

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur Atas Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip

Struktur atas direncanakan dengan menghitung dimensi melalui *preliminary design*. *Preliminary design* merupakan perhitungan awal suatu struktur yang ditentukan berdasarkan syarat masing - masing komponen struktur. *Preliminary design* mengacu pada ketentuan yang sudah tercantum pada (SNI 2847:2013) dan (SNI 2847:2019) tentang perhitungan balok, pelat lantai, tangga, dan kolom.

Adanya *preliminary design* dimaksudkan agar saat proses analisis struktur dapat mengetahui kekuatan dan kapasitas struktur berdasarkan beban yang telah diinput.

4.1.1 Preliminary Design Balok

1. Perhitungan Dimensi Balok Induk

a. Balok B1 (L = 6500 mm)

$$\begin{aligned} L &= 6500 \text{ mm} \\ h_{\min} &= \frac{6500}{12} \\ &= 541,667 \text{ mm} \\ &= \mathbf{700 \text{ mm}} \\ b &= \frac{1}{2} \times h \\ &= \frac{1}{2} \times 700 \\ &= 350 \text{ cm} \\ &= \mathbf{450 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Cek kontrol dimensi sesuai (SNI 2847:2019) pasal 18.6.2.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - 1/2 \emptyset \text{ tulangan utama} \\ &= 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) \end{aligned}$$

$$= 640,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\ell_n &= L - \frac{650}{2} - \frac{650}{2} \\ &= 6500 - \frac{650}{2} - \frac{650}{2} \\ &= 5850 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat:

a. $\ell_n \geq 4 \times d$

$$\ell_n \geq 4 \times 640,5 \text{ mm}$$

$$5850 \text{ mm} \geq 2562 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

b. $b_w \geq 0,3 \times h \text{ dan } 250 \text{ mm}$

$$450 \text{ mm} \geq 0,3 \times 700 \text{ mm dan } 250 \text{ mm}$$

$$450 \text{ mm} \geq 210 \text{ mm dan } 250 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

c. $b_w < c_2 \text{ dan } 0,75 \times c_1$

$$450 \text{ mm} < 650 \text{ mm dan } 0,75 \times 650 \text{ mm}$$

$$450 \text{ mm} < 650 \text{ mm dan } 487,5 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

2. Perhitungan Dimensi Balok Anak

a. Balok Ba4 (L = 4000 mm)

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = \frac{4000}{16}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

$$= \mathbf{400 \text{ mm}}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times 400$$

$$= 200 \text{ cm}$$

$$= \mathbf{250 \text{ cm}}$$

Cek kontrol dimensi sesuai (SNI 2847:2019) pasal 18.6.2.1 sebagai berikut:

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - 1/2 \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (16)$$

$$= 342 \text{ mm}$$

$$\ell_n = L - \frac{650}{2} - \frac{650}{2}$$

$$= 4000 - \frac{650}{2} - \frac{650}{2}$$

$$= 3350 \text{ mm}$$

Syarat:

a. $\ell_n \geq 4 \times d$

$$\ell_n \geq 4 \times 342 \text{ mm}$$

$$3350 \text{ mm} \geq 1026 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

b. $b_w \geq 0,3 \times h$

$$250 \text{ mm} \geq 0,3 \times 400 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \geq 120 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

c. $b_w < c_2 \text{ dan } 0,75 \times c_1$

$$250 \text{ mm} < 650 \text{ mm dan } 0,75 \times 650 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} < 650 \text{ mm dan } 487,5 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

3. Perhitungan Dimensi Kantilever

a. Balok Kantilever ($L = 2000 \text{ mm}$)

$$L = 2000 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = \frac{2000}{8}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

$$= \mathbf{500 \text{ mm}}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times 500$$

$$= 250 \text{ mm}$$

$$= \mathbf{350 \text{ mm}}$$

4. Perhitungan Dimensi Tie Beam

a. Balok Tie Beam ($L = 8000 \text{ mm}$)

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 h_{\min} &= \frac{8000}{18,5} \\
 &= 432,43 \text{ mm} \\
 &= \mathbf{600 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{1}{2} \times h \\
 &= \frac{1}{2} \times 600 \\
 &= 300 \text{ cm} \\
 &= \mathbf{400 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$

Cek kontrol dimensi sesuai (SNI 2847:2019) pasal 18.6.2.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - 1/2 \emptyset \text{ tulangan utama} \\
 &= 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) \\
 &= 540,5,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_n &= L - \frac{650}{2} - \frac{650}{2} \\
 &= 8000 - \frac{650}{2} - \frac{650}{2} \\
 &= 7350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } \ell_n &\geq 4 \times d \\
 \ell_n &\geq 4 \times 540,5 \text{ mm} \\
 7350 \text{ mm} &\geq 2162 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)} \\
 \text{b. } b_w &\geq 0,3 \times h \\
 500 \text{ mm} &\geq 0,3 \times 600 \text{ mm dan } 250 \text{ mm} \\
 500 \text{ mm} &\geq 180 \text{ mm dan } 250 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Hasil preliminary design balok ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.1 Daftar *Preliminary Design* Balok

No.	Tipe Balok	h min (mm)	b min (mm)	Dimensi Balok (mm)	Jenis Balok
1.	B1	541,67	270,83	450 x 700	Balok Induk
2.	B2	500,00	250,00	450 x 700	Balok Induk
3.	B3	666,67	333,33	450 x 700	Balok Induk
4.	Ba1	406,25	203,13	250 x 400	Balok Anak
5.	Ba2	375,00	187,50	250 x 400	Balok Anak
6.	Ba3	187,50	93,75	250 x 400	Balok Anak
7.	Ba4	250,00	125,00	250 x 400	Balok Anak
8.	BSL	500,00	250,00	400 x 600	Balok Anak
9.	BK1	500,00	250,00	350 x 500	Balok Anak
10.	BK2	406,25	203,13	350 x 500	Balok Anak
11.	BB	187,50	93,75	200 x 400	Balok Bordes
12.	BAT1	432,43	216,22	300 x 450	Balok Atap
13.	BAT2	406,25	203,13	300 x 450	Balok Atap
14.	TB	432,43	216,22	400 x 600	<i>Tie Beam</i>
15.	TB1	351,35	175,68	400 x 600	<i>Tie Beam</i>

(Sumber: Penulis, 2025)

Tabel 4.2 Daftar Cek Kontrol Dimensi Balok

No.	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)	D Efektif Balok (mm)	Bentang L (mm)	Bentang Bersih Ln (mm)	h kolom (mm)	b kolom (mm)	Syarat Dimensi (SNI 2847:2019) pasal 18.6.2.1			
								Syarat 1 ($\ell_n \geq 4d$)	Syarat 2 ($b_w \geq 0,3h$)	Syarat 3 ($b_w \geq 250$ mm)	Syarat 4 ($b_w < b$ kolom)
1.	B1	450 x 700	640,5	6500	5850	650	650	OK	OK	OK	OK
2.	B2	450 x 700	640,5	6000	5300	700	700	OK	OK	OK	OK
3.	B3	450 x 700	636	8000	7350	650	650	OK	OK	OK	OK
4.	Ba1	250 x 400	342	3250	2600	650	650	OK	OK	-	OK
5.	Ba2	250 x 400	342	3000	2350	650	650	OK	OK	-	OK
6.	Ba3	250 x 400	342	3000	2300	700	350	OK	OK	-	OK
7.	Ba4	250 x 400	342	4000	3350	650	650	OK	OK	-	OK
8.	BSL	400 x 600	590,5	4000	3350	650	650	OK	OK	-	OK
9.	BK1	350 x 500	442	8000	7350	650	650	OK	OK	-	OK
10.	BK2	350 x 500	442	6500	5850	650	650	OK	OK	-	OK
11.	BB	200 x 400	342	3000	2350	650	650	OK	OK	-	OK
12.	BAT1	300 x 450	390,5	8000	7350	650	650	OK	OK	OK	OK
13.	BAT2	300 x 450	390,5	6500	5850	650	650	OK	OK	OK	OK
14.	TB	400 x 600	540,5	8000	7350	650	650	OK	OK	OK	OK
15.	TB1	400 x 600	540,5	6500	5850	650	650	OK	OK	OK	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

4.1.2 Preliminary Design Pelat

Pelat direncanakan sesuai (SNI 2847:2013) pada tabel 9.5 (a) berdasarkan tipe satu arah dan 2 arah. Perhitungan ketebalan pelat direncanakan sebagai berikut:

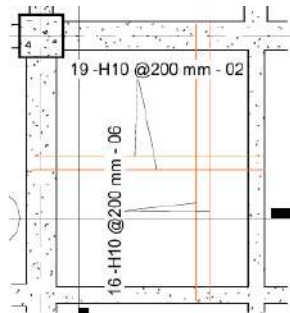
Sesuai (SNI 2847:2019) pasal 8.3.1.1 diperoleh ketentuan:

$$\frac{L_y}{L_x} < 2, \text{ untuk pelat dua arah}$$

$$\frac{L_y}{L_x} \geq 2, \text{ untuk pelat satu arah}$$

a. Menentukan Rasio Bentang Pelat

Berdasarkan kasus bentang terbesar diperoleh pemodelan seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rencana Perhitungan Area Pelat P1

(Sumber: Penulis, 2025)

$$\text{Panjang (} L_y \text{)} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (} L_x \text{)} = 3250 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{3250} = 1,231 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

Berdasarkan (SNI 2847:2013) pasal 9.5.3.3 tentang konstruksi dua arah, pelat dihitung berdasarkan rumus sesuai tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat

α_{fm} [1]	h minimum, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku (a)	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(\frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \right)$ (b) ^{[2],[3]}
		125 (c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(\frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} \right)$ (d) ^{[2],[3]}
		90 (e)

(Sumber: SNI 2847:2013)

b. Bentang Bersih Pelat

$$\begin{aligned}
 L_{ny} &= L_y - (\frac{1}{2} \times Ba2) - (\frac{1}{2} \times Ba2) \\
 &= 400 - (\frac{1}{2} \times 25) - (\frac{1}{2} \times 25) \\
 &= 375 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{nx} &= L_x - (\frac{1}{2} \times B1) - (\frac{1}{2} \times B1) \\
 &= 325 - (\frac{1}{2} \times 45) - (\frac{1}{2} \times 45) \\
 &= 280 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

c. Lebar Efektif Balok

$$\begin{aligned}
 b_e &= b_{Ba2} + 2 \times (h_{\text{balok}} - \text{tebal pelat rencana}) \\
 &= 25 + 2 (40 - 12) \\
 &= 81 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_e &= b_{Ba2} + 8 \times \text{tebal pelat rencana} \\
 &= 25 + 8 (12) \\
 &= 121 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai b_e terkecil yaitu 81 cm.

d. Menghitung Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Pelat

Untuk menentukan rasio kuat lentur balok terhadap kuat lentur pelat dihitung menggunakan koefisien momen insersia dengan rumus berikut:

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

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{plat}}}$$

$$I_{\text{balok}} = k \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{L \cdot t^3}{12}$$

diperoleh hasil perhitungan seperti tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Rasio Kuat Lentur Balok

Balok Penopang	k Balok	I Balok (cm ⁴)	I Pelat (cm ⁴)	α
B1	1,562	200947,81	46800	4,294
Ba2	1,651	220172,45	57600	3,622

(Sumber: Penulis, 2025)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } \alpha m &= \frac{\alpha 1 + \alpha 2}{2} \\
 &= \frac{4,294 + 3,622}{2} \\
 &= 4,058 > 2
 \end{aligned}$$

Digunakan perhitungan tebal pelat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 h \text{ min} &= \frac{L_{ny} \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\
 &= \frac{375 \left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9(1,231)} \\
 &= 8,762 \text{ cm} \\
 &= 12 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pelat, diperoleh rekap yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Daftar *Preliminary Design* Pelat

Tipe Pelat	h Min (cm)	h Pakai (cm)
P1 (Pelat Lantai)	8,762	12
P2 (Pelat Atap)	8,42	10

(Sumber: Penulis, 2025)

4.1.3 *Preliminary Design* Kolom

Dimensi kolom diperhitungkan berdasarkan beban terbesar yang bekerja pada bangunan perencanaan. Dalam Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro, asumsi beban tersebar diambil pada pelat P1 dengan bentang 8 m x 6,5 m. Perhitungan dimensi kolom mengacu pada rumus sebagai berikut:

Tebal Pelat Lantai = 12 cm = 0,12 m

Tinggi Tingkat = 4,1 m

Rencana Balok Induk (Ly) = 450 mm x 700 mm

Rencana Balok Induk (Lx) = 450 mm x 700 mm

Mutu Beton Rencana (f'_c) = 30 MPa

1. Beban Mati (q_D)

$$\begin{aligned}
 \text{a. Pelat Lantai} &= 6,5 \times 8 \times 0,12 \times 2400 \times 6 \\
 &= 89856 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- b. Pelat Atap $= 6,5 \times 8 \times 0,1 \times 2400 \times 1$
 $= 12480 \text{ kg}$
- c. Balon Induk (Ly) $= 8 \times 0,45 \times 0,7 \times 2400 \times 6$
 $= 36288 \text{ kg}$
- d. Balok Induk (Lx) $= 6 \times 0,45 \times 0,7 \times 2400 \times 6$
 $= 27216 \text{ kg}$
- e. Balok Atap $= 8 \times 0,3 \times 0,45 \times 2400 \times 1$
 $= 2592 \text{ kg}$
- f. Spesi (3 cm) $= 6,5 \times 8 \times 0,03 \times 2100 \times 6$
 $= 19656 \text{ kg}$
- g. Keramik $= 6,5 \times 8 \times 0,01 \times 2400 \times 6$
 $= 7488 \text{ kg}$
- h. Dinding $\frac{1}{2}$ Bata $= 8 \times 4,1 \times 250 \times 2 \times 6$
 $= 98400 \text{ kg}$
 $= 6,5 \times 4,1 \times 250 \times 2 \times 6$
 $= 79950 \text{ kg}$
- i. Dinding Parapet $= 8 \times 2 \times 250 \times 3 \times 1$
 $= 12000 \text{ kg}$
 $= 6,5 \times 2 \times 250 \times 6 \times 1$
 $= 19500 \text{ kg}$
- j. Plafond dan Rangka $= 8 \times 6,5 \times 4,1 \times 18 \times 6$
 $= 23025,6 \text{ kg}$
- k. Ducting AC $= 8 \times 6,5 \times 4,1 \times 10 \times 6$
 $= 12792 \text{ kg}$
- l. Plumbing $= 8 \times 6,5 \times 4,1 \times 19 \times 6$
 $= 24304,8 \text{ kg}$
- m. M/E $= 8 \times 6,5 \times 4,1 \times 25 \times 6$
 $= 31980 \text{ kg}$

Total Beban Mati (qD) = 494936,40 kg

2. Beban Hidup (qL)

- a. Lantai $= 6,5 \times 8 \times 250 \times 6$
 $= 78000 \text{ kg}$
- a. Atap Dak $= 6,5 \times 8 \times 100 \times 1$
 $= 5200 \text{ kg}$
- b. Lift $= 100 \text{ kg}$

Total Beban Hidup (qL) = 83300 kg

3. Beban Aksial (P)

Sesuai dengan (SNI 2847:2019) pasal R12.5.1.4 yang mengatur tentang beban aksial dan momen lentur suatu struktur, digunakan perhitungan gaya minimum untuk menahan kombinasi beban terfaktor sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= 1,2 qD + 1,6 qL \\
 &= (1,2 \times 494936,40) + (1,6 \times 83300) \\
 &= \mathbf{727203,68 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

4. Dimensi Kolom Utama

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{P}{\phi \times f'c} \\
 &= \frac{727203,68}{0,65 \times 300} \\
 &= \mathbf{3729,249 \text{ cm}^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \sqrt{A} \\
 &= \mathbf{61,067 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$

Dipakai dimensi kolom struktur **650 mm x 650 mm**.

Berdasarkan perhitungan yang sesuai diperoleh rekapitulasi dimensi kolom yang ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Daftar *Preliminary Design* Kolom

No.	Tipe Balok	Dimensi Kolom (mm)		Syarat Dimensi (SNI 2847:2019) pasal 18.7.2	
		b Kolom (mm)	h Kolom (mm)	$b \geq 300$ mm	Rasio b/h > 0,4
1.	K1	650	650	OK	OK
2.	K2	700	700	OK	OK
3.	K3	350	700	OK	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

4.1.4 Preliminary Design Tangga

Struktur tangga direncanakan dengan data sebagai berikut:

- a. Mutu Beton (f_c) = 25 MPa
- b. Mutu Baja (f_y) = 420 MPa
- c. Tinggi Tangga = 410 cm
- d. Tinggi Tangga ke Bordes = 205 cm
- e. Lebar Datar Tangga = 130 cm
- f. Panjang Datar Tangga = 270 cm
- g. Tinggi Tanjakan (Optrade) = 17,8 cm
- h. Lebar Pijakan (Antrade) = 30,5 cm
- i. Jumlah Anak Tangga = 26 buah
- j. Lebar Bordes = 130 cm
- k. Panjang Bordes = 267,5 cm
- l. Panjang Miring Pelat Tangga = 335 cm

Terdapat cek syarat kemiringan tangga yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\frac{1}{2} \times \text{tinggi tangga}}{\text{panjang datar tangga}} \right)$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\frac{1}{2} \times 410}{270} \right)$$

$$\alpha = 37,21^\circ$$

Syarat

$$25^{\circ} < \alpha < 40^{\circ}$$

$$25^{\circ} < 37,21 < 40^{\circ}$$

Direncanakan tebal pelat tangga dan bordes = 12 cm.

Dilakukan perhitungan untuk beban tangga sebagai berikut:

1. Beban Hidup (q_L)

$$\text{Beban Hidup Tangga (PPIUG 1983 tabel 3.1)} = \mathbf{3 \text{ kN/m}^2}$$

2. Beban Mati (q_D) (PPIUG 1983 tabel 2.1)

$$\text{Berat Sendiri Pelat (12 cm)} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasangan Bata} = = 1,98 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi (3 cm)} = = 1,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Keramik (1 cm)} = = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Railing} = = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total Beban Mati} = \mathbf{6,69 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan} = \mathbf{3,81 \text{ kN/m}^2}$$

Dilakukan perhitungan untuk beban bordes sebagai berikut:

1. Beban Hidup (q_L)

$$\text{Beban Hidup Bordes (PPIUG 1983 tabel 3.1)} = \mathbf{3 \text{ kN/m}^2}$$

2. Beban Mati (q_D) (PPIUG 1983 tabel 2.1)

$$\text{Berat Sendiri Pelat (12 cm)} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasangan Spesi (3 cm)} = = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasangan Keramik (1 cm)} = = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total Beban Mati} = \mathbf{3,75 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan} = \mathbf{0,87 \text{ kN/m}^2}$$

4.2 Perencanaan Pembebanan Terfaktor

Pembebanan yang direncanakan pada suatu bangunan bertingkat harus meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Pada perencanaan beban mati meliputi beban struktur itu sendiri yang diperhitungkan secara otomatis melalui SAP2000.

