Tebal plat tangga	h	= 120 mm
Tebal plat bordes	h	= 120 mm
Selimut beton	p	= 20 mm
Tulangan utama	d	= 13 mm
Lebar tangga	b	= 1000 mm
d efektif		= h - p - 0,5 d

$$= 93,5 \text{ mm}$$

Batasan tulangan

$$\rho_{min} = \frac{0,008f_y}{f_y} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600+420} = 0,0354 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,027$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{12,67}{0,8} = 15,84 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{15,84 \times 10^6}{1000 \times 8464} = 1,811 \text{ Nmm}^2$$

Persamaan

$$R_n = \rho \times f_y \times \left(1 - 0,59\rho \times \frac{f_y}{f_c'}\right)$$

$$1,871 = \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59\rho \times \frac{420}{35}\right)$$

$$1,871 = 420\rho - 2974\rho^2$$

$$0 = 2974\rho^2 - 420\rho + 1,871$$

$$\rho_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\rho_1 = \frac{420 + 393}{5947} = 0,137$$

$$\rho_2 = \frac{420 - 393}{5947} = 0,0046 < 0,0027 = \rho_{max}$$

$$> 0,002 = \rho_{min}$$

Rasio tulangan minimum  $\rho_{min} = 0,0018$

Rasio tulangan yang digunakan  $\rho = 0,0045$

Luas tulangan yang digunakan  $A_s = 416,4 \text{ mm}^2$

Diameter tulangan yang digunakan  $D = 13$

Jarak tulangan yang diperlukan  $s = \frac{1}{4} \pi D^2 \times \frac{b}{A_s}$   
 $= \frac{1}{4} \pi 13^2 \times \frac{1000}{416,4} = 318,8 \text{ mm}$

Dipakai 200 mm lebih efisien

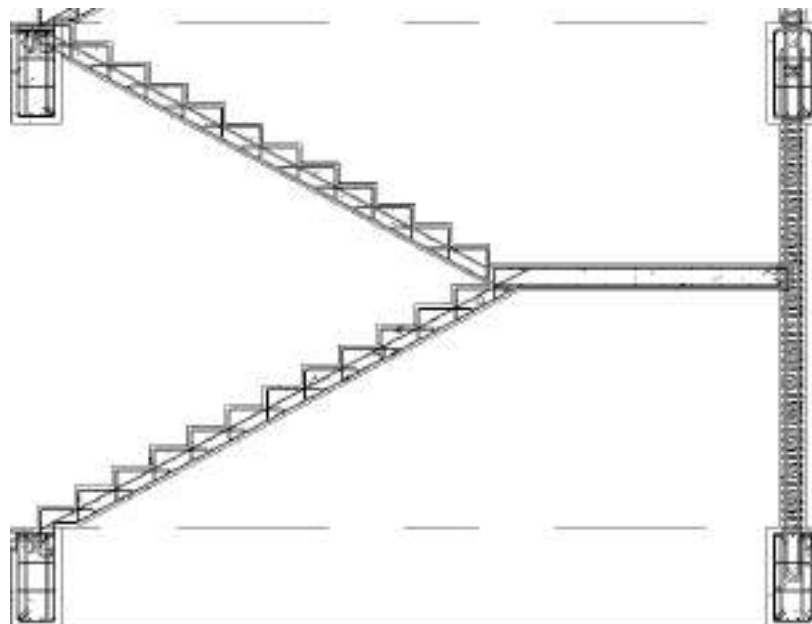
Jarak tulangan maksimum  $s_{max} = 319 \text{ mm}$

Jarak tulangan yang digunakan  $s$  pakai = 200 mm  
 Digunakan tulangan D13-200 mm  
 Luas tulangan yang terpakai  $As'$  = 663,7 mm<sup>2</sup>  
 Cek kontrol  $As' > As$   
 664 > 424 (**MEMENUHI**)

Tulangan bagi harus 20% - 50% dari tulangan pokok

Rasio tulangan minimum  $\rho_{min}$  = 0,0018  
 Rasio tulangan yang digunakan  $\rho$  = 0,0045  
 Persentase tulangan bagi = 50%  
 Luas tulangan yang diperlukan  $As$  = 331,8 mm<sup>2</sup>  
 Diameter tulangan yang digunakan  $D$  = 10  
 Jarak tulangan yang diperlukan  $s$  = 236,7 mm  
 Dipakai 200 mm lebih efisien

Jarak tulangan maksimum  $s_{max}$  = 237 mm  
 Jarak tulangan yang digunakan  $s$  = 200 mm  
 Digunakan tulangan D10-200 mm  
 Luas tulangan yang terpakai  $As'$  = 392,7 mm<sup>2</sup>  
 Cek kontrol  $As' > As$   
 393 > 332 (**MEMENUHI**)



**Gambar 4.18** Struktur Tangga**Tabel 4.29** Hasil Analisa Struktur Tangga Utama

<b>Tangga Utama</b>	
Tinggi Tangga Keseluruhan	4 m
Tebal Plat Tangga	150 mm
Tebal Plat Bordes	150 mm
Lebar Bordes	2,4 m
Ketinggian Bordes Dari Lantai	2 m
Langkah Datar	30 cm
Langkah Naik	16 cm
Selimut Beton	20 mm
Tulangan Pokok	D 12 - 200
Tulangan Bagi	D 10 - 200

**Tabel 4.30** Hasil Analisa Struktur Tangga Darurat

<b>Tangga Darurat</b>	
Tinggi Tangga Keseluruhan	4 m
Tebal Plat Tangga	150 mm
Tebal Plat Bordes	150 mm
Lebar Bordes	2,4 m
Ketinggian Bordes Dari Lantai	2 m
Langkah Datar	30 cm
<b>Tangga Darurat</b>	
Langkah Naik	16 cm
Selimut Beton	20 mm
Tulangan Pokok	D 13 - 200
Tulangan Bagi	D 10 - 200

Berdasarkan data soil test tersebut diketahui bahwa pada kedalaman 30 meter belum mencapai tanah keras, sehingga direncanakan pondasi dengan mengandalkan friction tiang. Kedalaman tanah keras dapat dilihat pada tabel 4.27.

**Tabel 4.31** Kedalaman Tanah Keras

No	Kedalaman	N-SPT	T	Ti / Ni
1	2	5	2	0,400
2	4	4	2	0,500

No	Kedalaman	N-SPT	T	Ti / Ni
3	6	4	2	0,500
4	8	5	2	0,400
5	10	5	2	0,400
6	12	6	2	0,333
7	14	7	2	0,286
8	16	8	2	0,250
9	18	9	2	0,222
10	20	14	2	0,143
11	22	15	2	0,133
12	24	23	2	0,087
13	26	24	2	0,083
14	28	25	2	0,080
15	30	28	2	0,071
<b>Jumlah</b>			<b>30</b>	<b>3,889</b>

### Pengaruh Ujung Tiang

8d = 4,8 m (elevasi 23,2 m)

4d = 2,4 m (elevasi 30,4 m)

N1 = N-SPT rata- rata pada kedalaman 8D diatas tiang

$$= \frac{22,6+23,5+24+25+25}{5}$$

$$= 23,92$$

N2 = N-SPT rata- rata pada kedalaman 4D di bawah tiang

$$= \frac{25+26,5+27}{3}$$

$$= 26,3$$

Nilai SPT rata – rata

$$N = \frac{\sum ti}{\sum \frac{ti}{Ni}} = \frac{30}{3,89} = 7,714 < 15 \text{ (Tanah Lunak)}$$

### Properties *Bore Pile*

Dimensi tiang *bore pile*      D      = 0,6 m

Panjang tiang *bore pile*      L      = 28 m

Kuat tekan beton              fc'      = 35 MPa

Berat beton bertulang	$W_c$	$= 24 \text{ kN/m}^2$
Luas ujung tiang <i>bore pile</i>	$A_b$	$= \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,283 \text{ m}^2$
Luas selimut <i>bore pile</i>	$A_s$	$= \pi D L = 52,78 \text{ m}^2$
Berat tiang <i>bore pile</i>	$W_p$	$= 190 \text{ kN} = 19,37 \text{ ton}$

### Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang

Daya dukung tiang tunggal berdasarkan *Standart Penetration Test* (SPT) menurut *Mayerhoff* 1956 diperoleh rumus berikut:

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

$$Q_{ult} = 40 \times N_b \times A_b + 0,2 \times N \times A_s$$

#### Tahanan ujung ultimit, $Q_b$ .

Digunakan hasil N-SPT disekitar ujung tiang *borepile* ( $N_p$ )

$$\begin{aligned} 8d \text{ atas tiang } N_1 &= 23,9 \\ 4d \text{ bawah tiang } N_2 &= 26,3 \\ \text{Rata - rata } N_b &= 25,11 \\ Q_b &= 40 \times A_b \times N_b \\ &= 40 \times 0,283 \times 25,1 \\ &= 284 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Tahanan geser Ultimit, $Q_s$ .

Tiang pancang beton bertulang pejal = Tiang perpindahan besar

N-SPT rata – rata sepanjang tiang = N rata – rata

$$Q_s = q_s \times A_s$$

Untuk tanah lempung  $Q_s = 0,2 \times N_r$

$$\begin{aligned} N_r &= \frac{154}{14} \\ &= 11 \\ Q_s &= 0,2 \times N_r \times A_s \\ &= 0,2 \times 11 \times 52,8 \\ &= 116 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Cek kekuatan bahan

Tegangan izin beton yaitu  $0,25 - 0,33 F_c$ , maka diambil  $0,25$ .

$$\begin{aligned} P_{\text{tiang}} &= \sigma_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}} \\ &= 89,22375 \times 2827 \\ &= 252274 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$= 252 \text{ ton}$$

### Daya dukung ultimit dan Q ijin

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_b + Q_s \\ &= 284 + 116,11 \\ &= 400 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= Q_{all} - W_p \\ &= 160 - 19,4 = 141 \end{aligned}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } Q_{ijin} &< P_{tiang} \\ 141 &< 252 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

### Daya Dukung Pondasi Raft

Kedalaman pondasi dari permukaan tanah	Df	= 1 m
Sudut geser tanah		= 14,9 < 20
Kohesi	c	= 29,5 kPa
Berat isi tanah	$\gamma$	= 16,8 kN/m <sup>3</sup>
Lebar <i>raft</i>		= 7 m

Rumus *terzaghi* yang digunakan yaitu lokal.

$$\begin{aligned} \text{Diperoleh nilai } N^{\circ}c &= 9,67 \\ N^{\circ}q &= 2,73 \\ N^{\circ}y &= 0,57 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung bujung sangkar (lokal).

$$\begin{aligned} q_u &= 1,3 \times c \times N^{\circ}c + \gamma \times D_f \times N^{\circ}q + 0,4 \gamma \times B \times N^{\circ}y \\ &= 1,3 \times 29,7 \times 10 + 17 \times 1 \times 2,73 + 0,4 \times 17 \times 7 \times 1 \\ &= 320 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$SF = 3$$

$$Q_{ijin} = 107 \text{ kN/m}^2 = 11 \text{ ton}$$

### Analisis penurunan (*settlement*)

#### Menghitung nilai N koreksi

##### 1. Koreksi terhadap muka air tanah

Berdasarkan Bazara (1967)

$$N_1 = 0,6N = 0,6 \times 15 = 9$$

Berdasarkan Terizaghi

$$\begin{aligned}
 N1 &= 15 + 0,5 (N - 15) \\
 &= 15 + 0,5 (15 - 15) \\
 &= 15
 \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil maka  $N1b = 9$

Mencari nilai  $p_o$  atau tekanan tanah vertikal efektif pada lapisan yang ditinjau.

MAT berdasarkan *soil test* di kedalaman 1,5 m.

Berat isi tanah ( $\gamma_b$ )

$$TB-1 = 1,68 \text{ t/m}^3$$

$$TB-2 = 1,79 \text{ t/m}^3$$

$$TB-3 = 1,8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,76 \text{ t/m}^3$$

Lapisan di atas MAT (0-1,5 m)

Digunakan berat isi basah  $\gamma_b$  yaitu

$$\sigma_1 = 1,5 \times 1,7 = 2,52 \text{ t/m}^2$$

Lapisan di bawah MAT (1,5 – 28m)

Digunakan berat isi efektif  $\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,757 - 1 = 0,757 \text{ t/m}^3$$

$$\sigma_2 = 26,5 \times 0,8 = 20,07 \text{ t/m}^2$$

## 2. Koreksi terhadap *overburden pressure* dari tanah

$$N2 = \frac{4N1}{1+0,4p_o} \quad \text{bila } p_o < 7,5 \text{ t/m}^2$$

$$N2 = \frac{4N1}{3,24+0,1p_o} \quad \text{bila } p_o > 7,5 \text{ t/m}^2$$

$$P_o = 22,6 > 7,5 \text{ t/m}^2$$

Maka digunakan rumus nilai  $N2$  yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N2 &= \frac{4N1}{3,24+0,1p_o} \\
 &= \frac{4 \times 9}{3,24+0,1 \times 22,59} = 6,55
 \end{aligned}$$

Dihitung untuk mengetahui penurunan tanah yang terjadi akibat adanya konsolidasi oleh timbunan dan beban di atasnya.

Diperoleh data dari *soil test*:

$$C_c = 0,24$$

$$e_o = 1,21$$

$$\Delta P = 5 \text{ (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_c \times H}{1+e_o} \text{Log} \frac{P_o \times \Delta P}{P_o} \\ &= \frac{0,24 \times 28}{1+1} \text{Log} \frac{23 \times 5}{23} = 0,26 \text{ m} = 26,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

### Efisiensi Kelompok Tiang

#### Spasi tiang *bore pile*, As ke As tiang

$$\text{Syarat} \quad 2,5 D \leq s \leq 3 D$$

$$1,5 \leq s \leq 1,8$$

Digunakan nilai  $s = 1,6 \text{ m}$  (**MEMENUHI**)

#### Spasi As ke tepi *pile cap*

$$\text{Syarat} \quad 1,5 D \leq s \leq 2 D$$

$$0,9 \leq s \leq 1,2$$

Digunakan nilai  $s = 1 \text{ m}$  (**MEMENUHI**)

Diambil salah satu nilai beban pada P1 adalah 150,24 ton, maka :

$$N_p = \frac{P_1}{Q_{tiang}} = \frac{150,24}{160} = 1,07 \text{ bh. diambil 2 buah } pile$$

$$\text{Jumlah baris tiang} = 1$$

$$\text{Jumlah tiang dalam 1 baris} = 2$$

Efisiensi kelompok tiang

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \right) \\ &= 1 - 20,56 \left( \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right) \\ &= 0,886 \\ &= 89\% \end{aligned}$$

### Cek daya dukung kelompok tiang

$$Q = E_g \times n \times Q_{all}$$

$$= 0,886 \times 2 \times 141$$

$$= 249,214$$

$$\text{Syarat} \quad P < Q$$

$$150,24 < 249,214 \text{ (**MEMENUHI**)}$$

**Tabel 4.32** Rekapitulasi Desain Kebutuhan Tiang Pondasi

No	Titik kolom	P ton	Kebutuhan tiang bh	Total tiang per kelompok bh	m bh	n bh	Efisiensi kelompok tiang	Daya dukung kelompok	Ket.
<b>KOLOM UTAMA</b>									
1	711	123,40	0,88	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
2	710	133,54	0,95	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
3	709	138,43	0,98	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
4	708	150,24	1,07	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
5	707	109,42	0,78	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
6	715	172,15	1,22	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
7	253	163,42	1,16	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
8	256	171,40	1,22	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
9	712	181,02	1,29	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
10	743	130,71	0,93	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
11	719	170,15	1,21	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
12	257	163,35	1,16	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
13	282	173,20	1,23	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
14	716	454,18	3,23	5,00	3	2	0,749	526,647	Aman
15	745	632,18	4,49	7,00	4	2	0,723	711,602	Aman
16	723	167,71	1,19	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
17	722	164,99	1,17	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
18	721	173,60	1,23	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
19	720	351,07	2,50	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
20	747	450,48	3,20	5,00	3	2	0,749	526,647	Aman
21	732	379,03	2,69	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
22	730	164,47	1,17	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
23	728	175,04	1,24	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
24	724	181,81	1,29	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
25	755	167,73	1,19	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
26	741	442,01	3,14	5,00	3	2	0,749	526,647	Aman
27	739	365,55	2,60	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
28	736	152,56	1,08	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
29	734	140,95	1,00	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman

No	Titik kolom	P ton	Kebutuhan tiang bh	Total tiang per kelompok bh	m bh	n bh	Efisiensi kelompok tiang	Daya dukung kelompok	Ket.
30	757	134,96	0,96	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
<b>KOLOM LIFT DAN SHEARWALL</b>									
31	97	264,57	1,65	3,00	2	2	0,810	341,692	Aman
32	372	401,00	2,51	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
33	130	261,91	1,64	3,00	2	2	0,810	341,692	Aman
35	134	218,82	1,37	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
36	374	284,34	1,78	3,00	2	2	0,810	341,692	Aman
37	484	193,07	1,21	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
38	599	168,72	1,05	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman

### 3. Desain *Pile Cap*

#### Dimensi dan Material *Bore Pile*

Dimensi tiang *bore pile*            D        = 0,6 m

Panjang tiang *bore pile*            L        = 28 m

Kuat tekan beton                       $f_c'$      = 35 MPa = 356,9 kg/cm<sup>2</sup>

Berat beton bertulang                 $W_c$      = 24 kN/m<sup>3</sup> = 240 kg/cm<sup>2</sup>

#### Spasi tiang *Bore Pile*, As ke As tiang

Syarat        :  $2,5D \leq s \leq 3D$

                  1,5     $\leq s \leq 1,8$

Digunakan nilai  $s'$                       = 160 cm (**MEMENUHI**)