Beban yang diinput pada analisis struktur meliputi beban mati tambahan yang mengacu pada pembebanan pelat lantai dan balok, beban hidup mengacu pada beban dinamis bangunan, beban angin, dan beban gempa. Beban diatur dalam PPIUG 1983 sebagai berikut:

- a. Beban Mati (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Beton Bertulang (berat sendiri) = 24 kN/m^3
- b. Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Pasir (1 cm) = $0,16 \text{ kN/m}^2$
 - Spesi (3 cm) = $0,63 \text{ kN/m}^2$
 - Keramik (1 cm) = $0,24 \text{ kN/m}^2$
 - Plafond dan Penggantung = $0,18 \text{ kN/m}^2$
 - Mekanikal Elektrikal = $0,25 \text{ kN/m}^2$
 - Plumbing = $0,19 \text{ kN/m}^2$
 - Total = **$1,65 \text{ kN/m}^2$**
- c. Beban Mati Tambahan Pelat Atap (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Waterproofing = $0,05 \text{ kN/m}^2$
 - Mekanikal Elektrikal = $0,25 \text{ kN/m}^2$
 - Plafond dan Penggantung = $0,18 \text{ kN/m}^2$
 - Plumbing = $0,19 \text{ kN/m}^2$
 - Total = **$0,67 \text{ kN/m}^2$**
- d. Beban Mati Tambahan Balok (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Dinding $\frac{1}{2}$ Bata Balok Lantai (4,1 m) = $10,25 \text{ kN/m}$
 - Dinding Parapet = $2,5 \text{ kN/m}$
 - Rangka Hollow = $0,53 \text{ kN/m}$
- e. Beban Hidup (PPIUG 1983 Tabel 3.1)
 - Lantai Gedung Perkuliahan = $2,5 \text{ kN/m}^2$
 - Lantai Atap = 1 kN/m^2
 - Pelat Tangga dan Bordes = 3 kN/m^2
 - Air Hujan = $0,2 \text{ kN/m}^2$

4.3 Perhitungan Beban Angin (SNI 1727:2020)

Beban angin diperhitungkan berdasarkan (SNI 1727:2020) sesuai pasal 30.4.1 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan Kecepatan Angin Rata-rata (V) Kota Semarang

Berdasarkan data dari Peraturan Daerah Kota Semarang No. 7 tahun 2014 tentang Rencana Induk Sistem Drainase Kota Semarang, diperoleh data kecepatan angin rata-rata Kota Semarang sebesar 2,73 m/s. Sedangkan pada tahun 2020 kecepatan angin rata-rata Kota Semarang menurun menjadi 1,975 m/s. Dalam perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip, digunakan data kecepatan angin rata-rata maksimum sebesar **2,73 m/s**.

2. Menentukan Faktor Arah Angin (K_d)

Sesuai dengan (SNI 1727:2020) tabel 26.6-1, faktor arah angin ditentukan berdasarkan tipe struktur. Pada Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip, termasuk tipe struktur bangunan gedung dengan sistem penahan gaya angin utama (SPGAU) dengan **K_d sebesar 0,85**.

3. Menentukan Kategori Eksposur

Kategori eksposur ditentukan berdasarkan kekasaran permukaan setiap daerah. Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip termasuk ke dalam daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan dan berjarak dekat dengan tempat tinggal keluarga dalam jumlah banyak. Gedung ini diklasifikasikan ke dalam **Eksposur B**.

4. Menentukan Koefisien Faktor Topografi

Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip tidak terdapat tebing curam, sehingga berdasarkan (SNI 1727:2020) pasal 26.8.1, ditentukan nilai **$K_{zt} = 1$** .

5. Menentukan Tekanan Kecepatan

Tekanan kecepatan ditentukan berdasarkan faktor elevasi permukaan tanah, K_e . Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip memiliki elevasi setinggi 125 mdpl (BPS, 2022). Sesuai pasal 26.10.1, koefisien tekanan untuk semua elevasi boleh diambil sebesar **$K_e = 1$** .

6. Menentukan Faktor Hembusan Angin (G)

Sesuai dengan (SNI 1727:2020) pasal 26.11.1, faktor hembusan angin (G) diambil sebesar **0,85** untuk bangunan gedung dan struktur kaku yang lainnya.

7. Menentukan Koefisien Tekanan (GC_{Pi} dan C_p)

Koefisien tekanan internal ditentukan berdasarkan jenis bangunan. Struktur Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip, termasuk ke dalam struktur gedung bangunan tertutup. Koefisien tekanan internal (GC_{Pi}) gedung ini memiliki nilai sebesar **-0,18** (SNI 1727:2020) pasal 26.12.3.2.

Pada keadaan eksternal, gedung ini ditinjau berdasarkan panjang dan lebar bangunan sesuai (SNI 1727:2020) pasal 27.3.5 sebagai berikut:

$$L = 16 \text{ m}$$

$$B = 32 \text{ m}$$

$$L/B = 0,5$$

$$\text{Dinding di sisi angin datang (C}_p\text{)} = 0,8$$

$$\text{Dinding di sisi angin pergi (C}_p\text{)} = -0,5$$

$$\text{Dinding tepi (C}_p\text{)} = -0,7$$

8. Menghitung Eksposur Tekanan Velositas (K_z)

Nilai K_z diperoleh sesuai (SNI 1727:2020) tabel 26.10-1 untuk nilai tinggi bangunan (Z) = 24,6 m. Diperoleh rumusan dalam metrik sesuai tabel 26.11-1 sebagai berikut (tabel 4.7).

Tabel 4.7 Eksposur Tekanan Velositas (K_z)

<i>Dalam metrik</i>										
Eksposur	α	Z _g (m)	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{b}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{1}{b}$	c	ℓ (m)	$\frac{1}{\alpha}$	Z _{min} (m) ^a
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

(Sumber: SNI 1727:2020)

Untuk $4,6 \text{ m} \leq Z \leq Z_g$

$$\begin{aligned}
 K_z &= 2,01 \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{2/7} \\
 &= 2,01 (24,6 / 365,76)^{2/7} \\
 &= \mathbf{0,918}
 \end{aligned}$$

9. Menghitung Kecepatan Velositas (q_z)

Sesuai dengan (SNI 1727:2020), tekanan kecepatan velositas (q_z) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2 \\ &= 0,613 \times 0,918 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times (25^2) \\ &= \mathbf{0,299 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 27.1.5 tentang beban angin desain minimum, untuk bangunan gedung tertutup, beban angin direncanakan tidak boleh kurang dari $0,77 \text{ kN/m}^2$. Maka, digunakan $q_i = \mathbf{0,77 \text{ kN/m}^2}$.

10. Menentukan Besar Tekanan Angin (p)

Tekanan angin harus dihitung berdasarkan (SNI 1727:2020) pasal 27.3.1 sebagai berikut:

$$p = q_i \times G \times C_p - q_z (GCP_i)$$

p untuk dinding sisi angin datang

$$\begin{aligned} p &= 0,77 \times 0,85 \times 0,8 - 0,299 \times (0,18) \\ &= \mathbf{0,577 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

p untuk dinding sisi angin pergi

$$\begin{aligned} p &= 0,77 \times 0,85 \times (-0,5) - 0,299 \times (-0,18) \\ &= \mathbf{-0,274 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

p untuk dinding sisi angin hisap (samping)

$$\begin{aligned} p &= 0,77 \times 0,85 \times (-0,7) - 0,299 \times (-0,18) \\ &= \mathbf{0,404 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Beban Gempa (SNI 1726:2019)

Beban gempa diperhitungkan sesuai kategori risiko daerah Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro. Data kegempaan diperoleh berdasarkan jenis tanah dari hasil pengujian dan respon spektrum gempa dari [rsa.ciptakarya](http://rsa.ciptakarya.com).

Berdasarkan jurnal Yufahri dan Widjajanti (2022), kecamatan tembalang terutama di kawasan Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip memiliki jenis tanah

mediteran coklat tua atau tergolong jenis tanah keras atau batuan lunak. Adapun langkah perhitungan secara rinci sebagai berikut:

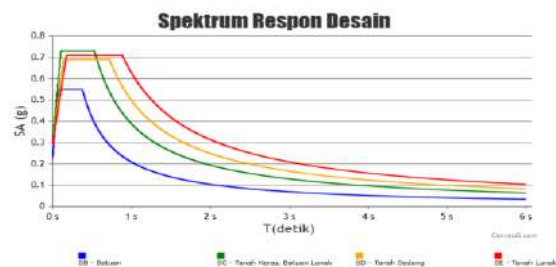
1. Menentukan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa.

Berdasarkan (SNI 1726:2019) tabel 3, direncanakan ulang Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip yang merupakan gedung fasilitas pendidikan. Gedung ini tergolong ke dalam kategori risiko no IV dengan nilai koefisien faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,5 (SNI 1726:2019) tabel 4.

2. Menentukan Klasifikasi Situs Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip.

Menurut Yufahri dan Widjajanti (2022), sebesar 2085,70 Ha Kecamatan Tembalang memiliki jenis tanah mediteran coklat tua. Tanah ini tergolong dalam jenis tanah keras dan batuan lunak. Sehingga pada klasifikasi situs Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip tergolong jenis kelas situs SC atau C.

3. Menganalisis Parameter Respon Spektrum (S_{MS} dan S_{M1}).



Gambar 4.2 Desain Spektra Wilayah Gempa Kota Semarang

(Sumber: Penulis, 2025)

Berdasarkan data dari rsa.ciptakarya pada lokasi Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip, Kota Semarang diperoleh data pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Hasil Prameter Respon Spektrum Gedung Dekanat FPP

Tanah Keras Batuan Lunak (SC)		
Variabel	Nilai	
PGA (g)	0,411	g
Ss periode 0,2s	0,911	g
S1 periode 1s	0,391	g
T0	0,11	s
Ts	0,53	s
SDS	0,74	g
SD1	0,39	g

(Sumber: Penulis, 2025)

4. Menghitung Koefisien Situs Kegempaan (Fa dan Fv)

Data parameter respon spektrum digunakan untuk menentukan koefisien situs sesuai (SNI 1726:2019) pasal 6.2 dimana diperhitungkan berdasarkan rumus interpolasi dan diperoleh nilai sebesar:

$$F_a = \frac{1,25 - 0,5}{1,25 - 1,1070} = \frac{1,2 - 1,3}{1,2 - x}$$

$$= \mathbf{1,2452}$$

$$F_v = \frac{0,6 - 0,5}{0,6 - 0,5070} = \frac{1,4 - 1,5}{1,4 - x}$$

$$= \mathbf{1,6090}$$

5. Menghitung Parameter Respon Spektrum Periode Pendek (S_{MS}) dan Periode 1 detik (S_{M1})

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

$$= 1,2452 \cdot 0,911$$

$$= \mathbf{1,134}$$

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

$$= 1,6090 \cdot 0,391$$

$$= \mathbf{0,629}$$

6. Menghitung Parameter Spektrum Desain

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

$$= \frac{2}{3} \cdot 1,134$$

$$= 0,749$$

$$= \mathbf{0,6338 \text{ (Output SAP2000)}}$$

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

$$= \frac{2}{3} \cdot 0,629$$

$$= 0,415$$

$$= \mathbf{0,3654 \text{ (Output SAP2000)}}$$

7. Menghitung Periode Getar Fundamental Struktur

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

$$= \frac{0,415}{0,749}$$

$$= 0,555 \text{ s}$$

$$= \mathbf{0,53 \text{ s (Output rsa.ciptakarya)}}$$

$$T_0 = 0,2 \times \left(\frac{SD1}{SDS} \right)$$

$$= 0,2 \times 0,555$$

$$= 0,111 \text{ s}$$

$$= \mathbf{0,11 \text{ s (Output rsa.ciptakarya)}}$$

Tabel 4.9 Periode Getar Fundamental

Kelas	T0 (detik)	Ts (detik)
SB	0,08	0,38
SC	0,11	0,53
SD	0,14	0,72
SE	0,18	0,89

Sumber: rsa.ciptakarya

8. Menentukan Kategori Desain Seismik Berdasarkan (SNI 1726:2019) untuk nilai S_{DS} (tabel 8) dan nilai S_{D1} (tabel 9)

Nilai $S_{DS} = \mathbf{0,6338} > 0,50$ tergolong kategori risiko **D**, ditampilkan pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Kategori Risiko S_{DS}

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Nilai $S_{D1} = 0,3654 > 0,20$ tergolong kategori risiko **D**, ditampilkan pada tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Kategori Risiko S_{D1}

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 4.12 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) dan Resiko Kegempaan

Tinggi Resiko Kegempaan		
Rendah	Menengah	Tinggi
KDS : A , B	KDS : C	KDS : D, E, F
SRPMB / M / K	SRPMM / K	SRPMK

(Sumber: SNI 1726:2019)

Sesuai dengan kategori risiko kelas D. Maka, digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), karena bangunan diperhitungkan berada di wilayah dengan tingkat resiko kegempaan tinggi.

9. Menentukan Sistem Penahan Gaya Seismik

Berdasarkan (SNI 1726:2019) tabel 12 halaman 50 point C5, diperoleh data koefisien penahan gaya seismik sebagai berikut:

$$R = 8$$

$$\Omega_o = 3$$

$$C_d = 5,5$$

dengan nilai *Scale Factor* = $I_e \times g / R = 1,8393$

10. Menghitung Batasan Periode Getar Struktur

Menurut (SNI 1726:2019) (tabel 17 dan 18), diperoleh nilai parameter periode pendekatan sebagai tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Parameter Periode Pendekatan

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 4.14 Koefisien Nilai C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2019)

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$C_u = 1,4 (S_{D1} = 0,415)$$

Diperhitungkan nilai T_{min} dan T_{max} sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_{min} &= C_t \times H_n^x \\
 &= 0,0466 \times (4,1 \times 6)^{0,9} \\
 &= \mathbf{0,832 \text{ s}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{max} &= C_u \times T_{min} \\
 &= 1,4 \times 0,832 \\
 &= \mathbf{1,1651 \text{ s}}
 \end{aligned}$$

4.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dihitung berdasarkan (SNI 2847:2013) dan (SNI 1726:2019). Kombinasi ini direncanakan dengan melakukan asumsi bahwa suatu bangunan mampu menerima beban minimum dan maksimum sesuai faktor kombinasi yang dibuat. Selain itu, dilakukan pembebanan gabungan bersama dengan beban gempa untuk mencari beban terbesar yang timbul. Dalam hal ini kombinasi pembebanan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro direncanakan sebagai berikut:

Comb. 1	$= 1,4 \text{ D} + 1,4 \text{ SDL}$
Comb. 2	$= 1,2 \text{ D} + 1,2 \text{ SDL} + 1,6 \text{ L}$
Comb. 3	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} + 1,3 \text{ Eqdx} + 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 4	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} + 1,3 \text{ Eqdx} - 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 5	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} - 1,3 \text{ Eqdx} + 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 6	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} - 1,3 \text{ Eqdx} - 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 7	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} + 0,39 \text{ Eqdx} + 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 8	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} - 0,39 \text{ Eqdx} + 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 9	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} + 0,39 \text{ Eqdx} - 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 10	$= 1,3268 \text{ D} + 1,3268 \text{ SDL} + 1 \text{ L} - 0,39 \text{ Eqdx} - 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 11	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} + 1,3 \text{ Eqdx} + 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 12	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} + 1,3 \text{ Eqdx} - 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 13	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} - 1,3 \text{ Eqdx} + 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 14	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} - 1,3 \text{ Eqdx} - 0,39 \text{ Eqdy}$
Comb. 15	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} + 0,39 \text{ Eqdx} + 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 16	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} - 0,39 \text{ Eqdx} + 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 17	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} + 0,39 \text{ Eqdx} - 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 18	$= 0,7732 \text{ D} + 0,7732 \text{ SDL} - 0,39 \text{ Eqdx} - 1,3 \text{ Eqdy}$
Comb. 19	$= 1,2 \text{ D} + 1,2 \text{ SDL} + 0,5 \text{ Wx}$
Comb. 20	$= 1,2 \text{ D} + 1,2 \text{ SDL} - 0,5 \text{ Wx}$
Comb. 21	$= 1,2 \text{ D} + 1,2 \text{ SDL} + 0,5 \text{ Wy}$
Comb. 22	$= 1,2 \text{ D} + 1,2 \text{ SDL} - 0,5 \text{ Wy}$
Comb. 23	$= 1,2 \text{ D} + 1,2 \text{ SDL} + 0,375 \text{ Wx} + 0,375 \text{ Wy}$

$$\text{Comb. 24} = 1,2 D + 1,2 \text{ SDL} - 0,375 W_x - 0,375 W_y$$

$$\text{Comb. 25} = 1,2 D + 1,2 \text{ SDL} + 1 L + 1 W_x$$

$$\text{Comb. 26} = 1,2 D + 1,2 \text{ SDL} + 1 L - 1 W_x$$

$$\text{Comb. 27} = 1,2 D + 1,2 \text{ SDL} + 1 L + 1 W_y$$

$$\text{Comb. 28} = 1,2 D + 1,2 \text{ SDL} + 1 L - 1 W_y$$

4.6 Analisis Struktur Atas SAP2000

Analisa bangunan tahan gempa harus ditentukan berdasarkan (SNI 1726:2019) tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

4.6.1 Analisis Struktur Balok, Kolom, Pelat

Terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam kontrol sistem bangunan tahan gempa berdasarkan kondisi dan letak bangunan gedung tinjauan. Adapun syarat yang harus dikontrol sebagai berikut:

1. Analisis Spektrum Partisipasi Massa Ragam

Berdasarkan (SNI 1726:2019) pasal 7.9.1.1 analisis yang diizinkan dapat dilakukan dengan perhitungan jumlah massa ragam minimum untuk menopang beban terkombinasi minimal 90% dari massa aktual.

Berdasarkan analisis hasil *preliminary design* Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip pada SAP2000 diperoleh hasil *Mass Modal Participating Mass Ratios* sebagai tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Analisis Spektrum Massa Ragam

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	1	1,641692	0,000008081	0,74193	2,953E-07	0,000008081	0,74193
MODAL	2	1,616686	0,00098	0,05207	1,911E-08	0,00099	0,794
MODAL	3	1,461743	0,80248	0,0000288	5,459E-08	0,80347	0,79403
MODAL	4	0,532888	0,000003981	0,0912	9,364E-11	0,80347	0,88523
MODAL	5	0,521803	0,00016	0,01538	2,78E-09	0,80363	0,9006
MODAL	6	0,475217	0,10114	0,000008176	6,654E-07	0,90477	0,90061
MODAL	7	0,299566	0,000001488	0,04241	5,381E-07	0,90477	0,94302
MODAL	8	0,295629	0,00016	0,00331	2,852E-09	0,90493	0,94633
MODAL	9	0,272337	0,04414	0,000005118	7,223E-07	0,94907	0,94633
MODAL	10	0,225451	0,000002524	0,00006659	0,00138	0,94907	0,9464
MODAL	11	0,224056	0,000004147	0,00006775	0,00007574	0,94908	0,94647
MODAL	12	0,21347	0,00000453	0,000004989	0,03406	0,94908	0,94647

(Sumber: Penulis, 2025)

Diperoleh hasil massa ragam sebesar 94,9% untuk arah x dan 94,6% untuk arah y. Dapat disimpulkan bahwa kapasitas struktur mampu menopang massa aktual untuk beberapa kombinasi pembebanan.