Daya dukung tanah                     $Q_u$      = 400 ton = 395 kN

$Q_a$      = 160 ton = 1570 kN

#### Perencanaan *Pile Cap* Untuk 2 *Pile*

##### Data Umum Rencana *Pile Cap*

##### Data bahan *pile cap*

Mutu beton                                 $f_c'$      = 35 MPa

Kuat leleh baja tulangan polos         $f_y$      = 420 MPa

Kuat leleh baja tulangan *deform*      $f_y$      = 420 MPa

Berat beton bertulang                     $W_c$      = 24 MPa

**Data desain pondasi**

Lebar <i>pile cap</i>	Bx	= 3,6 m
Panjang <i>pile cap</i>	By	= 2 m
Diameter tulangan utama		= 0,019 m
Diameter tulangan sengkang		= 0,013 m
Tebal selimut	ts	= 0,075 m
Tebal <i>pile cap</i>	h	= 0,8 m
Tebal tanah di atas <i>pile cap</i>	z	= 1 m
Jarak pusat tulangan ke sisi luar beton	ds	= 0,10 m
$ts + \emptyset + (0,5\emptyset)$		
Jarak sisi lain beton ke pusat tulangan	ds'	= h – ds = 0,7 m
Jarak <i>pile</i> tepi terhadap sisi luar beton	a	= 1 m
Diameter <i>bore pile</i>	c	= 0,4 m
Lebar kolom	bx	= 0,5 m
Tinggi kolom	by	= 0,5 m
Posisi kolom (dalam=40, tepi = 0, sudut= 20)		= 40
Berat jenis tanah diatas <i>pile cap</i>	$\gamma_b$	= 12,81 kN/m

**Gaya dan beban yang diterima****Hasil dari SAP2000**

Gaya aksial akibat beban terfaktor	Puk	= 2780 kN
Momen arah x akibat beban terfaktor	Mux	= 16 kNm
Momen arah y akibat beban terfaktor	Muy	= -36 kNm
Gaya lateral arah x akibat beban terfaktor	Hux	= -18 kN
Gaya lateral arah y akibat beban terfaktor	Huy	= -9 kN
Kapasitas dukung satu tiang bor	Qa	= 1570 kN
Tahanan aksial tiang pancang	$\phi \times P_n$	= 2943,7 kN
Tahanan lateral tiang pancang	$\phi \times H_n$	= 248,32 kN

**Metode Broms**

$$c_u = 0,625 \times N\text{-SPT} = 0,625 \times 25 = 15,625 \text{ t/m}^2 = 153,281 \text{ kN/m}^2$$

$$H_n = 9 \times c_u \times D \times 1,5D$$

$$= 9 \times 153,3 \times 0,4 \times 0,6 = 331,09$$

Susunan *pile* arah X dan Y

**Tabel 4.33** Susunan *pile* arah X dan Y

Susunan <i>pile</i> arah X				Susunan <i>pile</i> arah Y			
No	n	x	$nx^2$	No	n	y	$ny^2$
1	1	0,8	0,64	1	2	0	0
2	1	0,8	0,64	2			
$\Sigma$	2		1,28	$\Sigma$	2		0

Panjang *pile cap* arah X  $L_x = 3,6$  m

Panjang *pile cap* arah Y  $L_y = 2$  m

### Perhitungan Kontrol Tegangan Tanah

Luas dasar *pile cap*  $A = 7,2$  m<sup>2</sup>

Tahanan momen arah x  $W_x = 4,32$  m<sup>3</sup>

Tahanan momen arah y  $W_y = 2,4$  m<sup>3</sup>

Tinggi tanah di atas *pile cap*  $z = 1$  m

Tekanan akibat berat *pile cap*  $q = 32,01$  kN/m<sup>2</sup>

Eksentrisitas pada pondasi

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{16}{2780} = 0,01 \text{ m} < \frac{B_x}{6} = \frac{3,6}{6} = 0,6 \text{ m (MEMENUHI)}$$

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{-36}{2780} = -0,01 \text{ m} < \frac{B_y}{6} = \frac{2}{6} = 0,3 \text{ m (MEMENUHI)}$$

Tegangan tanah maksimum yang terjadi pada dasar teori:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{2780}{7,2} + \frac{16}{4,32} + \frac{-36}{2,4} + 32,01 \\ &= 406,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } Q_{\max} &< Q_a \\ 406,82 &< 1570 \text{ kN/m}^2 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Tegangan tanah minimum yang terjadi pada dasar teori:

$$\begin{aligned} Q_{\min} &= \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{2780}{7,2} - \frac{16}{4,32} - \frac{-36}{2,4} + 32,01 \\ &= 429,42 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } Q_{\max} > 0$$

$$429,42 < 0 \text{ kN/m}^2 \text{ (MEMENUHI)}$$

### Perhitungan gaya yang bekerja

#### Gaya aksial pada *pile*

$$\text{Berat tanah di atas } \textit{pile cap} \quad W_s = 92,23 \text{ kN}$$

$$\text{Berat } \textit{pile cap} \quad W_c = 138,24 \text{ kN}$$

$$\text{Total gaya aksial terfaktor} \quad P_u = 3057 \text{ kN}$$

Lengan maksimum *pile* arah x terhadap pusat.

$$X_{\max} = 0,8 \text{ m}$$

Lengan maksimum *pile* arah x terhadap pusat.

$$X_{\min} = 0,8 \text{ m}$$

Gaya aksial maksimum dan minimum pada *pile*

$$P_u \max = \frac{P_u}{n} + \frac{Mux + X_{\max}}{\sum x^2} = 1538,3 \text{ kN}$$

$$P_u \min = \frac{P_u}{n} + \frac{Mux + X_{\min}}{\sum x^2} = 1538,3 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } P_u \max &\leq \phi \times P_n \\ 1538,3 &\leq 2943,7 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

#### Gaya lateral pada *pile*

$$\text{Gaya lateral arah x pada } \textit{pile} \quad h_{ux} = -9 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya lateral arah y pada } \textit{pile} \quad h_{uy} = -4,5 \text{ kN}$$

Gaya lateral kombinasi dua arah  $h_u \max = 10,06 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } h_u \max &\leq \phi \times H_n \\ 10,062 &\leq 248,32 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

#### Tinjaun geser arah x

$$\text{Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton} \quad d' = 0,075 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif } \textit{pile cap} \quad d &= h - d' \\ &= 0,8 - 0,075 \\ &= 0,725 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar,  $c_x$ .

$$\begin{aligned} c_x &= \frac{\text{panjang } \textit{pile cap} \text{ arah } x - \text{lebar kolom} - d}{2} \\ &= 1,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat beton} \quad W_1 = c_x \times \text{panjang } \textit{pile cap} \text{ arah } y \times h \times W_c$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,19 \times 2 \times 0,8 \times 24 \\
 &= 45,6 \text{ kN} \\
 \text{Berat tanah } W_2 &= cx \times \text{panjang pile cap arah } y \times z \times \gamma b \\
 &= 1,19 \times 2 \times 1 \times 12,81 \\
 &= 30,42 \text{ kN} \\
 \text{Gaya geser arah } x \text{ } V_{ux} &= 2Mu \text{ max} - W_1 - W_2 \\
 &= 2(1538) - 45,6 - 30,42 \\
 &= 3001 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah X,  $b = 2000 \text{ mm}$

Tebal efektif *pile cap*  $d = 725 \text{ mm}$

Rasio sisi Panjang terhadap sisi pendek kolom,  $\beta_c = 1$

Kuat geser *pile cap* arah X

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f'c' \times b \times d} \\
 &= 0,167 \times \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{35 \times 2000 \times 725} \\
 &= 4289 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c' \times b \times d} \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{35 \times 2000 \times 725} \\
 &= 2859 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{12} \times \left( \frac{as \times d}{b} + 2 \right) \times \sqrt{f'c' \times b \times d} \\
 &= \frac{1}{12} \times \left( \frac{40 \times 75}{2000} + 2 \right) \times \sqrt{35 \times 2000 \times 725} \\
 &= 11795 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $V_c$  yang diambil yaitu nilai terkecil,  $V_c = 2859 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan geser,  $\phi = 0,75$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya geser nominal} &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 2859 \\
 &= 2145 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek kontrol  $\phi \times V_n > V_u$

$$2145 > 2977 \text{ kN (MEMENUHI)}$$

**Tinjauan Geser Dua Arah (Pons)**

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton	$d'$	= 0,075 m
Tebal efektif <i>pile cap</i>	$d$	= 0,725 m
Lebar bidang geser pons arah X	$B_x$	= 1,225 m
Lebar bidang geser pons arah Y	$B_y$	= 1,225 m
Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom	$P_{uk}$	= 2780 kN
Luas bidang geser pons	$A_p$	= 3,553 m
Lebar bidang geser pons	$b_p$	= 4,9 m
Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom	$\beta_c$	= 1

Tegangan geser pons

$$f_p = \frac{1}{6} \times \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f_c'}$$

$$= \frac{1}{6} \times \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{35} = 2,958 \text{ MPa}$$

$$f_p = \frac{1}{12} \times \left( \frac{a_s \times d}{b} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'}$$

$$= \frac{1}{12} \times \left( \frac{40 \times 0,73}{4,9} + 2 \right) \times \sqrt{35} = 3,904 \text{ MPa}$$

$$f_p = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'}$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{35} = 1,972 \text{ MPa}$$

Sehingga nilai  $f_p$  yang diambil adalah nilai terkecil  $f_p = 1,972 \text{ MPa}$