2. Perbandingan Skala Gaya

Pembebanan bangunan tahan gempa harus dianalisis berdasarkan gaya geser statik dan dinamik suatu bangunan. Didukung data dari (SNI 1726:2019) pasal 7.9.1.4.1 syarat perbandingan geser dinamik (V_d) harus lebih kecil atau sama dengan 100% gaya geser statik (V_s). Apabila diperoleh hasil kurang dari 100%, maka, faktor skala dapat dihitung dari V_s/V_d .

Tabel 4.16 Hasil Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

Base Shear	Dinamik (V_d) Geser Dasar (kN)	Statik (V_s) Geser Dasar (kN)	Faktor Skala (V_s/V_d)	Kontrol $V_d \geq 100\% V_s$
Arah X	1925,29	1919,178	0,996825413314	OK
Arah Y	1919,64	1919,178	0,999761933909	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

Dari tabel 4.16, disimpulkan bahwa Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip memiliki kontrol gaya geser dinamik yang sudah memenuhi.

3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar lantai merupakan pergeseran antar tingkat yang terjadi akibat beban lateral (Purba, 2024). Kontrol simpangan antar lantai wajib dilakukan untuk seluruh bangunan yang direncanakan menggunakan struktur bangunan tahan gempa. Sesuai (SNI 1726:2019) pasal 7.12.1, terdapat syarat simpangan berdasarkan kategori risiko bangunan sesuai dalam tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.17 Koefisien Simpangan Tingkat

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726:2019)

Gedung Dekanat FPP Undip termasuk kedalam kategori risiko IV dengan nilai:

Tabel 4.18 Rekap Simpangan Antar Tingkat

TABLE: Joint Displacements										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians	
1	EQdx	LinRespSpe Max		0	0	0	0	0	0	0
1	EQdy	LinRespSpe Max		0	0	0	0	0	0	0
2	EQdx	LinRespSpe Max		0,00479	0,00019	0,000002	0,000061	0,001525	0,000014	
2	EQdy	LinRespSpe Max		0,000229	0,005699	0,000072	0,001887	0,000007	0,000028	
3	EQdx	LinRespSpe Max		0,012517	0,000511	0,000146	0,000069	0,001653	0,000037	
3	EQdy	LinRespSpe Max		0,000592	0,015147	0,000129	0,00209	0,000073	0,000072	
4	EQdx	LinRespSpe Max		0,019828	0,000622	0,000191	0,000063	0,001474	0,000059	
4	EQdy	LinRespSpe Max		0,000906	0,024266	0,00017	0,001927	0,000066	0,00011	
5	EQdx	LinRespSpe Max		0,025787	0,001081	0,000218	0,000052	0,001188	0,000077	
5	EQdy	LinRespSpe Max		0,001154	0,031919	0,000195	0,00162	0,000063	0,000139	
6	EQdx	LinRespSpe Max		0,030116	0,001277	0,000231	0,000044	0,000913	0,000091	
6	EQdy	LinRespSpe Max		0,001357	0,037655	0,000207	0,001283	0,000059	0,000164	
7	EQdx	LinRespSpe Max		0,033463	0,001438	0,000233	0,000046	0,000951	0,000102	
7	EQdy	LinRespSpe Max		0,00155	0,042158	0,00021	0,001309	0,000065	0,000196	

(Sumber: Penulis, 2025)

Batas simpangan berdasar (SNI 1726:2019) pasal 7.8.7 sebagai berikut:

$$\Delta x = \frac{(\delta_2 - \delta_1) \times C_d}{I} < \Delta a, \text{ dengan } \Delta a = 0,10h_{sx} \text{ (kategori risiko IV) dan } C_d = 5,5$$

Ie = 1,5 (SNI 1726:2019) tabel 4

Tabel 4.19 Cek Syarat Simpangan Arah X

Lantai	Hsx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	Δa ijin (mm)	Kontrol
Atap	4100	0,033463	0,012272	41,00	OK
Lt. 6	4100	0,030116	0,015873	41,00	OK
Lt. 5	4100	0,025787	0,021849	41,00	OK
Lt. 4	4100	0,019828	0,026807	41,00	OK
Lt. 3	4100	0,012517	0,028369	41,00	OK
Lt. 2	4100	0,004780	0,017526	41,00	OK
Dasar	0	0	0	0,00	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

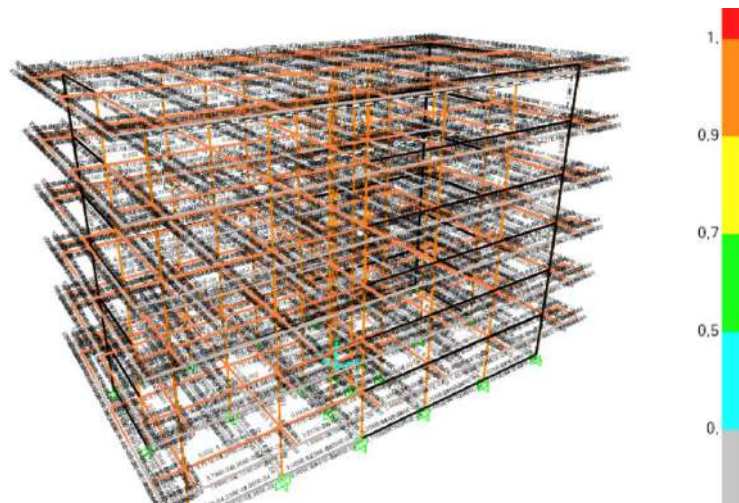
Tabel 4.20 Cek Syarat Simpangan Antar Y

Lantai	Hsy (mm)	dx (mm)	Δy (mm)	Δa ijin (mm)	Kontrol
Atap	4100	0,042158	0,016511	41,00	OK
Lt. 6	4100	0,037655	0,021032	41,00	OK
Lt. 5	4100	0,031919	0,028061	41,00	OK
Lt. 4	4100	0,024266	0,033436	41,00	OK
Lt. 3	4100	0,015147	0,034642	41,00	OK
Lt. 2	4100	0,005699	0,020896	41,00	OK
Dasar	0	0	0	0,00	OK

Sumber: Penulis

4. Kontrol Design dan Struktur Beton

Kontrol desain dilakukan saat semua kombinasi pembebanan sudah tercantum dalam setiap struktur yang direncanakan. Selain itu, kontrol desain dan struktur digunakan untuk mengetahui efisiensi dari dimensi, material beton, dan material baja tulangan yang digunakan dalam setiap *frames*. Kontrol desain dan struktur juga digunakan untuk memastikan bahwa semua struktur mampu menahan kapasitas beban rencana.



Gambar 4.3 Hasil Analisa Struktur
(Sumber: Penulis, 2025)

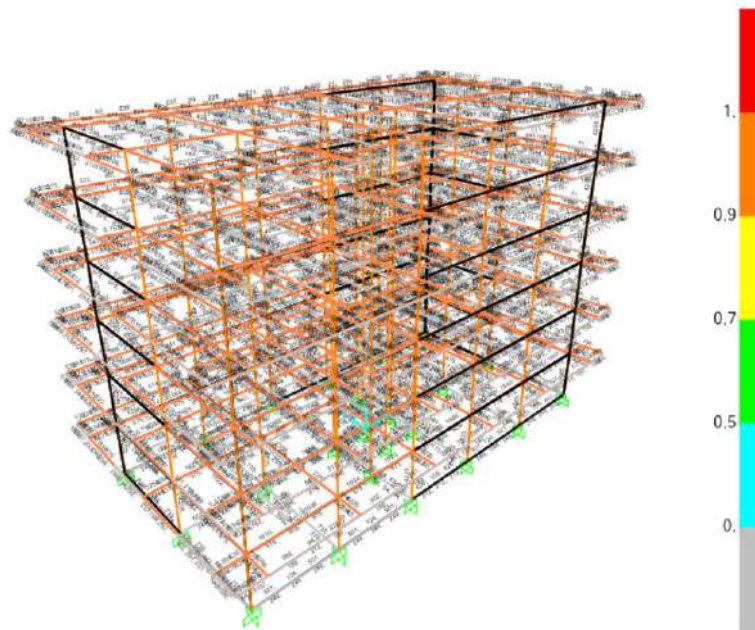
Pada gambar 4.3 diperoleh hasil sebagian besar *frames structure* berwarna *orange* untuk struktur kolom utama dan balok.



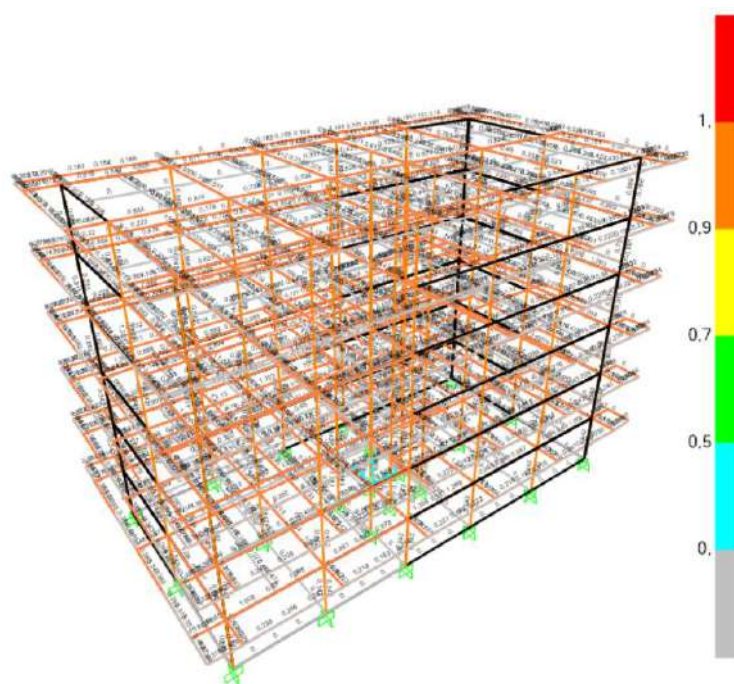
Gambar 4.4 Kontrol Hubungan Pembebanan dan Desain Struktur
(Sumber: Penulis, 2025)



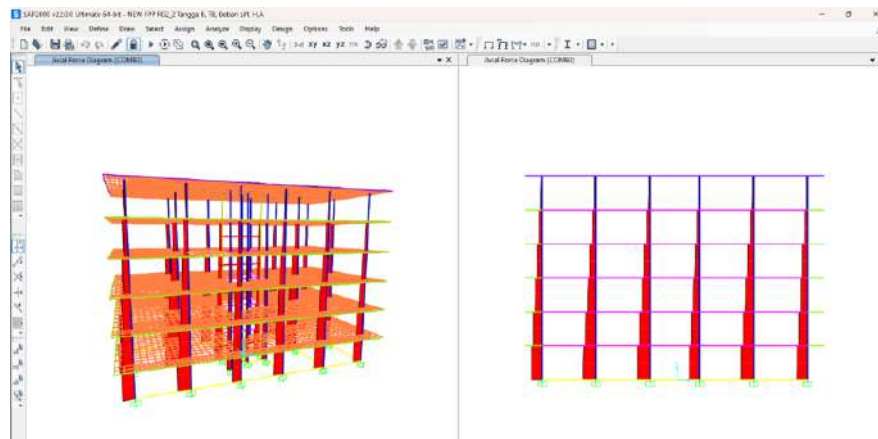
Gambar 4.5 Kontrol Kekuatan Dimensi Struktur
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.6 Tulangan Longitudinal *Frames Structures*
(Sumber: Penulis, 2025)

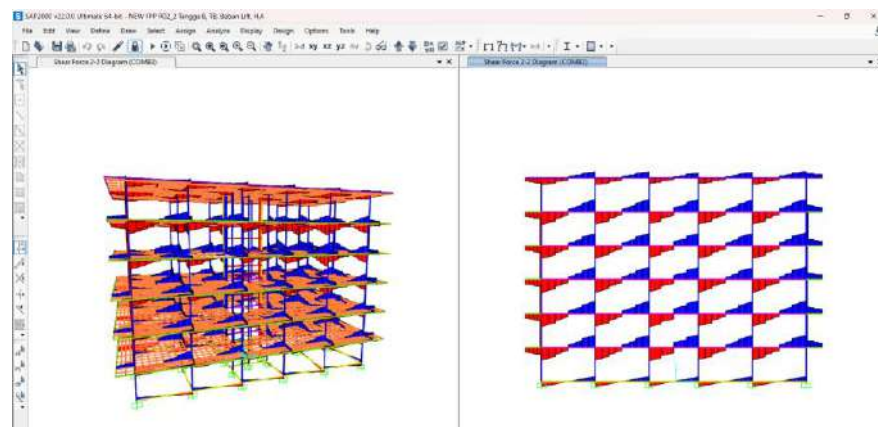


Gambar 4.7 Tulangan Transversal *Frames Structures*
(Sumber: Penulis, 2025)



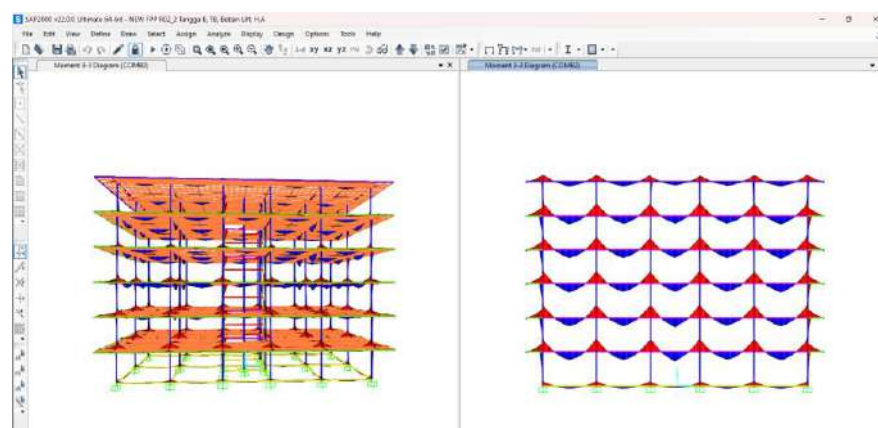
Gambar 4.8 Beban Aksial Analisis Struktur

(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4. 9 Gaya Geser Struktur

(Sumber: Penulis, 2025)

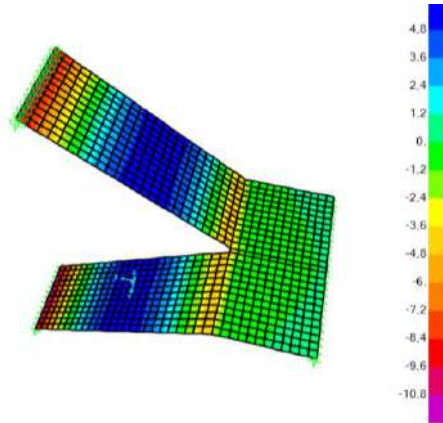


Gambar 4.10 Gaya Momen Struktur

(Sumber: Penulis, 2025)

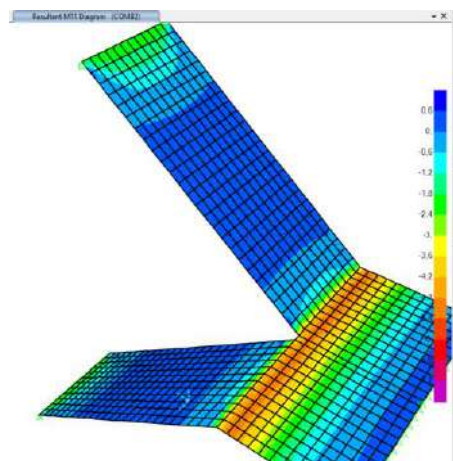
4.6.2 Analisis Struktur Tangga

Hasil analisis struktur tangga arah melintang dan memanjang sebagai berikut:



Gambar 4.11 Analisa Momen Tangga dan Bordes Arah Melintang

(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.12 Analisa Momen Tangga dan Bordes Arah Y Memanjang

(Sumber: Penulis, 2025)

4.7 Perhitungan Tulangan Struktur Atas Gedung Dekanat Pertanian dan Peternakan Undip

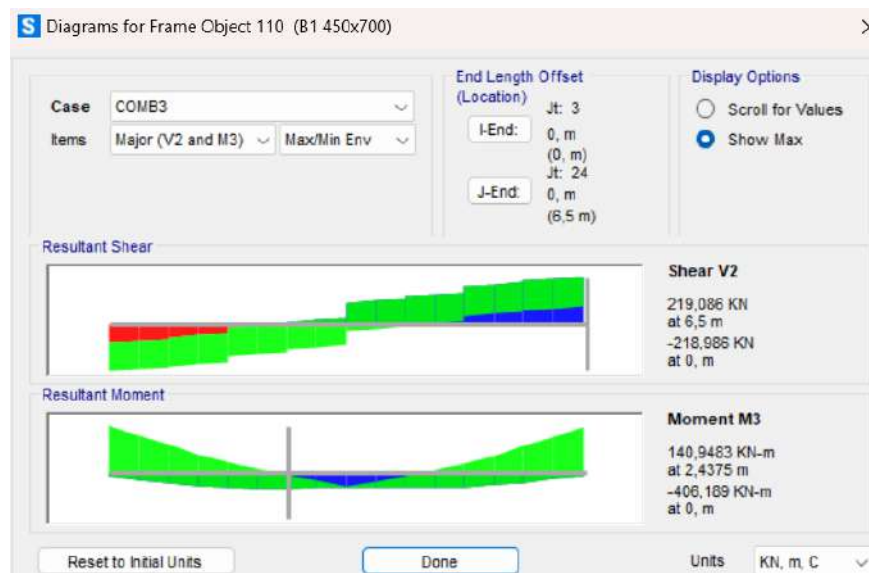
4.7.1 Perhitungan Tulangan Balok

Tulangan balok dihitung berdasarkan gaya momen dan geser yang muncul di SAP2000. Perhitungan geser dan momen diambil melalui gaya maksimum yang dihasilkan dari setiap elemen balok. Pada SAP2000, gaya geser dan gaya momen terbesar dapat ditinjau melalui *element forces-frames* pada menu *show tables* di SAP2000 seperti data berikut:

Tabel 4.21 Analisis Gaya Dalam Balok SAP2000

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN-m	m
110	6,5	COMB3	Combination	Max	3,223	219,086	29,6306	0,8125
110	0	COMB3	Combination	Min	-3,258	-218,99	-406,19	0
110	6,5	COMB4	Combination	Max	3,223	219,086	29,6306	0,8125
110	0	COMB4	Combination	Min	-3,258	-218,99	-406,19	0
110	1,625	COMB5	Combination	Max	1,35	-42,171	133,853	0,8125
110	2,03125	COMB5	Combination	Max	1,27	-8,162	139,32	0,40625
110	2,4375	COMB5	Combination	Max	1,27	1,382	140,948	0,8125
110	3,25	COMB5	Combination	Max	3,331	29,612	125,315	0,8125
110	4,0625	COMB5	Combination	Max	3,238	117,784	130,639	0,8125
110	5,28125	COMB5	Combination	Max	1,324	184,283	108,664	0,40625
110	6,5	COMB5	Combination	Max	3,223	219,086	29,6306	0,8125