Faktor reduksi kekuatan geser  $\phi = 0,75$

Gaya geser nominal

$$V_n = \phi \times f_p \times A_p$$

$$= 0,75 \times 1,972 \times 3,553 \times 1000 = 5254 \text{ kN}$$

Cek kontrol  $\phi V_n > P_{uk}$   
 $5254 > 2780 \text{ kN (MEMENUHI)}$

### Perhitungan Pembesian *Pile Cap*

#### Tulangan lentur arah X

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar <i>pile cap</i>	$c_x$	= 1,550 m
Jarak <i>pile</i> terhadap sisi kolom	$e_x$	= 0,55 m
Berat beton	$W_1$	= 59,52 kN
Berat tanah	$W_2$	= 39,71 kN
Momen yang terjadi pada <i>pile cap</i>	$M_{ux}$	= 1615 kNm

Lebar <i>pile cap</i> yang ditinjau	b	= 2000 mm
Tebal <i>pile cap</i>	h	= 800 mm
Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton	d'	= 75 mm
Tebal efektif plat	d	= 725 mm
Kuat tekan beton	f <sub>c</sub>	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan	f <sub>y</sub>	= 420 MPa
Modulus elastisitas baja	E <sub>s</sub>	= 20000MPa
Faktor distribusi tegangan beton	β <sub>1</sub>	= 0,85

Batasan tulangan

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} + \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} + \frac{600}{600+420} = 0,035 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,027$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, φ = 0,8

$$\begin{aligned} R_{max} &= 0,75\rho_b \times f_y \times \left( \frac{1-0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85f_c'} \right) \\ &= 0,75 \times 0,0354 \times 420 \times \left( \frac{1-0,5 \times 0,75 \times 0,0354 \times 420}{0,85 \times 35} \right) \\ &= 9,0645 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{-802}{0,8} = -1002 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{-1002 \times 10^6}{2000 \times 525625} = -0,953 \text{ Nmm}^2$$

Cek kontrol  $R_n < R_{max}$

$$-0,953 < 9,064 \text{ (MEMENUHI)}$$

Persamaan :

$$R_n = \rho \times f_y \times \left( 1 - 0,59 \times \rho \times \frac{f_y}{f_c'} \right)$$

$$-0,953 = \rho \times 420 \times \left( 1 - 0,59 \times \rho \times \frac{420}{35} \right)$$

$$-0,953 = 420 \rho - 2974 \rho^2$$

$$0 = 2974 \rho^2 - 420 \rho + 0,953$$

$$\rho_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\rho_{1,2} = \frac{420 \pm \sqrt{176400 - 4 \times 2974 \times (-0,953)}}{2 \times 2974}$$

$$\rho_1 = 0,1435$$

$$\rho_2 = -0,002 < \rho_{max} = 0,0266$$

$$< \rho_{min} = 0,002 \text{ Pakai}$$

Rasio tulangan minimum	$\rho_{min}$	= 0,002
Rasio tulangan yang digunakan	$\rho$	= 0,002
Luas tulangan yang diperlukan	$A_s$	= $\rho \times b \times d$ = 0,002 x 2000 x 725 = 2610 mm <sup>2</sup>
Diameter tulangan yang digunakan	D	= 19 mm
Jarak tulangan yang diperlukan	s	= $\frac{1}{4} \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_s}$ = 217,26 mm (Diambil 200 mm)
Jarak tulangan yang digunakan	s	= 200 mm
Digunakan tulangan D19-200 mm		
Luas tulangan yang terpakai	$A_s'$	= 2835,3 mm <sup>2</sup>
Cek kontrol	$A_s' > A_s$	
	2835 > 2610	(MEMENUHI)

### Tulangan Susut

Rasio tulangan susut minimum	$\rho_{min}$	= 0,002
Luas tulangan susut arah X	$A_{sx}'$	= $\rho_{min} \times b \times d$ = 0,002 x 2000 x 725 = 2485,7 mm <sup>2</sup>
Luas tulangan susut arah Y	$A_{sy}'$	= 248,5 $\rho_{min}$
Diameter tulangan yang digunakan		= 13 mm
Jarak tulangan susut arah X	$s_x$	= $\frac{1}{4} \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_{sx}'}$ = $\frac{1}{4} \pi \times 13^2 \times \frac{2000}{2485,7}$ = 106,8 mm

**Dipakai 100 mm**

Jarak tulangan susut maksimum arah X  $s_x \text{ max} = 200 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah X yang digunakan  $s_x = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut arah Y} \quad s_y &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times \frac{b}{Asx'} \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \times \frac{2000}{2485,7} \\ &= 106,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Dipakai 100 mm**

Jarak tulangan susut maksimum arah Y  $s_y \text{ max} = 200 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah Y yang digunakan  $s_y = 100 \text{ mm}$

Digunakan tulangan susut arah X  $\phi 13 - 100 \text{ mm}$

Digunakan tulangan susut arah Y  $\phi 13 - 100 \text{ mm}$

Luas tulangan yang terpakai  $= 2654,6 \text{ mm}^2$

Cek kontrol  $As' > As$

$$2655 > 2486 \text{ (MEMENUHI)}$$

#### 4. Raft Lift

##### Direncanakan pondasi tiang

Dimensi tiang *bore pile*  $D = 0,6 \text{ m}$

Panjang tiang *bore pile*  $L = 28 \text{ m}$

Kuat tekan beton  $f_c' = 35 \text{ MPa} = 356,9 \text{ kg/cm}^2$

Berat beton bertulang  $W_c = 24 \text{ kN/m}^3 = 240 \text{ kg/cm}^2$

##### Spasi tiang *Bore Pile*, As ke As tiang

$$\begin{aligned} \text{Syarat} \quad : 2,5D &\leq s \leq \frac{1,57D \times m \times n}{m \times n \times 2} \\ 2,5 \times 0,6 &\leq s \leq \frac{1,57 \times 0,6 \times 5 \times 2}{5 \times 4 \times 2} \\ 1,50 &\leq s \leq 2,6914 \end{aligned}$$

Digunakan  $s = 250 \text{ cm}$  (MEMENUHI)

##### Spasi as ke tepi *pile cap*

$$\begin{aligned} \text{Syarat} \quad : \quad 1,5D &\leq s \leq 2D \\ 1,5 \times 0,6 &\leq s \leq 2 \times 0,6 \\ 0,9 &\leq s \leq 1,2 \end{aligned}$$

Digunakan nilai  $s' = 110 \text{ cm}$  (MEMENUHI)



Tebal <i>raft</i>	$h$	$= 0,8 \text{ m}$
Luas <i>raft</i>	$A$	$= 118,34 \text{ m}^2$
Diameter tulangan utama		$= 0,025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$
Diameter tulangan sengkang		$= 0,013 \text{ m} = 13 \text{ mm}$
Tebal selimut	$ts$	$= 0,075 \text{ m}$
Tebal tanah di atas <i>pile cap</i>	$z$	$= 1 \text{ m}$

Jarak pusat tulangan ke sisi luar beton

$$ds = ts + \emptyset + (0,5\emptyset) = 0,10 \text{ m}$$

Jarak sisi lain beton ke pusat tulangan

$$ds' = h - ds = 0,7 \text{ m}$$

Digunakan tulangan *bore pile* 16 D 25

Jarak <i>pile</i> tepi terhadap sisi luar beton	$a$	$= 1,1 \text{ m}$
Diameter <i>bore pile</i>	$c$	$= 0,6 \text{ m}$
Lebar kolom	$bx$	$= 0,5 \text{ m}$
Tinggi kolom	$by$	$= 0,5 \text{ m}$
Berat jenis tanah diatas <i>pile cap</i>	$\gamma_b$	$= 12,81 \text{ kN/m}$

#### **Data susunan *pile***

Luas ujung tiang <i>bore pile</i>	$Ab$	$= 0,283 \text{ m}^2$
Luas selimut <i>bore pile</i>	$As$	$= 52,78 \text{ m}^2$
Berat tiang <i>bore pile</i>	$Wp$	$= 190 \text{ kN} = 19,37 \text{ ton}$
Luas penampang tiang		$= 2827 \text{ cm}^2$
Luas tulangan total		$= 78,54 \text{ cm}^2$
Luas minimum <i>raft</i>	$A$	$= 19,629 \text{ m}^2$
Beban aksial yang bekerja	$P_u$	$= 27088,487 \text{ kN}$

Beban yang dilimpahkan ke tiang bor adalah

$$q_{pile} = Q_{\max} \times SF - q_{raft}$$

$$= 236,4 \times 2 - 106,6 = 266 \text{ kN} = 37345,17 \text{ kg}$$

$$P_{tiang} = q_{pile} \times A_{raft} = 366 \times 118,34 = 43340 \text{ kN}$$

$$\text{Persentase pembagian beban} = \frac{P_{tiang}}{SF \times Q_{\max} \times A_{raft}} = \frac{43340,5}{2 \times 236,4 \times 118,34} = 77\%$$

Pembagian *raft* dan *pile*

$$P_u \text{ Raft} = 23\% \times 2761,314 = 622,7 \text{ ton} = 6109 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ Pile} = 77\% \times 2761,314 = 2139 \text{ ton} = 20980 \text{ kN}$$