(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.13 Gaya Geser dan Momen Maksimum Balok B1

(Sumber: Penulis, 2025)

Berdasarkan data pada gambar 4.13, perhitungan tulangan balok untuk balok induk tipe B1 sebagai berikut:

1. Data Perencanaan Balok

- Mutu Beton (f'_c) = 30 MPa
- Mutu Baja (f_y) = 420 MPa
- Dimensi Balok B1 = 450 x 700 mm
- Tulangan Utama (D) = 19 mm

- e. Tulangan Sengkang (d) = 10 mm
- f. Tebal Selimut Beton (p) = 40 mm
- g. d efektif balok = $h - p - d - (\frac{1}{2} D)$
 $= 700 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} 19)$
 $= 640,5 \text{ mm}$

h. Distribusi Tegangan

Jika $f'_c > 28 \text{ MPa}$ digunakan rumus koefisien sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \times 0,05 > 0,65 \\ &= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0,05 > 0,65 \\ &= 0,84 > 0,65 \text{ (Memenuhi)}\end{aligned}$$

i. Rasio Tulangan

Sesuai (SNI 2847:2019) pasal 21.5.2.1 rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi 0,025 dari d efektif tulangan yang dibatasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,84}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,84}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,029\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,0224\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

2. Perhitungan Tulangan

Diketahui data berdasarkan output SAP2000 tabel 4.21

Momen Lentur Lapangan (M_u) = 140,948 kN/m

Momen Lentur Tumpuan (M_u) = 406,189 kN/m

Gaya Geser (V_u) = 219,086 kN

a. Perhitungan Tulangan Balok B1 Area Lapangan

Tulangan Tarik Lapangan

Momen Nominal (M_u) = 140948000 Nmm

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{M_u}{0,8} \\ &= \frac{140948000}{0,8} \\ &= 176185000 \text{ Nmm} \\ &= 176,185 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{176185000}{184608112,5} \\ &= 0,95 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung rasio tulangan perlu:

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 30} \\ &= 16,47 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,95}{420}} \right) \\ &= 0,0023 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{max}} = 0,0023 < 0,0033 < 0,0224$, digunakan ρ_{min} sebagai batasan tulangan.

$$\begin{aligned} A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 450 \times 640,5 \\ &= \mathbf{960,75 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

As min (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1:

$$\begin{aligned} A_s_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 640,5 \\ &= \mathbf{960,75 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

As perlu Output SAP2000 = **804 mm²**

Direncanakan menggunakan As pasang, **5D19, As =1416,925 mm²**

Syarat Luas Tulangan Tarik Longitudinal Balok:

As pasang > MAX (As Perlu:As Min:As Perlu SAP2000)

1416,925 mm² > 960,75 mm² (**Memenuhi**)

Cek Syarat Kapasitas Momen Lentur:

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ hitung} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1416,925 \times 420}{0,85 \times 30 \times 450} \\ &= 51,861 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n \text{ hitung} &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - (\frac{a}{2})) \\ &= 0,85 \times 30 \times 51,861 \times 450 \times (640,5 - (\frac{51,861}{2})) \\ &= 365,735 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat Momen Lentur Balok:

$\phi M_n \text{ hitung} > M_n \text{ perlu}$

365,735 kNm > 176,185 kNm (**Memenuhi**)

Tulangan Tekan Lapangan

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.3.4.1, As tulangan tekan tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan tarik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= 1/3 \times 1416,925 \\ &= \mathbf{472,308 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

As output SAP2000 = **549 mm²**

As min (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1

$$\begin{aligned} As \text{ min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 640,5 \\ &= \mathbf{960,75 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan As pasang, **4D19, As =1134,115 mm²**

Syarat Luas Tulangan Tekan Longitudinal Balok

As pasang > MAX (As Perlu:As Min:As Perlu SAP2000)

1134,115 > 960,75 mm² (**Memenuhi**)

b. Perhitungan Tulangan Balok B1 Area Tumpuan

Tulangan Tarik Tumpuan

Momen Nominal (M_u) = 406189000 Nmm

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{M_u}{0,8} \\ &= \frac{406189000}{0,8} \\ &= 507736250 \text{ Nmm} \\ &= 507,736 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{507736250}{184608112,5} \\ &= 2,75 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung rasio tulangan perlu:

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 30} \\ &= 16,47 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= 0,0023 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{max}} = 0,0023 < 0,0033 < 0,0224$, digunakan ρ_{min} sebagai batasan tulangan.

$$\begin{aligned} A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 450 \times 640,5 \\ &= \mathbf{960,75 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

A_s_{min} (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1

$$\begin{aligned} A_s_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 640,5 \\ &= \mathbf{960,75 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

A_s_{perlu} Output SAP2000 = **1709 mm²**

Direncanakan menggunakan As pasang, **8D19, As =2267,08 mm²**

Syarat Luas Tulangan Longitudinal Balok

As pasang > MAX (As Perlu:As min:As Perlu SAP2000)

2267,08 mm² > 1709 mm² (**Memenuhi**)

Cek Syarat Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ hitung} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{2267,08 \times 420}{0,85 \times 30 \times 450} \\ &= 82,978 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n \text{ hitung} &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - (\frac{a}{2})) \\ &= 0,85 \times 30 \times 82,978 \times 450 \times (640,5 - (\frac{82,978}{2})) \\ &= 570,362 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat Momen Lentur Balok

$\phi M_n \text{ hitung} > M_n \text{ perlu}$

570,362 kNm > 507,736 kNm (**Memenuhi**)

Tulangan Tekan Tumpuan

Sesuai (SNI 2847:2013) pasal 21.3.4.1, As tulangan tekan tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan tarik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= 1/3 \times 2267,08 \\ &= \mathbf{755,693 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$As \text{ output SAP2000} = \mathbf{975 \text{ mm}^2}$$

As min (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1

$$\begin{aligned} As \text{ min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 640,5 \\ &= \mathbf{960,75 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan As pasang, **4D19, As =1134,115 mm²**

Syarat Luas Tulangan Tekan Longitudinal Balok

As pasang > MAX (As Perlu:As Min:As Perlu SAP2000)

1134,115 > 975 mm² (**Memenuhi**)

c. Perhitungan Tulangan Transversal Balok B1

Cek Kekuatan Geser Balok

V_u maks (Output SAP2000) = 219,086 kN

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 450 \times 640,5 \\ &= 263,112 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 V_c \\ &= 0,6 \times 263,112 \text{ kN} \\ &= 157,867 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1/2 \phi V_c &= 1/2 \times 157,867 \text{ kN} \\ &= 78,934 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{219,086}{0,6} \\ &= 365,143 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_n - V_c \\ &= 365,143 \text{ kN} - 263,112 \text{ kN} \\ &= 102,031 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat:

$$V_u > \phi V_c$$

$$219,086 \text{ kN} > 157,867 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

$$V_n > V_c$$

$$365,143 \text{ kN} > 263,112 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

Syarat Gaya Geser berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 7.5.1 dan 7.6.3.1, A_v min harus disediakan untuk $V_u > \phi V_c$. Direncanakan tulangan geser balok dengan diameter 10 mm dengan jarak yang diperhitungkan sebagai berikut:

1. A_v/S Perlu Tumpuan (Output SAP2000) = 1,034 mm²

Direncanakan dipakai 3D10

$$\begin{aligned} A_v \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 3 \\ &= \mathbf{235,6 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ Perlu} &= \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v/S \text{ Perlu}} \\ &= \frac{235,6}{1,034} \\ &= \mathbf{227,818 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Batasan jarak sengkang diatur dalam (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4 sebagai berikut:

$$S \text{ min } 1 = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S \text{ maks } 1 &= \frac{d'}{4} \\ &= \frac{640,5}{4} \\ &= 160 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ maks } 2 &= 6D \\ &= 6 \times 19 \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ maks } 3 = 150 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S \text{ min} \leq S \text{ Pakai} \leq \text{Min} (S \text{ max} : S \text{ Perlu})$$

$$100 \text{ mm} \leq \mathbf{100 \text{ mm}} \leq \text{Min} (160 \text{ mm} : 227,818 \text{ mm})$$

Digunakan tulangan sengkang tumpuan **3D10 - 100**

2. A_v/S Perlu Lapangan (Output SAP2000) = 0,914 mm²

Direncanakan dipakai 3D10

$$\begin{aligned} A_v \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 3 \\ &= \mathbf{235,6 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ Perlu} &= \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v / S \text{ Perlu}} \\
 &= \frac{235,6}{0,914} \\
 &= 257,789 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Batasan jarak sengkang diatur dalam (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4 sebagai berikut:

$$S \text{ min } 1 = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ maks } 1 &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{640,5}{2} \\
 &= 320 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ maks } 2 &= 6D \\
 &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S \text{ maks } 3 = 150 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S \text{ min} \leq S \text{ Pakai} \leq \text{Min} (S \text{ max} : S \text{ Perlu})$$

$$100 \text{ mm} \leq \mathbf{150 \text{ mm}} \leq \text{Min} (320 \text{ mm} : 257,789 \text{ mm})$$

Digunakan tulangan sengkang lapangan **3D10 - 150**

Tabel 4.22 Daftar Tulangan Lentur Balok

Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)	Daerah	Letak Tulangan	As Perlu (SAP) (mm²)	As Hitung (mm²)	As Min (mm²)	Ø Sengkang (mm)	Ø Utama (mm)	As Pasang (mm²)	Jarak Antar Tulangan	Syarat As Pasang ≥ As Perlu	Tulangan Dipasang
B1	450 x 700	Tumpuan	Atas	1709	960,75	960,75	10	19	2268,23	28	OK	8D19
			Bawah	975	960,75	960,75	10	19	1134,11	91	OK	4D19
		Lapangan	Atas	549	960,75	960,75	10	19	1134,11	91	OK	4D19
			Bawah	804	960,75	960,75	10	19	1417,64	64	OK	5D19
B2	450 x 700	Tumpuan	Atas	1581	960,75	960,75	10	19	1984,70	36	OK	7D19
			Bawah	975	960,75	960,75	10	19	1134,11	91	OK	4D19
		Lapangan	Atas	547	960,75	960,75	10	19	1134,11	91	OK	4D19
			Bawah	678	960,75	960,75	10	19	1417,64	64	OK	5D19
B3	450 x 700	Tumpuan	Atas	2109	954,00	954,00	13	22	2660,93	33	OK	7D19
			Bawah	1022	954,00	954,00	13	22	1140,40	142	OK	3D19
		Lapangan	Atas	688	954,00	954,00	13	22	1140,40	142	OK	3D19
			Bawah	975	954,00	954,00	13	22	1520,53	87	OK	4D19
Ba1	250 x 400	Tumpuan	Atas	583	285,00	285,00	10	16	804,25	95	OK	4D16
			Bawah	295	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16

		Lapangan	Atas	186	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
			Bawah	445	285,00	285,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
Ba2	250 x 400	Tumpuan	Atas	388	285,00	285,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
			Bawah	254	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
		Lapangan	Atas	126	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
			Bawah	164	285,00	285,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
Ba3	250 x 400	Tumpuan	Atas	439	285,00	285,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
			Bawah	361	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
		Lapangan	Atas	158	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
			Bawah	185	285,00	285,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
Ba4	250 x 400	Tumpuan	Atas	333	285,00	285,00	10	16	804,25	95	OK	4D16
			Bawah	218	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
		Lapangan	Atas	108	285,00	285,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
			Bawah	295	285,00	285,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
BSL	400 x 600	Tumpuan	Atas	1418	787,33	787,33	10	19	1984,70	36	OK	7D19
			Bawah	801	787,33	787,33	10	19	850,59	147	OK	3D19
		Lapangan	Atas	147	787,33	787,33	10	19	850,59	147	OK	3D19
			Bawah	718	787,33	787,33	10	19	1701,17	47	OK	6D19
BK1	350 x 500	Tumpuan	Atas	445	515,67	515,67	10	16	804,25	95	OK	4D16

			Bawah	220	515,67	515,67	10	16	603,19	151	OK	3D16
		Lapangan	Atas	165	515,67	515,67	10	16	603,19	151	OK	3D16
			Bawah	199	515,67	515,67	10	16	804,25	95	OK	4D16
BK2	350 x 500	Tumpuan	Atas	295	515,67	515,67	10	16	804,25	95	OK	4D16
			Bawah	147	515,67	515,67	10	16	603,19	151	OK	3D16
		Lapangan	Atas	73	515,67	515,67	10	16	603,19	151	OK	3D16
			Bawah	212	515,67	515,67	10	16	804,25	95	OK	4D16
BB	200 x 400	Tumpuan	Atas	434	228,00	228,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
			Bawah	315	228,00	228,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
		Lapangan	Atas	145	228,00	228,00	10	16	402,12	318	OK	2D16
			Bawah	385	228,00	228,00	10	16	603,19	151	OK	3D16
BAT1	300 x 450	Tumpuan	Atas	1292	390,50	390,50	10	19	1701,17	47	OK	6D19
			Bawah	618	390,50	390,50	10	19	850,59	147	OK	3D19
		Lapangan	Atas	403	390,50	390,50	10	19	567,06	312	OK	2D19
			Bawah	897	390,50	390,50	10	19	1134,11	91	OK	4D19
BAT2	300 x 450	Tumpuan	Atas	1058	390,50	390,50	10	19	1701,17	47	OK	6D19
			Bawah	509	390,50	390,50	10	19	567,06	312	OK	2D19
		Lapangan	Atas	336	390,50	390,50	10	19	567,06	312	OK	2D19
			Bawah	822	390,50	390,50	10	19	1134,11	91	OK	4D19

TB	400 x 600	Tumpuan	Atas	748	720,67	720,67	10	19	1417,64	64	OK	5D19
			Bawah	371	720,67	720,67	10	19	1134,11	91	OK	4D19
		Lapangan	Atas	185	720,67	720,67	10	19	1134,11	91	OK	4D19
			Bawah	371	720,67	720,67	10	19	1417,64	64	OK	5D19
TB1	400 x 600	Tumpuan	Atas	492	720,67	720,67	10	19	1417,64	64	OK	5D19
			Bawah	245	720,67	720,67	10	19	1134,11	91	OK	4D19
		Lapangan	Atas	122	720,67	720,67	10	19	1134,11	91	OK	4D19
			Bawah	240	720,67	720,67	10	19	1417,64	64	OK	5D19

(Sumber: Penulis, 2025)

Tabel 4.23 Daftar Cek Syarat Momen Balok

Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)	d Efektif (mm)	Daerah	Letak Tulangan	As Pasang (mm²)	Gaya Momen Mu (SAP) (kNm)	Gaya Momen Perlu Mn (kNm)	Gaya Momen Nominal øMn (kNm)	Kontrol regangan (a)	Syarat Momen Lentur (SNI 2847:2019)
B1	450 x 700	640,5	Tumpuan	Atas	2268,23	406,19	507,74	570,63	83	OK
				Bawah	1134,11					
			Lapangan	Atas	1134,11					
				Bawah	1417,64	140,95	176,19	365,91	52	OK
B2	450 x 700	640,5	Tumpuan	Atas	1984,70	377,22	471,53	503,63	73	OK
				Bawah	1134,11					
			Lapangan	Atas	1134,11					
				Bawah	1417,64	150,14	187,67	365,91	52	OK
B3	450 x 700	636	Tumpuan	Atas	2660,93	507,28	634,10	656,36	97	OK
				Bawah	1140,40					
			Lapangan	Atas	1140,40					
				Bawah	1520,53	185,58	231,97	388,39	56	OK
Ba1	250 x 400	342	Tumpuan	Atas	804,25	77,37	96,71	106,57	53	OK
				Bawah	402,12					
			Lapangan	Atas	402,12					

				Bawah	603,19	50,09	62,61	81,61	40	OK
Ba2	250 x 400	342	Tumpuan	Atas	603,19	51,44	64,30	81,61	40	OK
				Bawah	402,12					
			Lapangan	Atas	402,12					
				Bawah	603,19	31,87	39,84	81,61	40	OK
Ba3	250 x 400	342	Tumpuan	Atas	603,19	52,26	65,32	81,61	40	OK
				Bawah	402,12					
			Lapangan	Atas	402,12					
				Bawah	603,19	21,81	27,26	81,61	40	OK
Ba4	250 x 400	342	Tumpuan	Atas	804,25	67,98	84,98	106,57	53	OK
				Bawah	402,12					
			Lapangan	Atas	402,12					
				Bawah	603,19	29,05	36,32	81,61	40	OK
BSL	400 x 600	590,5	Tumpuan	Atas	1984,70	325,43	406,79	458,16	82	OK
				Bawah	850,59					
			Lapangan	Atas	850,59					
				Bawah	1701,17	289,20	361,50	396,88	70	OK
BK1	350 x 500	442	Tumpuan	Atas	804,25	63,12	78,91	142,91	38	OK
				Bawah	603,19					

			Lapangan	Atas	603,19					
				Bawah	804,25	38,92	48,64	142,91	38	OK
BK2	350 x 500	442	Tumpuan	Atas	804,25	50,67	63,34	142,91	38	OK
				Bawah	603,19					
			Lapangan	Atas	603,19					
				Bawah	804,25	26,99	33,73	142,91	38	OK
BB	200 x 400	342	Tumpuan	Atas	603,19	48,21	60,26	80,35	50	OK
				Bawah	402,12					
			Lapangan	Atas	402,12					
				Bawah	603,19	28,97	36,21	80,35	50	OK
BAT1	300 x 450	390,5	Tumpuan	Atas	1701,17	194,62	243,27	245,64	93	OK
				Bawah	850,59					
			Lapangan	Atas	567,06					
				Bawah	1134,11	117,16	146,45	171,18	62	OK
BAT2	300 x 450	390,5	Tumpuan	Atas	1701,17	172,56	215,70	245,64	93	OK
				Bawah	567,06					
			Lapangan	Atas	567,06					
				Bawah	1134,11	117,89	147,36	171,18	62	OK
TB	400 x 600	540,5	Tumpuan	Atas	1417,64	158,22	197,78	300,97	70	OK

				Bawah	1134,11					
			Lapangan	Atas	1134,11					
				Bawah	1417,64	89,20	111,50	300,97	70	OK
TB1	400 x 600	540,5	Tumpuan	Atas	1417,64	91,13	113,91	300,97	70	OK
				Bawah	1134,11					
			Lapangan	Atas	1134,11					
				Bawah	1417,64	44,76	55,94	300,97	70	OK

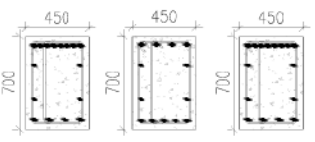
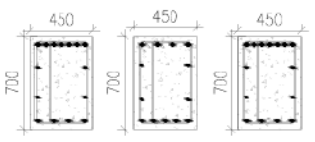
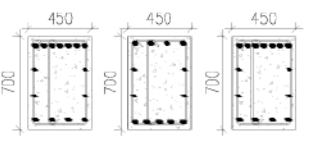
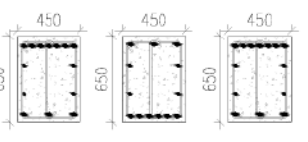
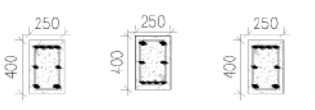
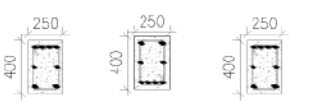
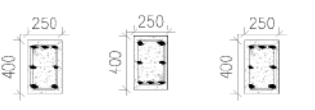
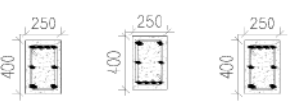
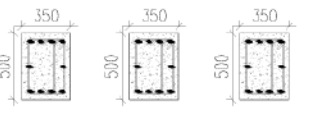
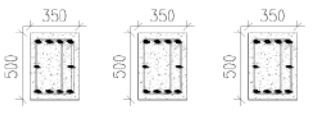
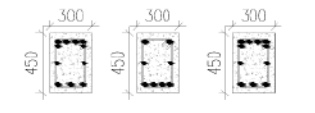
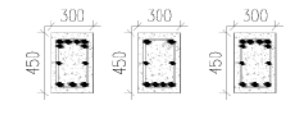
(Sumber: Penulis, 2025)

Tabel 4.24 Daftar Tulangan Geser Balok

Tipe Balok	Gaya Geser Vu (SAP) (kN)	Daerah	Av/S Perlu (SAP) (mm²/mm)	As Perlu (mm²)	S Perlu (mm)	S Max 1 (mm)	S Max 2 (mm)	S Max 3 (mm)	Cek Syarat Geser	Cek Spasi	Tulangan Dipasang
B1	219,086	Tumpuan	1,034	235,62	227,87	160	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	0,914	235,62	257,79	320	114	150		Pakai S Max	3D10-150
B2	207,452	Tumpuan	0,889	235,62	265,04	160	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	0,789	235,62	298,63	320	114	150		Pakai S Max	3D10-150
B3	246,949	Tumpuan	1,239	398,20	321,39	159	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	1,046	398,20	380,69	318	114	150		Pakai S Max	3D10-150
Ba1	81,28	Tumpuan	0,463	157,08	339,26	86	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,445	157,08	352,99	171	114	150		Pakai S Max	2D10-150
Ba2	32,812	Tumpuan	0,361	157,08	435,12	86	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,308	157,08	510,00	171	114	150		Pakai S Max	2D10-150
Ba3	38,442	Tumpuan	0,588	157,08	267,14	86	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,560	157,08	280,50	171	114	150		Pakai S Max	2D10-150
Ba4	66,305	Tumpuan	0,687	157,08	228,65	86	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,600	157,08	261,80	171	114	150		Pakai S Max	2D10-150
BAT1	109,63	Tumpuan	0,617	157,08	254,59	98	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,594	157,08	264,44	195	114	150		Pakai S Max	2D10-150

BAT2	114,376	Tumpuan	0,515	157,08	305,01	98	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,453	157,08	346,75	195	114	150		Pakai S Max	2D10-150
BK1	37,93	Tumpuan	0,578	235,62	407,65	111	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	0,539	235,62	437,14	221	114	150		Pakai S Max	3D10-150
BK2	33,26	Tumpuan	0,224	235,62	1051,87	111	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	0,192	235,62	1227,18	221	114	150		Pakai S Max	3D10-150
BSL	190,6	Tumpuan	1,509	235,62	156,14	148	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	1,391	235,62	169,39	295	114	150		Pakai S Max	3D10-150
BB	49,951	Tumpuan	0,587	157,08	267,60	86	114	150	OK	Pakai S Max	2D10-100
		Lapangan	0,492	157,08	319,27	171	114	150		Pakai S Max	2D10-150
TB	113,622	Tumpuan	0,100	235,62	2356,19	135	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	0,100	235,62	2356,19	270	114	150		Pakai S Max	3D10-150
TB1	84,119	Tumpuan	0,100	235,62	2356,19	135	114	150	OK	Pakai S Max	3D10-100
		Lapangan	0,100	235,62	2356,19	270	114	150		Pakai S Max	3D10-150

(Sumber: Penulis, 2025)

TIPE	B1(450 x 700)			B2(400 x 700)			B3(400 x 700)			BSL(450 x 650)			
POSISI	TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			
FC' = 30 Mpa													
	TUL. ATAS	8D19	4D19	8D19	7D19	4D19	7D19	7D22	4D22	7D22	7D19	3D19	7D19
	TUL. BAWAH	4D19	5D19	4D19	4D19	5D19	4D19	4D22	5D22	4D22	3D19	6D19	3D19
	SENGKANG & TIES	□1.5D10-100	□1.5D10-150	□1.5D10-100	□1.5D10-100	□1.5D10-150	□1.5D10-100	□1.5D10-100	□1.5D10-150	□1.5D10-100	□1.5D10-100	□1.5D10-150	□1.5D10-100
TIPE	BA1(250 x 400)			BA2(250 x 400)			BA3(250 x 400)			BA4(250 x 400)			
POSISI	TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			
FC' = 30 Mpa													
	TUL. ATAS	4D16	2D16	4D16	4D16	2D16	4D16	3D16	2D16	3D16	4D16	2D16	4D16
	TUL. BAWAH	2D16	4D16	2D16	2D16	4D16	2D16	2D16	3D16	2D16	2D16	4D16	2D16
	SENGKANG & TIES	□ D10-100	□ D10-150	□ D10-100	□D10-100	□ D10-150	□ D10-100	□D10-100	□D10-150	□D10-100	□D10-100	□D10-150	□D10-100
TIPE	BK1(350 x 500)			BK2(350 x 500)			BAT 1 (300 x 450)			BAT 2 (300 x 450)			
POSISI	TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			TUMPUAN/LAPANGAN/TUMPUAN			
FC' = 30 Mpa													
	TUL. ATAS	4D16	2D16	4D16	4D16	4D16	4D16	6D19	2D16	6D16	4D16	2D16	4D16
	TUL. BAWAH	4D16	4D16	4D16	4D16	4D16	4D16	3D19	4D16	2D16	2D16	4D16	2D16
	SENGKANG & TIES	□1.5D10-100	□1.5D10-150	□1.5D10-100	□1.5D10-100	□1.5D10-150	□1.5D10-100	□D10-100	□D10-150	□D10-100	□D10-100	□D10-150	□D10-100

Gambar 4.14 Detail Penulangan Balok

(Sumber: Penulis, 2025)

4.7.2 Perhitungan Tulangan Pelat

Diketahui data perencanaan yang digunakan dalam perhitungan tulangan pelat lantai diantaranya:

1. Data Perencanaan

- a. Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
- b. Mutu Baja (f_y) = 420 MPa
- c. Rencana Tulangan (D) = 10 mm
- d. Tebal Pelat = 120 mm
- e. Tebal Selimut Beton (p) = 20 mm
- f. Asumsi bentang Tulangan (b) = 1000 mm

$$\begin{aligned} \text{g. } d' &= p + D/2 \\ &= 20 + 5 \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. } d &= h - d' \\ &= 120 - 25 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. } dx &= h - p - (D/2) \\ &= 120 - 20 - 5 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{j. } dy &= h - p - (D/2) - D \\ &= 120 - 20 - 5 - 10 \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{k. } \beta = 0,84$$

l. Rasio Tulangan:

$$\rho_b = 0,0298$$

$$\rho_{\max} = 0,0223$$

$$\rho_{\min} = 0,0033$$

$$L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$L_x = 3250 \text{ mm}$$

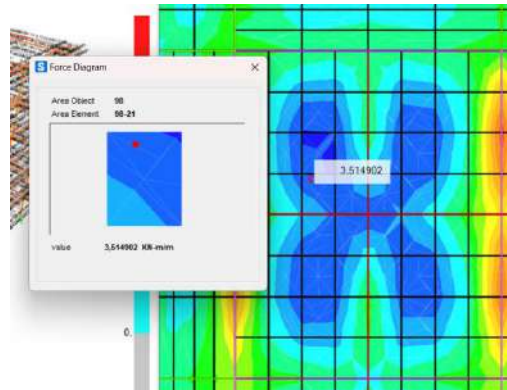
m. Analisis Gaya Momen Pelat P1 (Output SAP2000)

$$M_{lx} = 3,514 \text{ Knm}$$

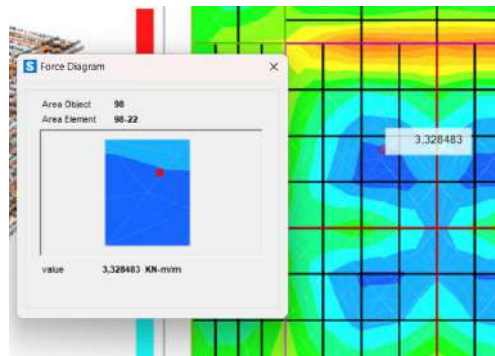
$$M_{ly} = 3,328 \text{ Knm}$$

$$M_{tx} = 7,453 \text{ Knm}$$

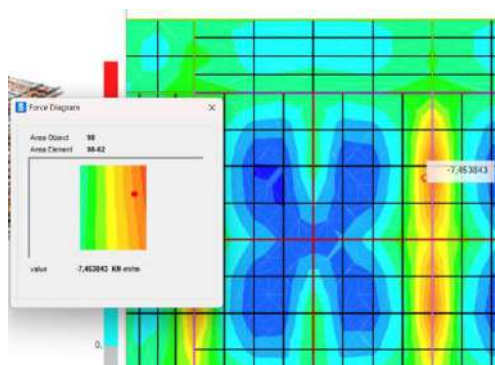
$$M_{tx} = 6,496 \text{ Knm}$$



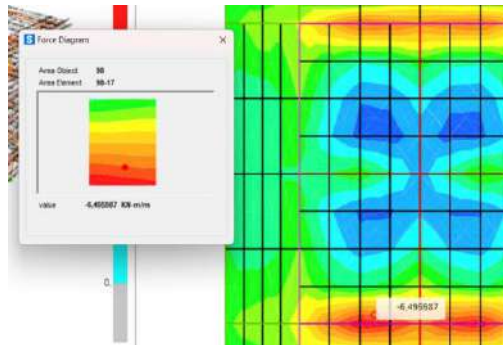
Gambar 4.15 Momen Nominal Lapangan Arah X
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.16 Momen Nominal Lapangan Arah Y
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.17 Momen Nominal Tumpuan Arah X
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.18 Momen Nominal Tumpuan Arah Y
(Sumber: Penulis, 2025)

2. Perhitungan Tulangan Lapangan Pelat P1

a. Arah X

$$\text{Momen X (Mlx)} = 3,514 \text{ kNm} = 3514000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn Perlu} &= \frac{Mlx}{\phi} \\ &= \frac{3514000}{0,8} \\ &= 4392500 \text{ Nmm} \\ &= 4,392 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn \text{ Perlu}}{b \times dx^2} \\ &= \frac{4392500}{1000 \times 95} \\ &= 0,49 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio batasan tulangan:

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} \\ &= 16,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,49}{420}} \right) \\ &= 0,0011 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ max} = 0,0223$$

$$\rho \text{ min} = 0,0033$$

Syarat:

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max} = 0,0011 < \mathbf{0,0033} < 0,0224$, digunakan $\rho \text{ min}$ sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} \text{As Perlu} &= \rho \text{ min} \times b \times d_x \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 95 \\ &= \mathbf{316,667 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\text{As Pakai D10 - 200} = \mathbf{392,5 \text{ mm}^2}$$

Syarat:

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 316,667 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Kontrol kapasitas momen lentur

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ pakai} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{164850}{25500} \\ &= 6,465 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ hitung} &= As \text{ pakai} \times f_y \times \left(d_x - \left(\frac{a}{2} \right) \right) \\ &= 392,5 \times 420 \times \left(95 - \left(\frac{6,465}{2} \right) \right) \\ &= 15959967,37 \text{ Nmm} \\ &= \mathbf{15,959 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Syarat momen lentur pelat:

$$M_n \text{ hitung} > M_n \text{ perlu}$$

$$15,959 \text{ kNm} > 4,392 \text{ kNm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka, digunakan tulangan **D10-200** pada tulangan lapangan arah X

b. Arah Y

$$\text{Momen Y (Mly)} = 3,328 \text{ kNm} = 3328000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mly}{\phi} \\ &= \frac{3328000}{0,8} \\ &= 4160000 \text{ Nmm} \\ &= \mathbf{4,16 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\
 &= \frac{4160000}{1000 \times 85} \\
 &= 0,58 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio batasan tulangan:

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} \\
 &= 16,47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,58}{420}} \right) \\
 &= 0,0013
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,0223$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0033$$

Syarat:

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{max}} = 0,0011 < \mathbf{0,0033} < 0,0224$, digunakan ρ_{min} sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{As Perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times dy \\
 &= 0,0033 \times 1000 \times 85 \\
 &= 283,333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{As Pakai D10 - 200} = 392,5 \text{ mm}^2$$

Syarat:

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 283,333 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Kontrol Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \text{ pakai} \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{164850}{25500} \\
 &= 6,465 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ hitung} &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times (d_y - (\frac{a}{2})) \\
 &= 392,5 \times 420 \times (85 - (\frac{6,465}{2})) \\
 &= 15127896,62 \text{ Nmm} \\
 &= 15,128 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat momen lentur pelat:

$M_n \text{ hitung} > M_n \text{ perlu}$

$15,128 \text{ kNm} > 4,16 \text{ kNm}$ (**Memenuhi**)

Maka, digunakan tulangan **D10-200** pada tulangan lapangan arah Y

3. Perhitungan Tulangan Tumpuan Pelat P1

a. Arah X

Momen X (M_{tx}) = 7,453 kNm = 7453000 Nmm

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{tx}}{\phi} \\
 &= \frac{7453000}{0,8} \\
 &= 8281111,11 \text{ Nmm} \\
 &= 8,281 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d_x^2} \\
 &= \frac{8281111,11}{1000 \times 95} \\
 &= 0,92 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio batasan tulangan:

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= 16,47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,92}{420}} \right) \\
 &= 0,0022
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ max} = 0,0223$$

$$\rho \text{ min} = 0,0033$$

Syarat:

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max} = 0,0022 < \mathbf{0,0033} < 0,0224$, digunakan $\rho \text{ min}$ sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} \text{As Perlu} &= \rho \text{ min} \times b \times dx \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 95 \\ &= 316,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As Pakai D10 - 200} = 392,5 \text{ mm}^2$$

Syarat:

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 316,667 \text{ mm}^2 \text{ (**Memenuhi**)}$$

Kontrol Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \text{ pakai} \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{164850}{25500} \\ &= 6,465 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ hitung} &= As \text{ pakai} \times fy \times (dx - (\frac{a}{2})) \\ &= 392,5 \times 420 \times (95 - (\frac{6,465}{2})) \\ &= 15959967,37 \text{ Nmm} \\ &= 15,959 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat momen lentur pelat:

$$M_n \text{ hitung} > M_n \text{ perlu}$$

$$15,959 \text{ kNm} > 8,281 \text{ kNm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Maka, digunakan tulangan **D10-200** pada tulangan lapangan arah X

b. Arah Y

$$\text{Momen Y (Mty)} = 6,496 \text{ kNm} = 6496000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mty}{\phi} \\ &= \frac{6496000}{0,8} \\ &= 7217777,778 \text{ Nmm} \\ &= 7,218 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\
 &= \frac{7217777,778}{1000 \times 85} \\
 &= 1 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio batasan tulangan:

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \\
 &= 16,47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1}{420}} \right) \\
 &= 0,0024
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,0223$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0033$$

Syarat:

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{max}} = 0,0024 < \mathbf{0,0033} < 0,0224$, digunakan ρ_{min} sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{As Perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d_y \\
 &= 0,0033 \times 1000 \times 85 \\
 &= 283,333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{As Pakai D10 - 200} = 392,5 \text{ mm}^2$$

Syarat

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 283,333 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Kontrol Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As_{\text{pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{164850}{25500} \\
 &= 6,465 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ hitung} &= A_s \text{ pakai} \times f_y \times (d_y - (\frac{a}{2})) \\
 &= 392,5 \times 420 \times (85 - (\frac{6,465}{2})) \\
 &= 15127896,62 \text{ Nmm} \\
 &= 15,128 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat momen lentur pelat:

$M_n \text{ hitung} > M_n \text{ perlu}$

$15,128 \text{ kNm} > 7,218 \text{ kNm}$ (**Memenuhi**)

Maka, digunakan tulangan **D10-200** pada tulangan lapangan arah Y

4. Kontrol Lendutan Pelat

Modulus Elastisitas (E_c):

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 25742,9602 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Beban merata tak berfaktor pelat:

$$\begin{aligned}
 q_U &= q_D + q_L \\
 &= 453 \text{ kg/m}^2 + 250 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 703 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 7,03 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Batas lendutan maksimum saat pelat memikul beban non struktural dan tidak akan rusak yaitu:

$$\begin{aligned}
 \delta_{\max} &= \frac{Lx}{240} \\
 &= \frac{3250}{240} \\
 &= \mathbf{13,542 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_g &= 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 144000000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus keruntuhan lentur beton:

$$\begin{aligned}
 f_r &= 0,7 \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 3,834
 \end{aligned}$$

Perbandingan modulus elastisitas:

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{25742,96} \\ &= 7,769 \end{aligned}$$

Jarak garis netral pelat beton:

$$\begin{aligned} C &= \frac{n \times A_s \text{ hitung}}{b} \\ &= \frac{1962,5}{1000} \\ &= 1,9625 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen inersia penampang retak:

$$\begin{aligned} I_{cr} &= (1/3 \times b \times C^3) + (n \times A_s \times (d - C)^2) \\ &= 2519,461589 + 16987353,7 \\ &= 16989873,16 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_t &= h/2 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen retak:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{Y_t} \\ &= \frac{3,834 \times 144000000}{60} \\ &= 9201738,966 \end{aligned}$$

Inersia Efektif Lendutan

$$\begin{aligned} M_a &= 1/8 \times q \times Lx^2 \\ &= 9281796,875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right) \times I_{cr} \\ &= \left(\frac{9201738,966}{9281796,875} \right)^3 \times 144000000 + \left(1 - \left(\frac{9201738,966}{9281796,875} \right)^3 \right) \times 16989873,16 \\ &= 140741779,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan elastis:

$$\begin{aligned} \delta_e &= \frac{5}{384} \times q \times \frac{Lx^3}{E_c \times I_e} \\ &= \frac{5}{384} \times 7,03 \times \frac{3250^3}{25742,9602 \times 140741779,3} \end{aligned}$$

$$= 0,000867 \text{ mm}$$

Rasio tulangan pelat:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{392,5}{1000 \times 95} \\ &= 0,00413\end{aligned}$$