Perhitungan jumlah tiang borepile yang dibutuhkan

$$n = \frac{P_u}{Q \text{ ijin}} = \frac{2139}{141} = 15,203 \rightarrow 20 \text{ pile (agar lebih aman)}$$

$$Q_{\text{ijin pile}} = \frac{P_u}{n} = \frac{2139}{20} = 107 \text{ ton} < P_{\text{ijin}} = 141 \text{ ton (memenuhi)}$$

$$Q_{\text{ijin raft}} = \frac{P_u}{A} = \frac{622,7}{118,3} = 5,3 \text{ ton} < P_{\text{ijin}} = 11 \text{ ton (memenuhi)}$$

### Perhitungan Kontrol Tegangan Tanah

Eksentrisitas pada pondasi

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{669,96}{27088} = 0,025 \text{ m} < \frac{B_x}{6} = \frac{9,70}{6} = 1,62 \text{ (memenuhi)}$$

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{908,37}{27088} = 0,033 \text{ m} < \frac{B_y}{6} = \frac{12,2}{6} = 2,03 \text{ (memenuhi)}$$

Tegangan tanah maksimum dan minimum yang terjadi, yaitu:

$$\begin{aligned} Q_{\text{max}} &= \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{I_x} + \frac{M_{uy}}{I_y} \\ &= \frac{27088}{118,3} + \frac{669,96}{240,62} + \frac{908,37}{191,32} \\ &= 236,4 \text{ kN/m}^2 < Q_a = 1380 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{min}} &= \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{I_x} - \frac{M_{uy}}{I_y} \\ &= \frac{27088}{118,3} - \frac{669,96}{240,62} - \frac{908,37}{191,32} \\ &= 221,4 \text{ kN/m}^2 > 0 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

$$\text{Jumlah baris tiang, } m = 5$$

$$\text{Jumlah tiang dalam satu baris, } n = 4$$

$$\text{Jarak as ke as tiang borepile, } s = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Diameter tiang borepile, } D = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \\ &= 1 - 13,496 \frac{(4-1)5 + (5-1)4}{90 \times 5 \times 4} \\ &= 0,768 \rightarrow 77\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= E_g \times n \times Q_u \\ &= 0,768 \times 20 \times 1380 \end{aligned}$$

$$= 21185 \text{ kN} > P_{\text{tiang}} = 20980 \text{ kN (memenuhi)}$$

$$Q_{\text{gab.}} = Q_{\text{raft}} + Q_{\text{pile}}$$

$$= 12016 + 21185$$

$$= 33201 \text{ kN} > P_{\text{tiang}} = 20980 \text{ kN (memenuhi)}$$

### Perhitungan Gaya Yang Bekerja

#### a) Gaya Aksial

$$\begin{aligned} P_u \text{ max} &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{ux} + Y_{\text{max}}}{\Sigma y^2} + \frac{M_{uy} + X_{\text{max}}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{20980}{20} + \frac{669,96 + 3,75}{62,5} + \frac{908,37 + 5,00}{31,25} \\ &= 1202 \text{ kN} \leq P_{\text{tiang}} = 1380 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### b) Gaya Geser Arah X

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 12200 \times 725 \\ &= 17443 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser nominal} &= \phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 17443 \\ &= 13082 \text{ kN} > V_u = 749 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### c) Gaya Geser Arah Y

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 12200 \times 725 \\ &= 17443 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser nominal} &= \phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 17443 \\ &= 13082 \text{ kN} > V_u = 933 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Perhitungan Pembesian Pondasi Raft

#### a) Tulangan Lentur Arah X

Rasio tulangan

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,0018 \times 420}{F_y} = \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{F_c}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,035 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,035 = 0,027$$

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \phi \times \rho_b \times F_y \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times F_c} \\ &= 0,75 \times 0,035 \times 420 \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,035 \times 420}{0,85 \times 35} \\ &= 9,064 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{670}{0,8} = 837,46 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^4}{b \times d^2} = \frac{837,46 \times 10^4}{1000 \times 725^2} = 1,593 \text{ Nmm}^2$$

Syarat cek kontrol;  $R_n < R_{\max}$   
 $1,593 \text{ Nmm}^2 < 9,064 \text{ Nmm}^2$  (memenuhi)

Persamaan mencari rasio hitung

$$\begin{aligned} R_n &= \rho \times F_y \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{F_y}{F_c}\right) \\ &= \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{420}{35}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,593 &= 420\rho - 2974 \rho^2 \\ &= 2974 \rho^2 - 420 \rho + 1,593 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{420 \pm \sqrt{(-420)^2 - 4(2974)(1,593)}}{2 \times 2974} \end{aligned}$$

$$\rho_1 = \frac{420 + 396,8}{5947} = 0,137$$

$$\rho_2 = \frac{420 - 396,8}{5947} = 0,0039 < \rho_{\min} = 0,002$$

Rasio tulangan yang dipakai,  $\rho = 0,002 \text{ mm}$

Luas tulangan yang dipakai,  $A_s = 1305 \text{ mm}$

Diameter utama tulangan,  $D = 25 \text{ mm}$

Jarak tulangan,  $s = 376 \text{ mm}$

Jarak yang dipakai,  $s_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

Tulangan yang digunakan ialah  $D 25 - 200 \text{ mm}$

Luas tulangan  $A_s = 2454 \text{ mm}$

Syarat cek kontrol;  $A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$   
 $1305 \text{ mm} < 2454 \text{ mm}$  (memenuhi)

## b) Tulangan Lentur Arah Y

Rasio tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \times 420}{F_y} = \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{F_c}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,035 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,035 = 0,027$$

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \phi \times \rho_b \times F_y \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times F_c} \\ &= 0,75 \times 0,035 \times 420 \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,035 \times 420}{0,85 \times 35} \\ &= 9,064 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{908}{0,8} = 1135,5 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^4}{b \times d^2} = \frac{1135,5 \times 10^4}{1000 \times 725^2} = 2,160 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat cek kontrol; } R_n &< R_{\max} \\ 2,160 \text{ Nmm}^2 &< 9,064 \text{ Nmm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

## c) Persamaan mencari rasio hitung

$$\begin{aligned} R_n &= \rho \times F_y \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{F_y}{F_c}\right) \\ &= \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{420}{35}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,593 &= 420\rho - 2974 \rho^2 \\ &= 2974 \rho^2 - 420 \rho + 1,593 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{420 \pm \sqrt{(-420)^2 - 4(2974)(1,593)}}{2 \times 2974} \end{aligned}$$

$$\rho_1 = \frac{420 + 396,8}{5947} = 0,137$$

$$\rho_2 = \frac{420 - 396,8}{5947} = 0,0039 < \rho_{\min} = 0,002$$

$$\text{Rasio tulangan yang dipakai, } \rho = 0,002 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan yang dipakai, } A_s = 3876 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter utama tulangan, } D = 25 \text{ mm}$$

Jarak tulangan,	$s$	=	127	mm
Jarak yang dipakai,	$s_{pakai}$	=	100	mm
Tulangan yang digunakan ialah			D 25 – 100	mm
Luas tulangan	$A_s$	=	4909	mm
Syarat cek kontrol;	$A_s \text{ perlu}$	<	$A_s \text{ pakai}$	
	3876 mm	<	4909 mm	(memenuhi)
d) Tulangan Susut				
Rasio tulangan yang dipakai,	$\rho$	=	0,002	mm
Luas tulangan susut arah x	$A_{sx}$	=	1243	mm
Luas tulangan susut arah y	$A_{sy}$	=	1243	mm
Diamter utama tulangan,	$D$	=	13	mm
Jarak tulangan arah,	$s_x$	=	107	mm
Jarak yang dipakai,	$s_{pakai}$	=	100	mm
Tulangan yang digunakan ialah			D 13 – 100	mm
Luas tulangan	$A_s$	=	1324	mm
Syarat cek kontrol;	$A_s \text{ perlu}$	<	$A_s \text{ pakai}$	
	1243 mm	<	1327 mm	(memenuhi)

**Tabel 4.35** Hasil Analisa Struktur Bawah

<b>Bore Pile</b>	
Tulangan Utama	25 D 16 – 100
Tulangan Spiral	D 13 - 100
Dimensi	600 mm
Panjang	28 m
<b>Dimensi Pilecap</b>	
4 Pile	3,6 x 3,6 m
2 Pile	2 x 3,6 m
<b>Raft Lift</b>	
Tulangan Lentur Arah X	D 25 - 200
Tulangan Lentur Arah Y	D 25 - 200
Tebal Pile Cap	800 mm
Dimensi Pile Cap	9,7 x 12,2 m
Jumlah Pile	20 buah

<b>Raft Tangga Darurat</b>	
Tulangan Lentur Arah X	D 25 - 200
Tulangan Lentur Arah Y	D 25 - 100
Tebal <i>Pile Cap</i>	800 mm
Dimensi <i>Pile Cap</i>	5,4 x 8,6 m
Jumlah <i>Pile</i>	10 buah

Berikut merupakan perhitungan dari *shear wall*

### Properti Material dan Penampang

Tebal dinding geser,	$t_w$	= 2000 mm
Panjang (As ke As),	$L$	= 6000
Panjang kolom,	$h_k$	= 700 mm
Lebar kolom,	$b_k$	= 700 mm
Tinggi dinding geser total,	$h_w$	= 20000 mm
Diameter tulangan longitudinal badan,	$d_l$	= 19 mm
Diameter tulangan transversal badan,	$d_t$	= 19 mm
Diameter tulangan kolom,	$d_b$	= 22 mm
Kuat tekan beton,	$f_c'$	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan,	$f_y$	= 420 MPa