Sesuai tabel 2.4, beban tetap diasumsikan terjadi selama lebih dari 60 bulan dengan faktor pengaruh waktu = 2. Lendutan jangka panjang yang diakibatkan oleh rangka dan susut dihitung berdasarkan rumus (SNI 2847:2019) pasal R24.2.4.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\xi}{1 + 50\rho} \\ &= \frac{2}{1 + 50(0,00413)} \\ &= 1,657\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_g &= \lambda \times qU \\ &= 1,657 \times 7,03 \\ &= 11,652 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan total:

$$\begin{aligned}\delta_{\text{total}} &= \delta_e + \delta_g \\ &= \mathbf{11,653 \text{ mm}}\end{aligned}$$

Syarat:

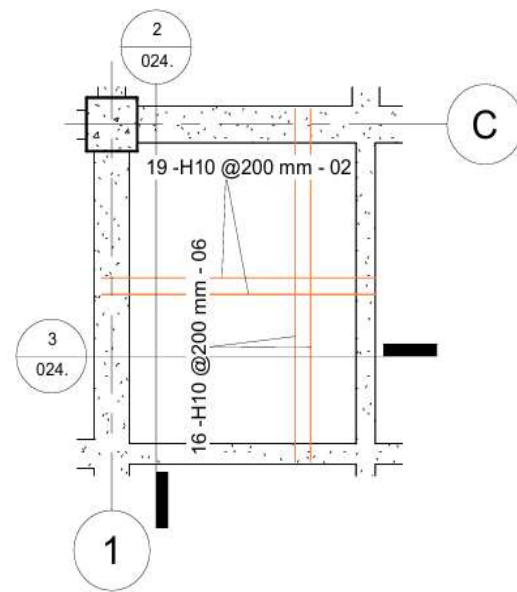
$$\delta_{\text{total}} < \delta_{\text{max}}$$

$$11,653 \text{ mm} < 13,542 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

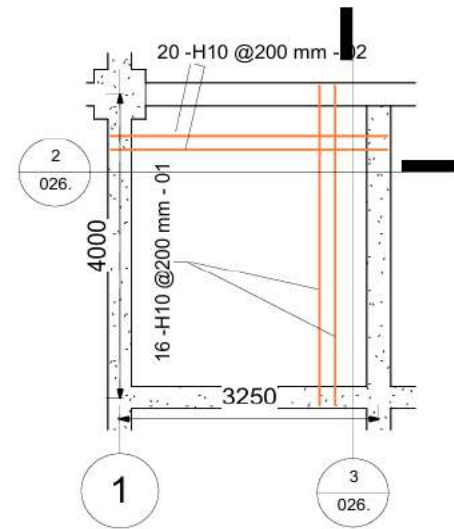
Tabel 4.25 Daftar Tulangan Pelat Lantai dan Atap

Tipe Balok	Tebal Pelat (mm)	Nama Tulangan	Daerah	Mu (SAP) (kNm)	As Perlu (mm²)	As Pakai (mm²)	ØMn (kNm)	Lendutan Total	Batas Max Lendutan Izin	Cek Lendut	Cek Kapasitas Momen	Cek As Pakai $\geq$ As Perlu	Tulangan Dipasang
P1	120	Tulangan X	Tumpuan	7,453	316,67	392,70	15,96				OK	OK	D10-200
			Lapangan	3,514	316,67	392,70	15,96	11,65	13,54	OK	OK	OK	D10-200
		Tulangan Y	Tumpuan	6,496	283,33	392,70	15,96				OK	OK	D10-200
			Lapangan	3,318	283,33	392,70	15,96	11,65	13,54	OK	OK	OK	D10-200
P2	100	Tulangan X	Tumpuan	4,524	250,00	314,16	10,21				OK	OK	D10-200
			Lapangan	2,111	250,00	314,16	10,21	7,55	13,54	OK	OK	OK	D10-200
		Tulangan Y	Tumpuan	4,478	216,67	314,16	10,21				OK	OK	D10-200
			Lapangan	2,582	216,67	314,16	10,21	7,55	13,54	OK	OK	OK	D10-200

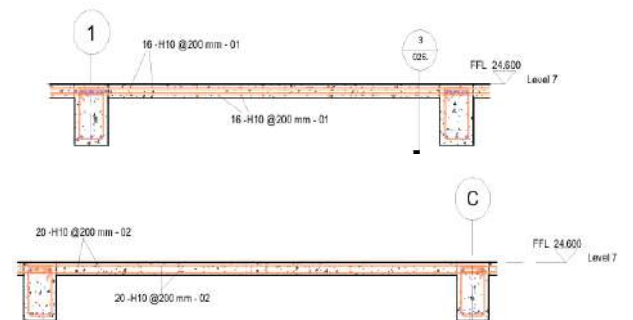
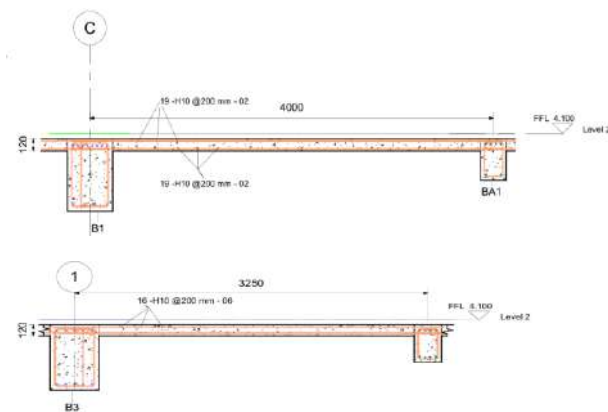
(Sumber: Penulis, 2025)



1 Penulangan Pelat Lantai P1
1 : 75



1 Penulangan Pelat Atap
1 : 75



Gambar 4.19 Detail Penulangan Pelat
(Sumber: Penulis, 2025)

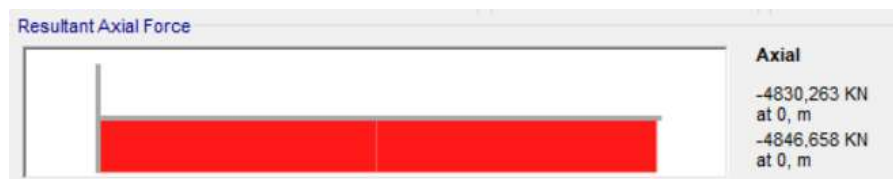
4.7.3 Perhitungan Tulangan Kolom

Data hasil analisis struktur SAP2000 dengan preliminary design kolom K1 sebagai berikut:

Tabel 4.26 Analisis Gaya Dalam Kolom SAP2000

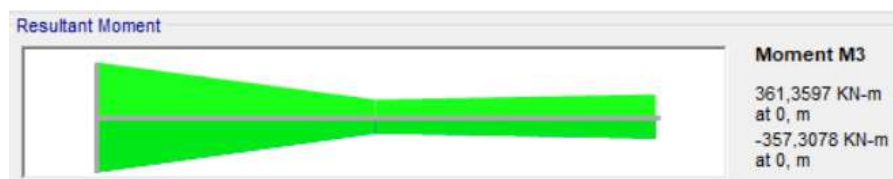
TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN-m
25	0	COMB1	Combination		-4330,35	1,474	1,5602
25	2,05	COMB1	Combination		-4301,81	1,474	-1,4625
25	4,1	COMB1	Combination		-4273,27	1,474	-4,4852
25	0	COMB3	Combination Max		-4830,26	123,748	361,36
25	0	COMB11	Combination Min		-2389,89	-121,128	-358,476
25	2,05	COMB11	Combination Min		-2374,19	-121,128	-110,601
25	4,1	COMB11	Combination Min		-2358,5	-121,128	-143,763
26	0	COMB3	Combination Max		-3941,93	127,658	272,47
26	0	COMB11	Combination Min		-1955,46	-122,067	-261,741
30	4,1	COMB11	Combination Max		-196,987	39,2	47,7445

(Sumber: Penulis, 2025)



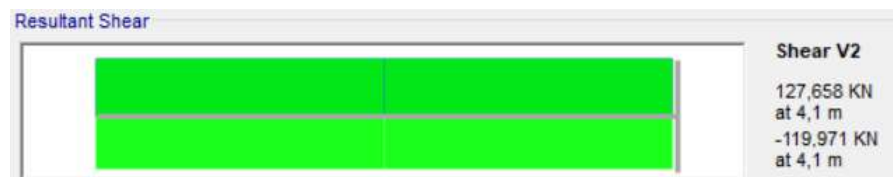
Gambar 4.20 Gaya Aksial Maksimum Kolom

(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.21 Gaya Momen Maksimum Kolom

(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.22 Gaya Geser Maksimum Kolom

(Sumber: Penulis, 2025)

Diperoleh hasil gaya dalam pada struktur kolom sebagai berikut:

$$P_u = 4830,26 \text{ kN}$$

$$M_u = 361,36 \text{ kNm}$$

$$V_u = 127,658 \text{ kN}$$

1. Periksa Dimensi Kolom

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 21.6.1, dimensi kolom harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Kolom menerima beban aksial terfaktor lebih besar dari:

$$\frac{A_g \times f'_{cx}}{10} < P_u$$

$$\frac{(650 \times 650) \times 30}{10} < 4830,26 \text{ kN}$$

$$1267500 \text{ N} < 4830,26 \text{ kN}$$

$$1267,5 \text{ kN} < 4830,26 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

- b. Ukuran penampang terpendek:

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

$$650 \geq 300 \text{ mm (Memenuhi)}$$

- c. Rasio dimensi:

$$\frac{b}{h} > 0,4$$

$$\frac{650}{650} > 0,4$$

$$1 > 0,4 \text{ (Memenuhi)}$$

2. Periksa Momen Lentur Tulangan Longitudinal Kolom

- a. As Perlu (Output SAP2000) = 4225 mm²

$$\text{Digunakan As Pakai 15D19} = 4253 \text{ mm}^2$$

Syarat

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu (Output SAP2000)}$$

$$4253 \text{ mm}^2 > 4225 \text{ mm}^2$$

Rasio harus diperhitungkan berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 18.7.4.1, dengan syarat:

$$1\% < \frac{A_s \text{ Pakai}}{b \times h} < 6\%$$

$$1\% < \frac{4253}{650 \times 650} < 6\%$$

$$1\% < 1,01\% < 6\% \text{ (Memenuhi)}$$

Dengan demikian, digunakan tulangan longitudinal kolom sebesar **15D19** ($A_s = 4253 \text{ mm}^2$).

b. Kondisi Keruntuhan Imbang (P_u)

$$\begin{aligned} d' &= p + d + (\frac{1}{2}D) \\ &= 40 + 13 + (\frac{1}{2} \times 19) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= b - d' \\ &= 587,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= \frac{0,003 \times E_s}{0,003 \times E_s + f_y} \times \beta_1 \times d \\ &= \frac{600}{1020} \times 0,85 \times d \\ &= 293,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{Ab}{\beta_1} \\ &= \frac{293,75}{0,85} \\ &= 345,588 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \times f'_c \times ab \times b \\ &= 0,85 \times 30 \times 293,75 \times 650 \\ &= 4868906,25 \text{ N} \\ &= 4868,90 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi P_n > P_u$$

$$4868,90 \text{ kN} > 4830,26 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} d'' &= \frac{0,85 \times f'_c \times b \times h \times (d - 1/2h) + A_s' \times f_y \times (d - d')}{0,85 \times f'_c \times b \times h + (A_s' + A_s) \times f_y} \\ &= \frac{3765405263}{14344401} \\ &= 262,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Eksentrisitas Gaya

$$\begin{aligned} eb &= d - d'' - \frac{1}{2} Ab \\ &= 178,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n e_b &= \phi P_n \times e_b + A_s' \times f_y \times (d - d' - d'') + A_s \times f_s \times d'' \\
 &= 867273,9258 + 468647943,8 + 468647943,8 \\
 &= 938163161,4 \text{ Nmm} \\
 &= 938,16 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi P_n e_b > M_u$$

$$938,16 \text{ kNm} > 361,36 \text{ kNm} \text{ (Memenuhi)}$$

d. Kontrol Regangan Baja Tulangan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s' &= 0,003 \times \frac{C_b - d'}{C_b} \\
 &= 0,003 \times \frac{283,088}{345,588} \\
 &= 0,00246
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
 &= \frac{420}{200000} \\
 &= 0,0021
 \end{aligned}$$

Syarat regangan baja tulangan:

$$\epsilon_s' > \epsilon_y$$

$$0,00246 > 0,0021 \text{ (Memenuhi)}$$

3. Periksa Syarat Gaya Geser (V_c)

Gaya geser kolom ditentukan dari (SNI 2847:2013) pasal 21.6.3.1 yang dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{pr} &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= 555,938 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

M_{pr} dianggap menjadi momen seimbang yang sama antara interior atas dan bawah, maka kuat geser nominal beton kolom dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{2 \times M_{pr}}{L_n} \\
 &= \frac{1111,876}{4,1} \\
 &= 271,189 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$V_c > V_u$$

$$271,189 \text{ kN} > 127,658 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

4. Spasi Tulangan Geser Kolom

$$A_v/S \text{ Perlu (Output SAP2000)} = 1,311 \text{ mm}^2$$

Direncanakan dipakai 4D13

$$\begin{aligned} A_v \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 4 \\ &= 530,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ Perlu} &= \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v/S \text{ Perlu}} \\ &= \frac{530,93}{1,311} \\ &= 404,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Batasan jarak sengkang diatur dalam (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4 sebagai berikut:

$$S \text{ min } 1 = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S \text{ maks } 1 &= \frac{h}{4} \\ &= \frac{650}{4} \\ &= 162,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ maks } 2 &= 6D \\ &= 6 \times 19 \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ maks } 3 = 150 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S \text{ min} \leq S \text{ Pakai} \leq \text{Min} (S \text{ max} : S \text{ Perlu})$$

$$100 \text{ mm} \leq \mathbf{150 \text{ mm}} \leq \text{Min} (162,5 \text{ mm} : 404,98 \text{ mm})$$

Digunakan tulangan geser kolom **D13-150**

Tabel 4.27 Daftar Tulangan Longitudinal Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	Gaya Aksial Pu (kN)	Gaya Aksial Hitung ϕP_n (kN)	As Perlu SAP (mm²)	As Pasang (mm²)	Syarat As Pasang $\geq$ As Perlu	Tulangan Pasang	Cek Syarat Gaya Aksial (SNI 2847:2013) pasal 21.6.1	Rasio Tulangan	Cek Syarat Rasio Tulangan
K1	650 x 650	4830,26	4868,91	4225	4253	OK	15D19	OK	1,01%	OK
K2	700 x 700	4009,51	5676,30	4900	4942	OK	13D22	OK	1,01%	OK
KT	350 x 700	1318,22	1327,59	3771	3969	OK	14D19	OK	1,62%	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

Tabel 4.28 Daftar Tulangan Geser Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	Av/ S Perlu SAP (mm²)	Gaya Geser Vu SAP (kN)	Gaya Geser Hitung Vn (kN)	Av Pasang (mm²)	S Perlu (mm)	Spasi Max 1 (mm) (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4.3	Spasi Max 2 (mm) (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4.3	Spasi Max 3 (mm) (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4.3	Cek Syarat Geser	Cek Spasi	Tulangan Dipasang
K1	650 x 650	1,311	127,66	271,19	530,93	404,98	162,5	114	150	OK	Pakai S Max	4D13-150
K2	700 x 700	1,359	237,20	385,66	530,93	390,68	175	132	150	OK	Pakai S Max	4D13-150
KT	350 x 700	1,329	66,08	165,70	398,20	299,62	175	114	150	OK	Pakai S Max	3D13-150

(Sumber: Penulis, 2025)

FLOOR	TYPE	K1	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
ATAP LT.1		16 D19 650 	SENGKANG	D13-150	D13-150
				D13-150	D13-150
			TIES	D13-150	D13-150
ATAP LT.1		14 D22 700 	SENGKANG	D13-150	D13-150
				D13-150	D13-150
			TIES	D13-150	D13-150
ATAP LT.1		14 D19 350 700 	SENGKANG	D13-150	D13-150
				D13-150	D13-150
			TIES	D13-150	D13-150

Gambar 4.23 Detail Penulangan Kolom
(Sumber: Penulis, 2025)

4.7.4 Perhitungan Tulangan Tangga dan Bordes

Sesuai SNI R7.3.1 perhitungan tulangan tangga dan bordes memiliki langkah yang sama dengan perhitungan balok. Berdasarkan data yang dihasilkan melalui analisis SAP2000 struktur tangga, didapatkan hasil gaya dalam sebagai tabel 4.29 dan 4.30 berikut:

Tabel 4.29 Analisis Gaya Dalam Tangga SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells							
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
6	6	Shell-Thin	12	COMB1	Combination	-1,3209	-6,5397
6	6	Shell-Thin	11	COMB2	Combination	-2,2919	-11,4594
6	6	Shell-Thin	13	COMB2	Combination	-2,2907	-11,4534
162	162	Shell-Thin	188	COMB1	Combination	0,3426	4,0381
162	162	Shell-Thin	175	COMB2	Combination	0,4696	5,5193
162	162	Shell-Thin	176	COMB2	Combination	0,4822	5,5152
162	162	Shell-Thin	189	COMB2	Combination	0,4835	5,5107
162	162	Shell-Thin	188	COMB2	Combination	0,4707	5,5146
174	174	Shell-Thin	188	COMB1	Combination	0,3426	4,0381

(Sumber: Penulis, 2025)

Tabel 4.30 Analisis Gaya Dalam Bordes SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells							
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
306	306	Shell-Thin	344	COMB1	Combination	-3,9905	-0,747
306	306	Shell-Thin	331	COMB2	Combination	-6,6395	-1,2741
306	306	Shell-Thin	332	COMB2	Combination	-6,629	-1,2189
318	318	Shell-Thin	358	COMB2	Combination	-4,4114	-0,8033
318	318	Shell-Thin	357	COMB2	Combination	-4,4211	-0,8301
390	390	Shell-Thin	422	COMB1	Combination	-0,878	-0,1487
390	390	Shell-Thin	423	COMB1	Combination	-0,8845	-0,1277
390	390	Shell-Thin	422	COMB2	Combination	-0,8317	-0,1353

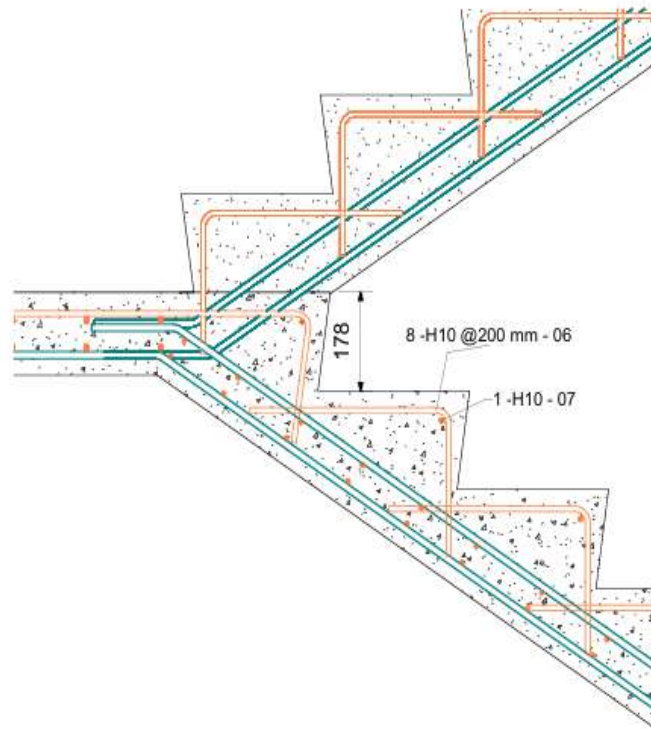
(Sumber: Penulis, 2025)

Berdasarkan perhitungan yang sama dengan langkah analisis struktur balok. Digunakan mutu beton f'_c 25 MPa dan mutu baja 420 MPa, maka diperoleh hasil tulangan pakai pada pelat tangga dan bordes sebagai berikut:

Tabel 4.31 Daftar Tulangan Pelat Tanga dan Bordes

Letak	Tebal Pelat (mm)	Nama Tulangan	Daerah	Mu (SAP) (kNm)	As Pasang (mm²)	As Perlu (mm²)	ØMn (kNm)	a (mm)	Cek As Pakai $\geq$ As Perlu	Cek Kapasitas	Tulangan Dipasang
Tangga	120	Tulangan Melintang	Tumpuan	11,459	523,60	320,00	19,75	10,35	OK	OK	D10-150
			Lapangan	5,591	663,66	316,67	24,23	13,12	OK	OK	D13-200
		Tulangan Memanjang	Tumpuan	2,292	523,60	320,00	19,75	10,35	OK	OK	D10-150
			Lapangan	0,484	663,66	316,67	24,23	13,12	OK	OK	D13-200
Bordes	120	Tulangan Melintang	Tumpuan	1,274	523,60	320,00	19,75	10,35	OK	OK	D10-150
			Lapangan	0,1277	663,66	316,67	24,23	13,12	OK	OK	D13-200
		Tulangan Memanjang	Tumpuan	6,639	523,60	320,00	19,75	10,35	OK	OK	D10-150
			Lapangan	0,885	663,66	316,67	24,23	13,12	OK	OK	D13-200

(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.24 Detail Penulangan Tangga
(Sumber: Penulis, 2025)

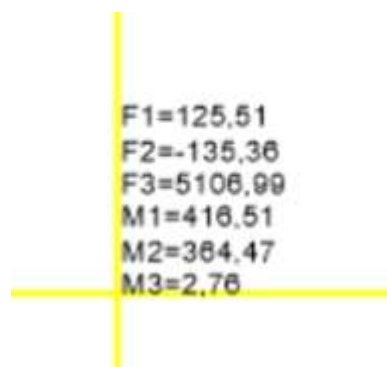
4.8 Perencanaan Struktur Bawah Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip

Struktur bawah direncanakan menggunakan tiang pancang yang dihitung dengan data tanah yang telah diperoleh menggunakan metode Meyerhoff sebagai berikut:

4.8.1 Perencanaan Daya Dukung dan Tiang Pancang

a. Data Perencanaan PC 1

Tahanan Konus (qc)	= 250 kg/cm ²
Total Tahanan Pelekat (tf)	= 252 kg/cm
Kedalaman Tanah Keras (h)	= 875 cm
Diameter Tiang (D)	= 80 cm
Keliling Tiang (K)	= πD
	= 251,33 cm
Luas Penampang Tiang (A)	= $\frac{1}{4} \pi D^2$
	= 5024 cm ²
Berat Jenis Beton (γ)	= 2400 kg/cm ³
Pu (Output SAP2000)	= 5106,99 kN



Gambar 4.25 Beban Aksial Pondasi (Output SAP)

(Sumber: Penulis, 2025)

b. Daya Dukung Tiang (Qult)

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= \frac{qc \times A}{3} + \frac{tf \times K}{5} \\
 &= \frac{250 \times 5024}{3} + \frac{252 \times 251,33}{5} \\
 &= 431333,568 \text{ kg} \\
 &= 4313,335 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{beton}} &= V \times \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 10550,4 \text{ kg} \\
 &= 105,504 \text{ kN} \\
 Q_{\text{netto}} &= Q_{\text{ult}} - W \\
 &= 4313,335 - 105,504 \\
 &= 4207,831 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Kebutuhan Tiang Pancang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{P}{Q_{\text{netto}}} \\
 &= \frac{5106,99}{4207,831} \\
 &= 1,213 \text{ buah} \\
 &= \mathbf{2 \text{ buah}}
 \end{aligned}$$

d. Efisiensi Kelompok Pondasi

$$\text{Jumlah baris (m)} = 2$$

$$\text{Jumlah tiang dalam 1 baris (n')} = 1$$

$$\begin{aligned}
 S &= 2,5D \sim 4D \\
 &= 200 \sim 320 \\
 &= 200 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S' &= 1,5D \sim 2D \\
 &= 120 \sim 160 \\
 &= 120 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Diperoleh dimensi *pile cap* = 240 cm x 440 cm

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \arctan D/S \\
 &= 21,801^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Eff} &= 1 - \frac{\theta \times (n' - 1) \times m + (m - 1) \times n'}{90 \times m \times n'} \\
 &= 1 - \frac{21,801 \times (1 - 1) \times 2 + (2 - 1) \times 1}{90 \times 2 \times 1} \\
 &= 99\%
 \end{aligned}$$

e. Daya Dukung Izin Kelompok Pondasi (Q izin)

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{izin}} &= n \times \text{Eff} \times Q_{\text{netto}} \\
 &= 2 \times 99\% \times 4207,831 \\
 &= 8368,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$Q_{\text{izin}} > P_u$$

$$8368,91 \text{ kN} > 5106,99 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

$$q_{\text{max}} < q_{\text{allow}}$$

$$\frac{P_u}{b \times h \text{ (pile cap)}} < \frac{P_u}{S_f}$$

$$483,616 \text{ kN/m}^2 < 1702,33 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 4.32 Daftar Daya Dukung Pondasi

Titik Pondasi	Tipe	Gaya Aksial Pu SAP (kN)	D Tiang Pancang (cm)	Q Izin 1 Tiang Qa (kN)	Q Netto Tiang Qu (kN)	Jumlah Tiang Perlu	Jumlah Tiang Pakai	Effisiensi (%)	Q Izin Kelompok Qi (kN)	Cek Daya Dukung Q Izin $\geq$ Pu
1/A	PC2	3670,18	60	2450,00	2390,66	1,535	2	99,44%	4754,75	OK
2/A	PC1	4244,33	80	4313,34	4207,83	1,009	2	99,44%	8368,91	OK
3/A	PC2	3573,72	60	2450,00	2390,66	1,495	2	99,44%	4754,75	OK
4/A	PC2	3759,23	60	2450,00	2390,66	1,572	2	99,44%	4754,75	OK
5/A	PC1	4254,51	80	4313,34	4207,83	1,011	2	99,44%	8368,91	OK
6/A	PC2	3683,39	60	2450,00	2390,66	1,541	2	99,44%	4754,75	OK
3/B'	PC3	1677,68	60	2450,00	2390,66	0,702	1	100,00%	2390,66	OK
3'2/B''	PC4	1204,23	45	1395,94	1362,56	0,884	1	100,00%	1362,56	OK
4/B''	PC3	2221,89	60	2450,00	2390,66	0,929	1	100,00%	2390,66	OK
1/B	PC1	4650,09	80	4313,34	4207,83	1,105	2	99,44%	8368,91	OK
2/B	PC1	5153,26	80	4313,34	4207,83	1,225	2	99,44%	8368,91	OK
3/B	PC1	4244,72	80	4313,34	4207,83	1,009	2	99,44%	8368,91	OK
3'2/B	PC3	2107,75	60	2450,00	2390,66	0,882	1	100%	2390,66	OK
4/B	PC2	3220,32	60	2450,00	2390,66	1,347	2	99%	4754,75	OK
5/B	PC1	5106,99	80	4313,34	4207,83	1,214	2	99,44%	8368,91	OK
6/B	PC1	4689,02	80	4313,34	4207,83	1,114	2	99,44%	8368,91	OK

4/C'	PC3	1895,17	60	2450,00	2390,66	0,793	1	100,00%	2390,66	OK
1/C	PC2	3677,83	60	2450,00	2390,66	1,538	2	99,44%	4754,75	OK
2/C	PC1	4289,57	80	4313,34	4207,83	1,019	2	99,44%	8368,91	OK
3/C	PC1	4275,30	80	4313,34	4207,83	1,016	2	99,44%	8368,91	OK
4/C	PC2	3723,53	60	2450,00	2390,66	1,558	2	99,44%	4754,75	OK
5/C	PC1	4237,79	80	4313,34	4207,83	1,007	2	99,44%	8368,91	OK
6/C	PC2	3694,54	60	2450,00	2390,66	1,545	2	99,44%	4754,75	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

4.8.2 Perencanaan *Pile Cap*

a. Data Perencanaan *Pile Cap* PC1

Dimensi <i>Pile Cap</i>	= 2,4 x 4,4 m
Tebal <i>Pile Cap</i>	= 900 mm
Diameter Tiang (D)	= 800 mm
Dimensi Kolom	= 650 x 650 mm
Diameter tul. utama (d)	= 25 mm
Selimut Beton (p)	= 50 mm
Mutu Beton (f'_c)	= 25 MPa
Mutu Baja (f_y)	= 420 MPa
Pu (Output SAP2000)	= 5106,99 kN

b. Cek Kontrol Geser 1 Arah (X) ((SNI 2847:2019) pasal 13.4.2.5)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{5106,99}{10,56} \\ &= 483,616 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' \text{ efektif } \textit{pile cap} &= L - p - d \\ &= 900 - 50 - 25 \\ &= 825 \text{ mm} \\ &= 0,825 \text{ m}\end{aligned}$$

Daerah Pembebanan Geser 1 Arah

$$\begin{aligned}G' &= L - \left(\frac{L}{2} + \frac{b \text{ kolom}}{2} + d'\right) \\ &= 2,4 - \left(\frac{2,4}{2} + \frac{0,65}{2} + 0,825\right) \\ &= 0,05 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \sigma \times L \times G' \\ &= 58,033 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times L \times d' \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 2400 \times 825 \\ &= 1237500 \text{ N} \\ &= 1237,5 \text{ kN}\end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

$$1237,5 \text{ kN} > 58,033 \text{ kN (Memenuhi)}$$

c. Cek Kontrol Geser 1 Arah (Y) ((SNI 2847:2019) pasal 13.4.2.5)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{5106,99}{10,56} \\ &= 483,616 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' \text{ efektif } \textit{pile cap} &= L - p - d \\ &= 900 - 50 - 25 \\ &= 825 \text{ mm} \\ &= 0,825 \text{ m}\end{aligned}$$

Daerah Pembebanan Geser 1 Arah

$$\begin{aligned}G' &= L - \left(\frac{L}{2} + \frac{b \text{ kolom}}{2} + d'\right) \\ &= 4,4 - \left(\frac{4,4}{2} + \frac{0,65}{2} + 0,825\right) \\ &= 1,05 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \sigma \times L \times G' \\ &= 2234,308 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f'c}}{6} \times L \times d' \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 4400 \times 825 \\ &= 2268750 \text{ N} \\ &= 2268,75 \text{ kN}\end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

$$2268,75 \text{ kN} > 2234,308 \text{ kN (Memenuhi)}$$

d. Cek Kontrol Geser 2 Arah ((SNI 2847:2019) pasal 22.6.5.2)

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

$$= 0,65 + 0,4125 \times 2$$

$$= 1,475 \text{ m}$$

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

$$= 2 \times (2 \times 1,475)$$

$$= 5,9 \text{ m}$$

$$= 5900 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d'$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 5900 \times 825$$

$$= 12412,13 \text{ kN}$$

$$V_{c2} = \frac{1}{12} \times \left(2 + \frac{as \times d'}{5900}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d'$$

$$= \frac{1}{12} \times \left(2 + \frac{40 \times 825}{5900}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 5900 \times 825$$

$$= 15400 \text{ kN}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{2} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d'$$

$$= \frac{1}{2} \times 1 \times \sqrt{25} \times 5900 \times 825$$

$$= 8112,5 \text{ kN}$$

Digunakan nilai V_c terkecil untuk memenuhi syarat geser nominal sebagai berikut:

$$\phi V_c = 0,75 \times V_{c3}$$

$$= 0,75 \times 8112,5$$

$$= 6084,37 \text{ kN}$$

$$V_u = \sigma \times (A - L' \times B')$$

$$= 483,616 \times (10,56 - 1,475 \times 1,475)$$

$$= 4054,882 \text{ kN}$$

Syarat

$$\phi V_c > V_u$$

$$6084,37 \text{ kN} > 4054,882 \text{ kN}$$

Tabel 4.33 Daftar Dimensi *Pile Cap*

Tipe	Dimensi <i>Pile Cap</i> (mm)	Diameter Tiang (mm)	Tebal <i>Pile Cap</i> (mm)	d Efektif (mm)	Cek Syarat Tebal d' $\geq$ 30 mm	Cek Geser 1 Arah X	Cek Geser 1 Arah Y	Cek Geser 2 Arah
PC1	240 x 440	800	900	825	OK	OK	OK	OK
PC2	220 x 380	600	900	828	OK	OK	OK	OK
PC3	220 x 220	600	900	831	OK	OK	OK	OK
PC4	180 x 180	450	900	831	OK	OK	OK	OK

(Sumber: Penulis, 2025)

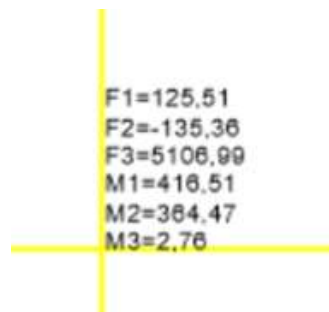
4.9 Perhitungan Tulangan Struktur Bawah Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip

4.9.1 Perhitungan Tulangan *Pile Cap*

Penulangan *pile cap* dihitung sebagai berikut:

a. Data Perencanaan *Pile Cap*

Berdasarkan data analisis SAP2000, dihasilkan gaya momen pondasi untuk perhitungan lentur sebagai berikut:



Gambar 4.26 Hasil Gaya Dalam Pondasi

(Sumber: Penulis, 2025)

$$M_{ux} = 416,51 \text{ kN}$$

$$M_{uy} = 364,47 \text{ kN}$$

$$\text{Mutu Beton (f'c)} = 25 \text{ MPa}$$

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

Batasan tulangan:

$$\rho_b = 0,025$$

$$\rho_{\min} = 0,0033$$

$$\rho_{\max} = 0,018$$

b. Tulangan Arah X

Tulangan Bawah X

$$M_{ux} = 416,51 \text{ kN} = 416510000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{416510000}{612562500} \\ &= 0,678 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,678}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0016\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{max}}$$

0,0016 < 0,0033 < 0,018, digunakan ρ_{min} untuk As perlu tulangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{As Perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d' \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 825 \\ &= 2750 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan As pakai tulangan bawah D25-175, As = 2805 mm²

Syarat:

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$$

$$2805 \text{ mm}^2 > 2750 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Tulangan Atas X

As perlu tulangan atas = 20-50% As pakai tulangan bawah

$$\begin{aligned}&= 50\% \times 2805 \\ &= 1402,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan As pakai tulangan atas D19-175, As = 1620 mm²

Syarat:

$$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$$

$$1620 \text{ mm}^2 > 1402,5 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

c. Tulangan Arah Y

Tulangan Bawah Y

$$M_{uy} = 364,47 \text{ kN} = 364470000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{364470000}{612562500} \\ &= 0,595\end{aligned}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,595}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0014$$

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max}$

$0,0014 < 0,0033 < 0,018$, digunakan $\rho \text{ min}$ untuk As perlu tulangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{As Perlu} &= \rho \text{ min} \times b \times d' \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 825 \\ &= 2750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan As pakai tulangan bawah D25-175, $\text{As} = 2805 \text{ mm}^2$

Syarat:

$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$

$2805 \text{ mm}^2 > 2750 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

Tulangan Atas Y

As perlu tulangan atas = 20-50% As pakai tulangan bawah

$$= 50\% \times 2805$$

$$= 1402,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan As pakai tulangan atas D19-175, $\text{As} = 1620 \text{ mm}^2$

Syarat:

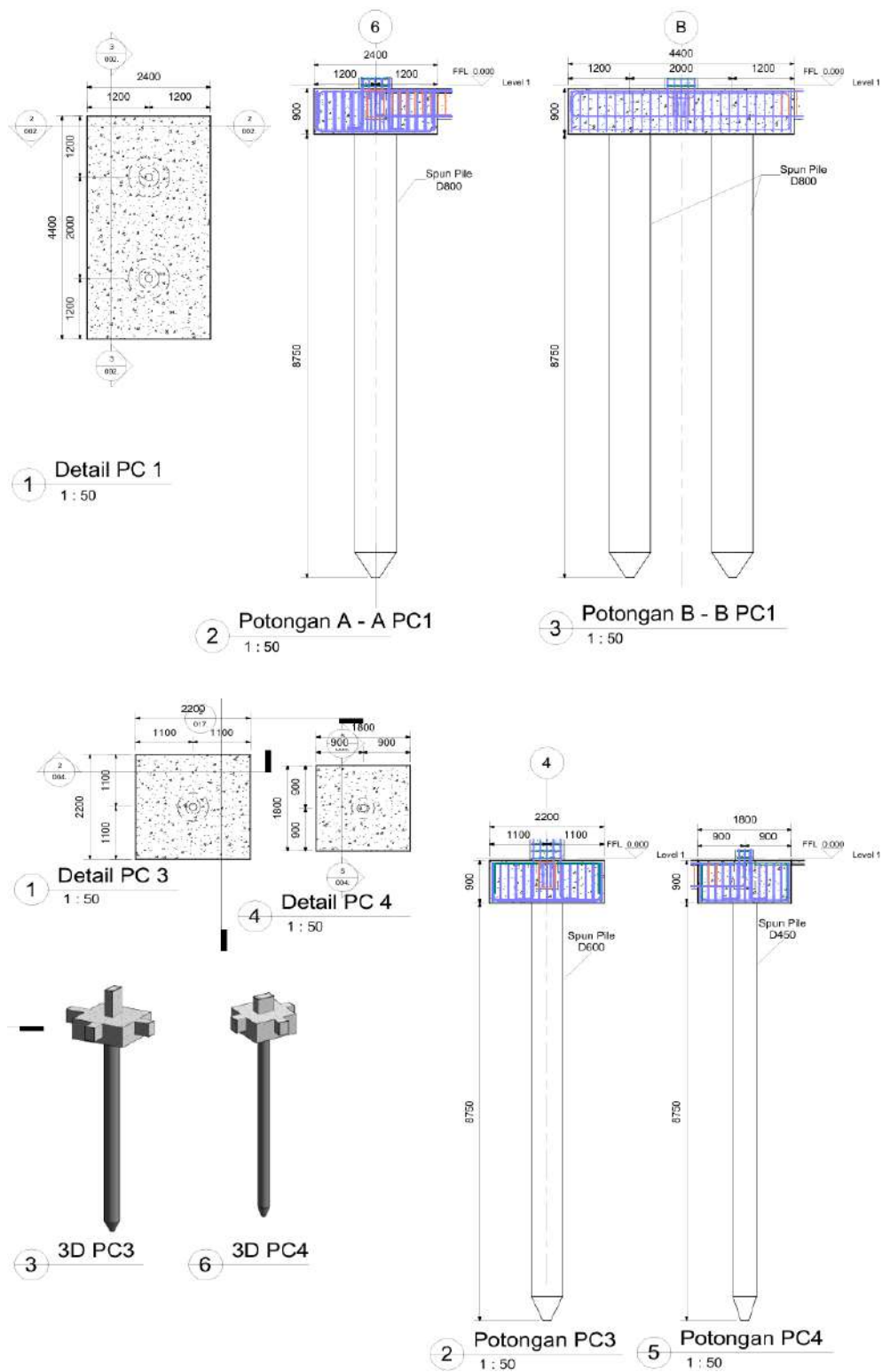
$\text{As Pakai} > \text{As Perlu}$

$1620 \text{ mm}^2 > 1402,5 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