### Geometri

Panjang total,	$L_w$	= $L + h_k$ = 6700 mm
Panjang bersih,	$L_n$	= $L - h_k$ = 5300 mm
Luas penampang melintang,	$A_{cv}$	= $t_w \times L_w$ = 1340000 mm <sup>2</sup>
Luas total ginding geser,	$A_w$	= $t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k)$ = 2040000 mm <sup>2</sup>

### Kebutuhan Tulangan Minimum

$\phi$	= 0,75
Gaya geser, $V_u / \phi$	= 153 N
Batas zona 1	= $0,083 \times A_{cv} \sqrt{f_c'}$

		= 657986 N
Batas zona 2		= $0,17 \times A_{cv} \sqrt{f'c'}$
		= 1347683 N
Kesimpulan zona		= Zona 1
Rasio tul. longitudinal minimum, $\rho_{l,min}$		= 0,25%
Rasio tul. transversal minimum, $\rho_{t,min}$		= 0,25 %
Perlu 2 lapis tulangan atau tidak		= Perlu
Jumlah lapis tulangan pakai, $n_{lapis}$		= 2

### Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial Lentur

#### Bagian Badan

Spasi longitudinal	s	= 200 mm
Cek spasi tulangan maksimum,	s	$\leq 450$ mm
	200	$\leq 450$ mm ( <b>MEMENUHI</b> )
Rasio tulangan longitudinal,	$\rho_l$	= $n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{d_1^2}{tw \times s} = 1,418\%$
Cek rasio tulangan minimum	$\rho_l$	$\geq \rho_{l,min}$
		1,418% $\geq$ 0,25% ( <b>MEMENUHI</b> )

#### Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom,	n	= 16 buah
Rasio tulangan kolom,	$\rho$	= $n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{db^2}{b_k \times h_k} = 1,241\%$
Cek rasio tulangan kolom	1%	$\leq \rho \leq 6\%$
	1%	$\leq 1,241\% \leq 6\%$ ( <b>MEMENUHI</b> )

#### Pengecekan Kapasitas Geser

$h_w / L_w$		= 2,9851
$\alpha_c$		= 0
Spasi tulangan transversal,	s	= 200 mm
Cek spasi tulangan maksimum	s	$\leq 450$ mm
	200	$\leq 450$ mm ( <b>MEMENUHI</b> )
Rasio Tulangan Longitudinal, $\rho_t$		= $n_{lapis} \times \frac{\pi}{4} \times \frac{dt^2}{tw \times s} = 1,418\%$

Cek rasio tulangan minimum,	$\rho_t \geq \rho_{t \text{ min}}$
	$1,418\% \geq 0,25\%$ ( <b>MEMENUHI</b> )
Kuat geser dinding,	$V_n = A_{cv} (\alpha_c \times \sqrt{f_c'} + \rho_t \times f_y) = 7978499 \text{ N}$
Batas kuat geser,	$V_{n \text{ max}} = 0.66 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c'} = 5232181 \text{ N}$
Kuat geser yang dipakai	$V_n \text{ pakai} = 5232181 \text{ N}$
Cek kapasitas geser,	$V_n \text{ pakai} \geq V_u / \phi$
	$5232181 \text{ N} \geq 153 \text{ N}$ ( <b>MEMENUHI</b> )

### Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

#### *Displacement Based Method*

Panjang zona tekan	$c = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta} = 250,172 \text{ mm}$
$\delta_u / h_w$	$= 0,005$
$c - 0.1 L_w$	$= -419,827 \text{ mm}$
$c/2$	$= 125,086 \text{ mm}$
$h_c + 300$	$= 1000 \text{ mm}$
Panjang elemen batas khusus, $L_{BE}$	$= 1000 \text{ mm}$
$M_u / (4 V_u)$	$= 451,031 \text{ mm}$
Tinggi elemen batas khusus, $h_{BE}$	$= 6700 \text{ mm}$

#### *Strength Based Method*

Luas penampang total, $A_g$	$= 2040000 \text{ mm}^2$
Inersia penampang, $I_g$	
$I_g$	$= \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \times [\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + b_k \times h_k \times (L/2)^2]$
	$= 11341300000000 \text{ mm}^4$

Jarak serat terluar,  $y = \frac{L}{2} = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ mm}$

Tegangan kondisi 1,  $\sigma_1 = \frac{Pu}{A_g} + \frac{Mu \times y}{I_g}$

$$= \frac{674160}{2040000} + \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$= 0,33 \text{ MPa}$

Tegangan kondisi 2,  $\sigma_2 = \frac{Pu}{A_g} - \frac{Mu \times y}{I_g}$

$$= \frac{674160}{2040000} - \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$= 0,33 \text{ MPa}$$

Tegangan kondisi 3,  $\sigma_3 = \left(-\frac{Pu}{Ag}\right) + \frac{Mu \times y}{Ig}$

$$= -\frac{674160}{2040000} + \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$= -0,33 \text{ MPa}$$

Tegangan kondisi 4,  $\sigma_4 = \left(-\frac{Pu}{Ag}\right) - \frac{Mu \times y}{Ig}$

$$= -\frac{674160}{2040000} - \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$= -0,33 \text{ MPa}$$

Tegangan kondisi 5,  $\sigma_5 = \frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu \times y}{Ig}$

$$= \frac{674160}{2040000} + \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$= 0,33 \text{ MPa}$$

Tegangan kondisi 6,  $\sigma_6 = \left(-\frac{Pu}{Ag}\right) - \frac{Mu \times y}{Ig}$

$$= -\frac{674160}{2040000} - \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$= -0,33 \text{ MPa}$$

Batas tegangan  $= 0,2fc' = 7 \text{ MPa}$

Cek syarat                      tegangan                      >                      batas tegangan

**(Tidak memerlukan elemen batas khusus)**

### Penulangan elemen batas khusus

#### Daerah kolom

Selimut beton,	$C_c$	$= 50 \text{ mm}$
Diameter <i>confinement</i>	$d_s$	$= 13 \text{ mm}$
Jumlah kaki sejajar lebar kolom,	$n_1$	$= 4$
Jumlah kaki sejajar panjang kolom,	$n_2$	$= 4$
Spasi,	$s$	$= 65 \text{ mm}$
$A_{sh\ 1}$		$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$
		$= 530,929 \text{ mm}^2$
$A_{sh\ 2}$		$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$
		$= 530,929 \text{ mm}^2$
$A_{sh} / s, 1$		$= 8,168 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$A_{sh} / s, 2$		$= 8,168 \text{ mm}^2/\text{mm}$
Lebar penampang inti beton,	$b_c$	$= b_k - 2c_c$ $= 600 \text{ mm}$
Panjang penampang inti beton,	$h_c$	$= h_k - 2c_c$ $= 600 \text{ mm}$
Luas Penampang Kolom,	$A_g$	$= b_k \times h_k$ $= 490000 \text{ mm}^2$
Luas Penampang Inti Beton,	$A_{ch}$	$= b_c \times h_c$ $= 360000 \text{ mm}^2$

### Sejajar lebar kolom

$A_{sh}/s \text{ min, 1}$		$= 0.3 (h_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1)$ $= 5,417 \text{ mm}^2$
$A_{sh}/s \text{ min, 2}$		$= 0.09 \times h_c \times f_c' / f_y$ $= 4,5 \text{ mm}^2$
Cek $A_{sh}/s \text{ 2,}$	$A_{sh} / s, 1$	$\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2})$
	8,168	$\geq (5,417 ; 4,5 \text{ mm})$ <b>MEMENUHI</b>

### Sepanjang Panjang Kolom

$A_{sh}/s \text{ min, 1}$		$= 0.3 (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1)$ $= 5,417 \text{ mm}^2$
$A_{sh}/s \text{ min, 2}$		$= 0.09 \times h_c \times f_c' / f_y$ $= 4,5 \text{ mm}^2$
Cek $A_{sh}/s \text{ 1,}$	$A_{sh} / s, 1$	$\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2})$
	8,168	$\geq (5,417 ; 4,5 \text{ mm})$ <b>MEMENUHI</b>

### Daerah badan

Selimut beton,	$C_c$	$= 50 \text{ mm}$
Diameter <i>confinement</i>	$d_s$	$= 19 \text{ mm}$
Jumlah kaki sejajar lebar kolom,	$n_1$	$= 3$
Jumlah kaki sejajar panjang kolom,	$n_2$	$= 2$
Spasi,	$s$	$= 50 \text{ mm}$
$A_{sh} \text{ 1}$		$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$

$$\begin{aligned}
 &= 850,586 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh} / 2 &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh} / s, 1 &= 17,012 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 A_{sh} / s, 2 &= 11,341 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{Panjang daerah EBK badan} \quad b &= \text{LBE} - h_k \\
 &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Lebar daerah EBK (tebal dinding)} \quad h &= \text{tw} = 200 \text{ mm} \\
 \text{Lebar penampang inti beton,} \quad b_c &= b - 2c_c \\
 &= 200 \text{ mm} \\
 \text{Panjang penampang inti beton,} \quad h_c &= h - 2c_c \\
 &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Luas Penampang Kolom,} \quad A_g &= b \times h \\
 &= 6000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas Penampang Inti Beton,} \quad A_{ch} &= b \times h \\
 &= 20000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### Sejajar dinding

$$\begin{aligned}
 A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (h_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\
 &= 5 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \times h_c \times f_c' / f_y \\
 &= 0,75 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_{sh}/s \text{ 2, } A_{sh} / s, 1 &\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2}) \\
 17,012 &\geq (5 ; 0,75 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}
 \end{aligned}$$