Tabel 4.34 Daftar Tulangan *Pile Cap*

Tipe Balok	Dimensi Pile Cap (mm)	Tebal (mm)	Daerah	Letak Tulangan	Mu (SAP) (kNm)	Diameter Tulangan (mm)	As Perlu (mm²)	As Pasang (mm²)	Cek As Pakai $\geq$ As Perlu	Tulangan Dipasang
PC1	240 x 440	900	Tulangan X	Tumpuan	416,51	25	2749,73	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
			Tulangan Y	Tumpuan	364,47	25	2749,73	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
PC2	220 x 380	900	Tulangan X	Tumpuan	428,12	22	2759,72	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
			Tulangan Y	Tumpuan	554,05	22	2759,72	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
PC3	220 x 220	900	Tulangan X	Tumpuan	140,93	19	2769,72	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
			Tulangan Y	Tumpuan	221,02	19	2769,72	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
PC4	180 x 180	900	Tulangan X	Tumpuan	117,36	19	2769,72	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175
			Tulangan Y	Tumpuan	216,68	19	2769,72	2805	OK	D25-175
				Lapangan		16	1402,50	1620	OK	D19-175

(Sumber: Penulis, 2025)

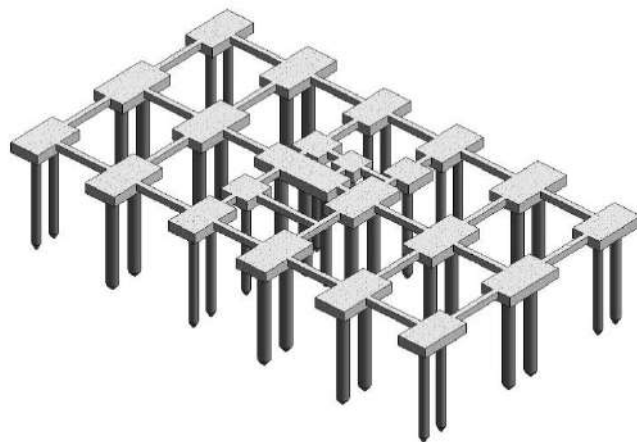
Gambar 4.27 Detail Penulangan *Pile Cap*

(Sumber: Penulis, 2025)

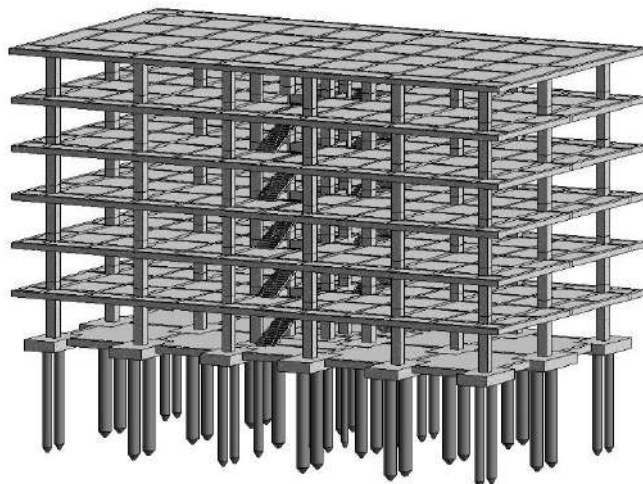
4.10 Pemodelan 3D *Autodesk Revit*

Berdasarkan tahapan pemodelan 3D menggunakan *Autodesk Revit* sesuai pada sub bab 3.7 yang telah dijelaskan sebelumnya. Pemodelan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip dimulai dari pemodelan struktur bawah (pondasi tiang pancang, *pile cap*, *tie beam*, lantai kerja.

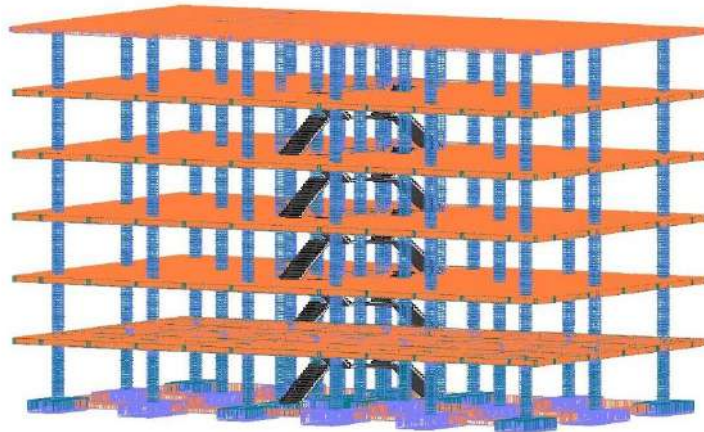
Selanjutnya, dilakukan pemodelan 3D untuk struktur atas meliputi kolom, balok, pelat lantai, tangga, dan pelat atap. Hasil dari pemodelan 3D menggunakan *Autodesk Revit* sebagai berikut:



Gambar 4.28 Pemodelan 3D Struktur Bawah Gedung Dekanat FPP Undip
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.29 Pemodelan 3D Struktur Atas Gedung Dekanat FPP Undip
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.30 Pemodelan 3D Penulangan Gedung Dekanat FPP Undip

(Sumber: Penulis, 2025)

Berikut merupakan *output* rekapitulasi *quantity take off* struktur Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip menggunakan *Autodesk Revit* sebagai berikut:

4.11 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

Berdasarkan hasil *quantity take off* melalui *Autodesk Revit*, perhitungan volume dapat dilakukan untuk setiap pekerjaan sesuai struktur pekerjaan pada tabel 4.35

Tabel 4.35 Hasil *Quantity Take Off* Beton

Type	Base Level	Top Level	Count	Volume	Structural Material
K1					
Level 1					
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
K1	Level 1	Level 2	1	2,01 m ³	Concrete, Cast-in-Place gray
Level 1: 17			17	34,17 m ³	

(Sumber: Penulis, 2025)

Tabel 4.36 Hasil *Quantity Take Off* Besi

Partition	Bar Diameter	Bar Length	Quantity	Total Bar Length	Berat (Kg)	Host Category
PC 1						
PC 1	19 mm	5525 mm	15	82875 mm	184.36 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	5400 mm	15	81000 mm	180.19 kg	Structural Foundation
PC 1	19 mm	3375 mm	26	87750 mm	195.21 kg	Structural Foundation
19 mm: 19			395		3577.95 kg	

(Sumber: Penulis, 2025)

Selanjutnya dihitung sebuah rencana anggaran biaya sebagai acuan total biaya pembangunan proyek Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip yang ditunjukkan pada tabel 4.37.

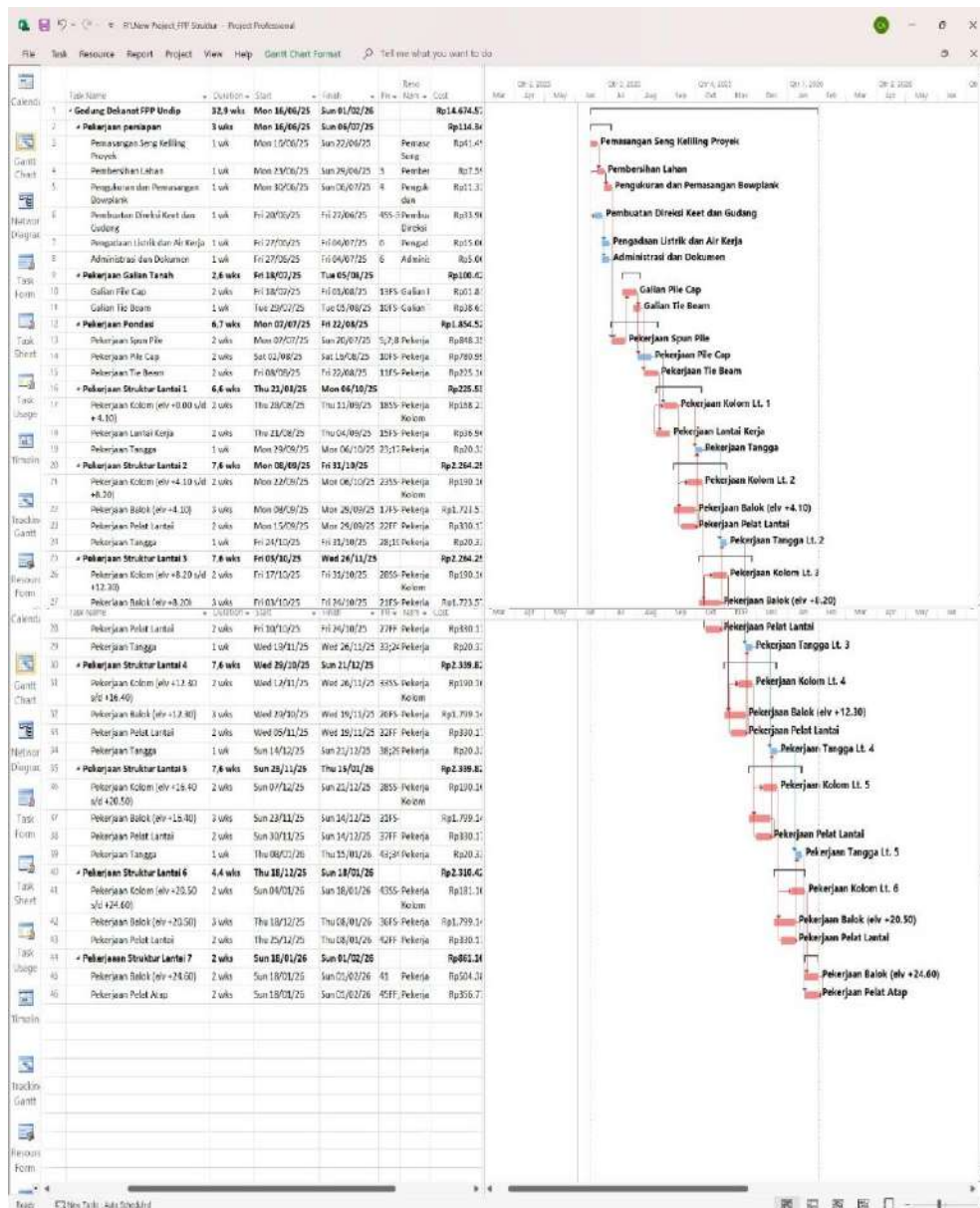
Tabel 4.37 Rekap RAB Proyek Gedung Dekanat FPP Undip

No.	Uraian Pekerjaan	Rekap Biaya (Rp)
1	Pekerjaan Persiapan	114.341.165,80
2	Pekerjaan Tanah	948.783.945,27
3	Pekerjaan Struktur Bawah	1.006.164.916,09
4	Pekerjaan Struktur Atas	12.605.288.520,51
Jumlah Biaya		14.674.578.547,67
PPN 12%		1.760.949.425,72
Total Biaya		16.435.527.973,39
Dibulatkan		16.435.527.000,00
Terbilang: Enam Belas Miliar Empat Ratus Tiga Puluh Lima Juta Lima Ratus Dua Puluh Tujuh Ribu Rupiah		

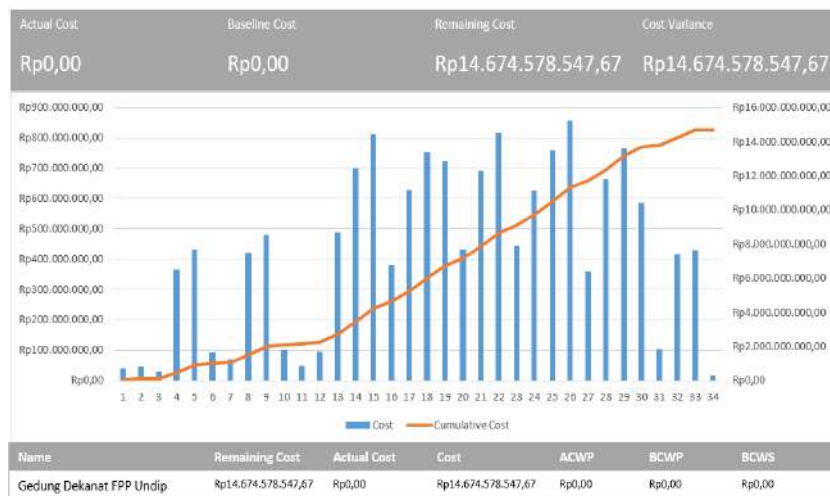
(Sumber: Penulis, 2025)

4.12 Penyusunan Penjadwalan

Penjadwalan pembangunan Gedung Dekanat Fakultas Pertanian dan Peternakan Undip direncanakan menggunakan *Microsoft Project* ditunjukkan pada gambar 4.31 dan 4.32.



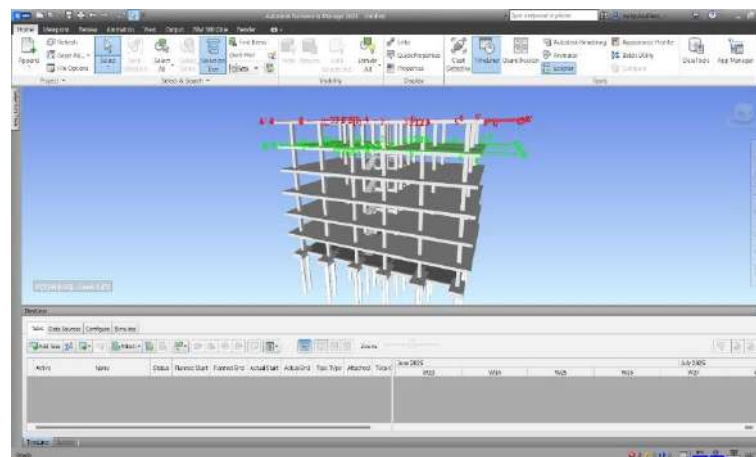
Gambar 4.31 Penjadwalan Gedung Dekanat FPP Undip
(Sumber: Penulis, 2025)



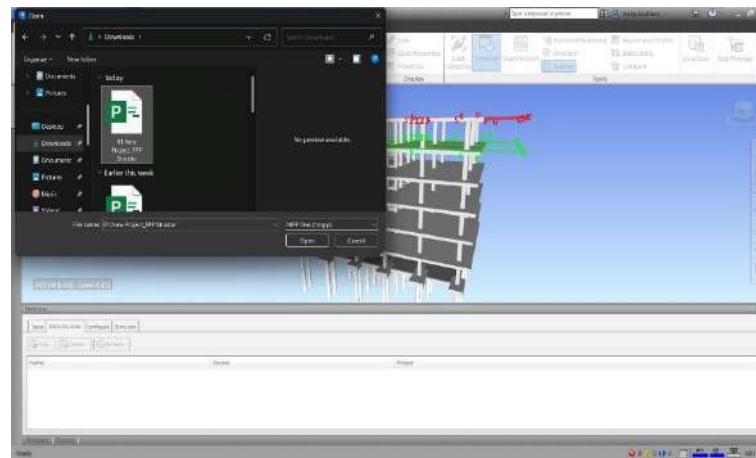
Gambar 4.32 Kurva S Penjadwalan Gedung Dekanat FPP Undip
(Sumber: Penulis, 2025)

4.13 Integrasi BIM 5D

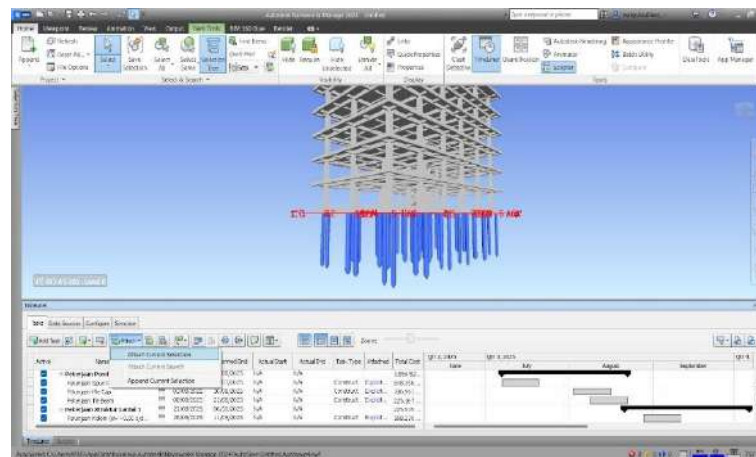
Dalam melakukan integrasi BIM ke tahap 5D, dilakukan proses integrasi dengan menggabungkan data seperti hasil pemodelan 3D, Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan penjadwalan yang sudah dibuat ke dalam *Autodesk Navisworks*. Proses integrasi ini menghasilkan *output* berupa video simulasi visualisasi pembangunan proyek yang mendekati pelaksanaan di lapangan. Adapun hasil integrasi ditunjukkan pada gambar 4.33 - 4.36.



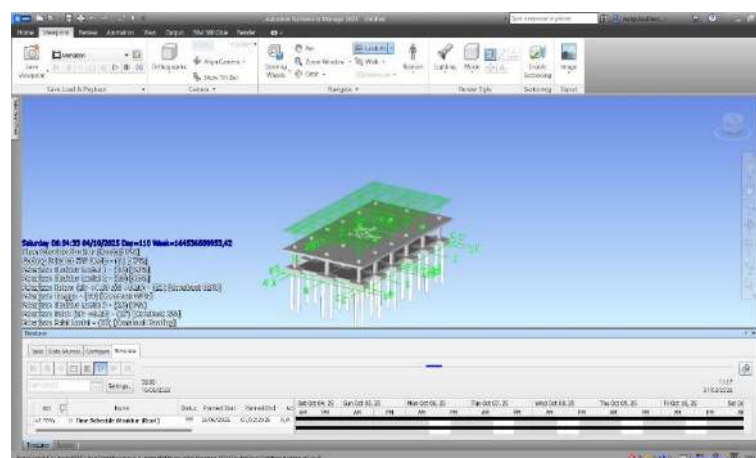
Gambar 4. 33 Integrasi Pemodelan 3D
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.34 Integrasi Penjadwalan
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.35 Integrasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)
(Sumber: Penulis, 2025)



Gambar 4.36 Simulasi BIM 5D
(Sumber: Penulis, 2025)