### Tegak lurus dinding

$$\begin{aligned}
 A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\
 &= 10 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \times h_c \times f_c' / f_y \\
 &= 1,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_{sh}/s \text{ 1, } A_{sh} / s, 1 &\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2}) \\
 11,341 &\geq (10 ; 1,5 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.36** Hasil Analisa Struktur *Shear Wall*

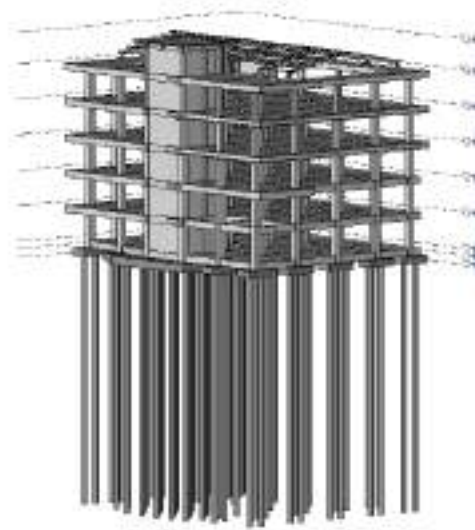
<i>Shear Wall</i>	
Tulangan <i>Longitudinal</i>	2 D 19 – 200
<i>Shear Wall</i>	
Tulangan <i>Transversal</i>	2 D 19 - 200
Tulangan Pengekang Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	3 D 19 – 50
Tulangan Pengekang Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	2 D 19 - 50

### 4.5.3 Hasil Perhitungan Volume Struktur dengan *AutoDesk Revit*

Perhitungan volume dengan Autodesk Revit didapatkan setelah proses permodelan elemen struktur yang terdiri dari struktur atas dan bawah. Permodelan tersebut dilakukan secara tiga dimensi (3D) dengan memasukkan detail penulangan sesuai dengan hasil analisa struktur yang sudah dilakukan dengan menggunakan *software* SAP2000 serta perhitungan pada *Microsoft Excel*. Setelah memasukkan semua elemen penulangan dan detailing dari permodelan tersebut maka Autodesk Revit dapat memunculkan fitur *material takeoff* dan *schedules/quantities* untuk mengeluarkan *output* dari volume material secara otomatis berdasarkan parameter yang sudah diinput. Hasil perhitungan tersebut dapat meminimalisir kesalahan manusia dalam melakukan perhitungan volume (*human error*) serta mendeteksi adanya tumpang tindih (*clash*) antar elemen bangunan.

*Output* dari Revit tersebut berupa volume kebutuhan beton, volume penulangan serta volume dari bekisting. *Output* yang digunakan hanya berfokus pada struktur saja seperti struktur bawah, struktur atas, tangga, *shear wall*, dan atap baja. Hasil tersebut digunakan untuk membantu dalam menghitung Rancangan Anggaran Biaya yang akan dilakukan.

Volume di setiap item pekerjaan ini terdapat pembengkakan dari perhitungan volume dari pihak pelaksana lapangan. Hal tersebut dikarenakan terdapat beberapa penambahan struktur seperti tangga darurat dan *shear wall* serta perubahan dimensi di setiap strukturnya. Berikut merupakan gambar visualisasi 3D dan *Quantity Take Off* (QTO) dapat dilihat pada gambar 4.19 dan 4.20



**Gambar 4.19** Visualisasi 3D Revit

Volume Basis (kg) Baja Ringan											
Item	Uraian	Volume	Uraian	Volume	Uraian	Volume	Uraian	Volume	Uraian		
1	Bore Pile	175239,200	kg	1	Pile Cap	9739,580	kg	1	Bekisting		
2	Pengecoran Bore Pile	633,360	m <sup>3</sup>	2	Pengecoran Pile Cap	132,480	m <sup>3</sup>	2	Pengecoran Bekisting	206,080	m <sup>2</sup>

**Gambar 4.20** Quantity Take Off Revit

Berikut merupakan rekapitulasi dari kebutuhan volume di setiap item pekerjaan pada tabel 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, dan 4.41.

**Tabel 4.37** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Pondasi

<i>Bore Pile</i>		
Pek. Penulangan <i>Bore Pile</i>	175239,200	kg
Pek. Pengecoran <i>Bore Pile</i>	633,360	m <sup>3</sup>
<i>Pile Cap P1 360 x 200 cm</i>		
Pek. Penulangan <i>Pile Cap</i>	9739,580	kg
Pek. Pemasangan Bekisting <i>Pile Cap</i>	206,080	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Pile Cap</i>	132,480	m <sup>3</sup>

<b><i>Pile Cap P2 360 x 360 cm</i></b>		
Pek. Penulangan <i>Pile Cap</i>	738,320	kg
Pek. Pemasangan Bekisting <i>Pile Cap</i>	11,520	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Pile Cap</i>	10,368	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Raft 900 x 390 cm</i></b>		
Pek. Penulangan <i>Pile Cap</i>	3085,200	kg
Pek. Pemasangan Bekisting <i>Pile Cap</i>	24,800	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Pile Cap</i>	35,100	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.38** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 1

<b><i>Pekerjaan Sloof</i></b>		
Pek. Penulangan Sloof	17538,730	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Sloof	729,484	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Sloof	82,920	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Kolom K1 70 x 70</i></b>		
Pek. Penulangan Kolom	20508,980	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	416,640	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	70,255	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</i></b>		
Pek. Penulangan Kolom	824,760	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	23,040	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	3,456	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</i></b>		
Pek. Penulangan Kolom	1200,800	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,800	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	3,564	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Plat Lantai</i></b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	15688,209	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	650,400	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	97,560	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Tangga</i></b>		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m <sup>3</sup>
<b><i>Pekerjaan Shear Wall</i></b>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg

Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	145,998	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,200	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.39** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 2

<b>Pekerjaan Kolom K1 70 x 70</b>		
Pek. Penulangan Kolom	15909,000	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	366,000	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	57,499	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1333,620	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,800	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	4,298	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1236,690	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	24,000	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	2,978	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B1 40 x 80</b>		
Pek. Penulangan Balok	1568,805	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	752,618	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	75,255	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B2 35 x 70</b>		
Pek. Penulangan Balok	7313,613	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	414,645	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	37,641	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B3 25 x 50</b>		
Pek. Penulangan Balok	1493,724	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	89,025	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	5,192	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B5 20 x 40</b>		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,170	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	2,153	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Plat Lantai 2</b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	26053,224	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	639,997	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	76,800	m <sup>3</sup>

<b>Pekerjaan Tangga</b>		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Shear Wall</b>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,078	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.40** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 3

<b>Pekerjaan Kolom K1 70 x 70</b>		
Pek. Penulangan Kolom	15909	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	336	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	57,491	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1333,620	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,800	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	4,298	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1236,690	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	24,000	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	2,978	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B1 40 x 80</b>		
Pek. Penulangan Balok	16451,731	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	780,026	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	78,206	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B2 35 x 70</b>		
Pek. Penulangan Balok	8403,419	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	486,465	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	44,411	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B3 25 x 50</b>		
Pek. Penulangan Balok	1596,446	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	95,1	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	5,256	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B5 20 x 40</b>		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg

Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,170	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	2,153	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Plat Lantai 3</b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	29497,131	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	730,897	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	87,708	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Tangga</b>		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Shear Wall</b>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,602	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.41** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 4

<b>Pekerjaan Kolom K1 70 x 70</b>		
Pek. Penulangan Kolom	2651,5	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	56	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	9,682	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</b>		
Pek. Penulangan Kolom	12447,12	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	268,8	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	39,424	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1236,690	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	24,000	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	2,978	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B1 40 x 80</b>		
Pek. Penulangan Balok	12286,839	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	599,28	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	56,808	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B2 35 x 70</b>		
Pek. Penulangan Balok	8742,882	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	475,631	m <sup>2</sup>

Pek. Pengecoran Balok	43,264	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B3 25 x 50</b>		
Pek. Penulangan Balok	4476,782	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	267,45	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	15,982	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B5 20 x 40</b>		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,170	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	2,153	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Plat Lantai 4</b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	30923,993	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	756,593	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	90,791	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Tangga</b>		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Shear Wall</b>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,602	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.42** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 5

<b>Pekerjaan Kolom K1 70 x 70</b>		
Pek. Penulangan Kolom	2651,5	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	56	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	9,8	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1333,62	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,8	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	4,298	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</b>		
Pek. Penulangan Kolom	11542,44	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	160	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	19.858	m <sup>3</sup>

<b>Pekerjaan B1 40 x 80</b>		
Pek. Penulangan Balok	10042,235	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	426,36	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	42,147	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B2 35 x 70</b>		
Pek. Penulangan Balok	9231,924	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	524,246	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	47,53	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B3 25 x 50</b>		
Pek. Penulangan Balok	5386,44	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	330,375	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	19,67	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B5 20 x 40</b>		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,17	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	2,189	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Plat Lantai 5</b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	30923,993	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	756,593	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	90,791	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Tangga</b>		
Pek. Penulangan Tangga	433,005	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	85,943	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Tangga	4,139	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Shear Wall</b>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,078	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.43** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur *Top Floor*

<b>Pekerjaan B1 40 x 80</b>		
Pek. Penulangan Balok	8947,273	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	443,976	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	50,808	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B2 35 x 70</b>		
Pek. Penulangan Balok	7851,39	kg

Pek. Pemasangan Bekisting Balok	427,98	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	45,758	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B3 25 x 50</b>		
Pek. Penulangan Balok	1291,492	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	78	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	5,386	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan B5 20 x 40</b>		
Pek. Penulangan Balok	158,915	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	10,23	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Balok	0,562	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Plat Lantai <i>Top Floor</i></b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	18684,693	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	342,199	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	41,064	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.44** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Rumah *Lift*

<b>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</b>		
Pek. Penulangan Kolom	1066,4	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	25,2	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	3,78	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</b>		
Pek. Penulangan Kolom	2278,814	kg
<b>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</b>		
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	49	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Kolom	6,125	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan Plat Lantai Rumah <i>Lift</i></b>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	3200,776	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	63,141	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran Plat Lantai	7,577	m <sup>3</sup>
<b>Pekerjaan <i>Shear Wall</i></b>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	5731,701	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	72,8	m <sup>2</sup>
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	14,560	m <sup>3</sup>

**Tabel 4.45** Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Atap Baja Ringan

<b>Pekerjaan Atap Baja Ringan</b>		
Pek. Kolom IWF 300.150.6,5.9	267,29	kg
Pek. Rafter IWF 300.150.6,5.9	3369,38	kg
Pek. Gording C 150.50.20.3,2	920,56	kg

#### 4.5.4 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dilakukan setelah mengetahui volume kebutuhan untuk setiap pekerjaan struktur yang diperoleh melalui permodelan *Autodesk Revit*. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut terdapat perbedaan volume baik pada struktur bawah maupun struktur atas. Perbedaan volume ini disebabkan adanya penyesuaian dimensi struktur serta penambahan elemen struktur baru seperti tangga darurat dan *shearwall*. Perubahan tersebut dilakukan untuk memastikan keamanan struktur bangunan memenuhi standar yang berlaku. Terjadinya perbedaan volume tersebut berdampak pada pembengkakan dari nilai RAB yang sudah ada. Total dari perhitungan rencana anggaran biaya dari pekerjaan struktur yaitu Rp. 20.006.245.383,92 sedangkan untuk total harga rencana anggaran biaya asli yaitu sekitar Rp. 11.558.538.083,59. Selisih harga tersebut cukup signifikan dikarenakan terdapat perubahan dalam dimensi struktur serta penambahan *shear wall*, tangga darurat, serta *raft* pondasi. Penambahan serta perubahan struktur tersebut dilakukan agar bangunan memenuhi standart yang berlaku dan aman. Untuk perhitungan Rencana Anggaran biaya dapat dilihat pada gambar 4.21.

**Tabel 4.46** Perbandingan Rencana Anggaran Biaya

<b>Perencanaan Struktur</b>	<b>RAB Total</b>	<b>RAB + PPN 11%</b>
Struktur Awal	Rp 11.558.538.083,59	Rp 12.830.000.000,00
Struktur <i>Redesain</i>	Rp 18.367.956.503.59	Rp 20.388.400.000,00
Struktur <i>Redesain</i> + <i>Shearwall</i> + Tangga Darurat	Rp 20.006.245.383,92	Rp 22.206.900.000,00



Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp. 312.371.094,73
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp. 62.047.200,70
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp. 27.039.152,76
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp. 722.901.046,55
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
<b>Pekerjaan Struktur Lantai 3</b>	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp. 447.300356,75
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp. 37.030.576,06
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp. 32.094.347,91
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp. 640.843.294,75
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp. 363.943.722,27
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp. 65.914.026,89
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp. 27.039.152,76
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp. 821.430.674,83
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
<b>Pekerjaan Struktur Lantai 4</b>	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp. 74.681.184,14
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp. 344.714.582,23
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp. 32.094.347,91
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp 482.358.651,55
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp 364.14.902,12
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp 186.733.169,23
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp 27.047.007,15

Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 856.609.489,90
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
<b>Pekerjaan Struktur Lantai 5</b>	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp 74.835.653,82
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp 37.030.576,06
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp 267.268.865,99
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp 366.464.003,70
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp 394.619.261,17
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp 228.251.423,27
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp 27.086.279,10
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 856.609.489,90
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp 39.446.650,15
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
<b>Pekerjaan Struktur Top Floor</b>	
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp 366.260.474,54
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp 336.348.192,17
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp 55.180.096,98
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp 6.878.855,34
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 463.367.383,93
<b>Pekerjaan Struktur Rumah Lift</b>	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp 30.802.366,93
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp 61.607.320,03
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 81.509.055,55

Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp 134.593.511,96
Pekerjaan Atap Baja Ringan	
Pekerjaan Atap	Rp 130.178.018,30
<b>Jumlah Pekerjaan Struktur</b>	Rp 20.006.245.383,92
<b>PPN 12%</b>	Rp 2.400.749.446,07
<b>Total Pekerjaan Struktur</b>	Rp 22.406.994.829,99
<b>Pembulatan</b>	Rp 22.407.000.000,00

#### 4.5.5 Penjadwalan Proyek dengan Microsoft Project

Penjadwalan proyek menggunakan *Microsoft Project* ini berfungsi sebagai instrumen utama dalam merencanakan, serta mengendalikan estimasi waktu agar tidak terjadi keterlambatan pekerjaan konstruksi. Proses ini diawali dengan mengintegrasikan data dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang telah disusun sebelumnya, di mana seluruh item pekerjaan beserta volumenya digunakan untuk menghitung waktu pelaksanaan. Setelah dihitung bobot pekerjaan maka dibuat kurva S secara manual menggunakan *Microsoft Excel*. Setelah Kurva S selesai dibentuk menggunakan *Microsoft Excel*, seluruh data tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam *Microsoft Project*. Struktur rincian kerja (*Work Breakdown Structure* atau WBS), item pekerjaan, hubungan keterkaitan antar-aktivitas (*predecessors*), serta alokasi durasi diinput dengan target total waktu pelaksanaan proyek .

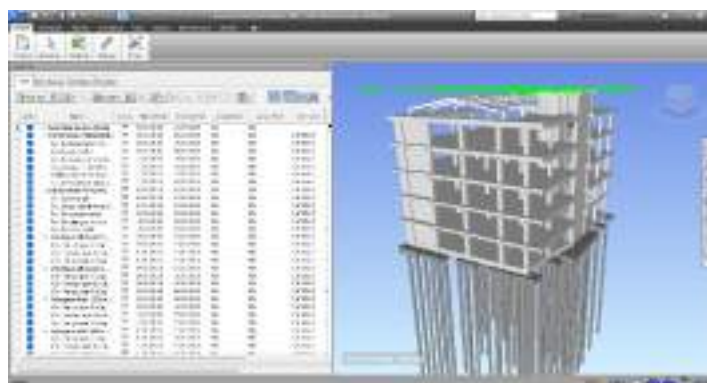
Pada pelaksanaan proyek yang sedang berjalan tidak memakai kurva s dan *Microsoft Project* dikarenakan proyek tersebut merupakan proyek swakelola. Namun, setelah dilakukan penjadwalan terbaru menggunakan *Microsoft Project* maka total waktu pekerjaan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan yaitu selama 120 hari kerja dengan nilai slank 0. Berikut merupakan hasil dari penjadwalan menggunakan *Microsoft Project* dapat dilihat pada gambar 4.22.



**Gambar 4.22** Penjadwalan dengan *Microsoft Project*

#### 4.5.6 Integrasi BIM 5D dengan *Naviswork*

Setelah seluruh elemen model 3D dari *Autodesk Revit* dan data penjadwalan 120 hari dari *Microsoft Project* berhasil diintegrasikan di dalam *Autodesk Navisworks*, dilakukan simulasi *timeliner* untuk mengevaluasi integrasi BIM 5D (waktu dan biaya). Berdasarkan hasil simulasi visual penjadwalan yang dijalankan, diketahui tidak terjadi *clash detection* waktu atau tumpang tindih urutan metode kerja sepanjang proyek berlangsung. Selain aspek waktu (4D), integrasi ini menyajikan visualisasi mengenai proyek (BIM 5D). Melalui fitur *Timeliner Cost*, perkembangan biaya kumulatif dapat dipantau secara *real-time* seiring dengan progres fisik konstruksi dari hari ke-1 hingga hari ke-120. Hasil akhir integrasi ini menyajikan informasi menyeluruh mengenai jumlah pemakaian biaya di setiap tahapan pekerjaan, serta ringkasan total biaya akhir yang dikeluarkan untuk menyelesaikan seluruh proyek konstruksi ini. Berikut merupakan hasil integrasi dengan menggunakan *Naviswork* dapat dilihat pada gambar 4.19.



**Gambar 4.23** Hasil Integrasi *Naviswork*