

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur Atas Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY

Perencanaan struktur atas dilakukan dengan menentukan dimensi elemen struktur melalui tahap *preliminary design*. *Preliminary design* adalah proses perhitungan awal struktur yang ditetapkan berdasarkan persyaratan pada setiap komponen struktur. Dalam pelaksanaannya, *preliminary design* mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019 mengenai perencanaan balok, *sloof*, pelat lantai, serta kolom.

Preliminary design dilakukan agar pada tahap analisis struktur dapat diketahui kekuatan serta kapasitas struktur terhadap beban-beban yang telah diinputkan.

4.1.1 *Preliminary Design* Balok

Balok merupakan elemen struktur yang berfungsi menahan dan menyalurkan beban dari pelat lantai ke kolom. Oleh karena itu, diperlukan *preliminary design* untuk menentukan dimensi awal balok berdasarkan bentang dan beban yang bekerja sesuai ketentuan perencanaan struktur beton bertulang.

a. Perhitungan Dimensi Balok

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

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{8000}{12} \\ &= 666,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 1/2 \times h \\ &= 1/2 \times 700 \\ &= 350 \text{ cm} \\ &= 400 \end{aligned}$$

Hasil preliminary design balok ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Data *Preliminary Design* Balok

No	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
1	S1	400x600
2	S2	300x500
3	S3	300x500
4	S4	300x500
5	S5	400x500
6	B1	400x700
7	B1a	350x500
8	B1b	400x700
9	B2	350x700
10	B3	400x600
11	B3a	350x500
12	B4	300x500
13	B5	400x500
14	B6	300x400
15	B7	300x500
16	B8	300x400
17	B8a	300x500
18	B9	400x700
19	B10	300x500
20	B11	300x500
21	B12	300x400
22	B13	250x500
23	B14	300x500
24	B15	300x500
25	B16	400x550
26	B17	300x500
27	B18	300x500
28	B19	475x700
29	B20	300x500

Sumber: Hasil perhitungan penulis, 2026

4.1.2 *Preliminary Design* Pelat

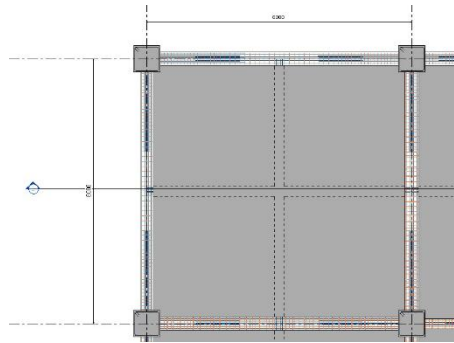
Pelat direncanakan berdasarkan ketentuan pada SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a) sesuai jenis pelat satu arah dan dua arah. Adapun perhitungan ketebalan pelat dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1, sehingga diperoleh persyaratan sebagai berikut:

$L_y/L_x < 2$, untuk pelat dua arah

$L_y/L_x \geq 2$, 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 A1

$$\text{Panjang (Ly)} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (Lx)} = 8000 \text{ mm}$$

$$\beta = Lx/Ly = 8000/8000 = 1 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

Berdasarkan (SNI 2847:2013) pasal 9.5.3.3 tentang konstruksi dua arah, pelat dihitung berdasarkan rumus sesuai tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Tebal Minimum Pelat

αfm	h minimum, mm		
$\alpha fm \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha fm \leq 2$	Terbesar dari	$\ln(0,8 + fy/1400)/(36 + 5\beta(\alpha fm - 0,2))$	(b) ^{[2],[3]}
		125	(c)
$\alpha fm > 2$	Terbesar dari	$\ln(0,8 + fy/1400)/(36 + 9\beta)$	(d) ^{[2],[3]}
		90	(e)

Sumber: SNI 2847:2013

b. Bentang Bersih Pelat

$$\begin{aligned} Lny &= Ly - (\frac{1}{2} \times B1a) - (\frac{1}{2} \times B1a) \\ &= 800 - (\frac{1}{2} \times 35) - (\frac{1}{2} \times 35) \\ &= 765 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lnx &= Lx - (\frac{1}{2} \times B1) - (\frac{1}{2} \times B1) \\ &= 800 - (\frac{1}{2} \times 40) - (\frac{1}{2} \times 40) \\ &= 760 \text{ cm} \end{aligned}$$

c. Lebar efektif Balok

$$\begin{aligned} be &= B1 + 2 \times (h \text{ balok} - \text{tebal pelat rencana}) \\ &= 25 + 2 (70 - 12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 141 \text{ cm} \\
 \text{Be} &= B1 + 8 \times \text{tebal rencana} \\
 &= 25 + 8 (12) \\
 &= 121 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil be yaitu 121 cm.

d. Menghitung Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Pelat

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

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

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}}$$

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

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

Didapatkan hasil perhitungan seperti tabel 4.3

Tabel 4. 3 Rasio Kuat Lentur Balok Terhadap Pelat

Balok Penopang	k Balok	I Balok (cm ⁴)	I Pelat (cm ⁴)	α
B1	1,739	1.987.762	115.200	17,26
B1a	2,017	735.526	115.200	6,38

Sumber: Hasil perhitungan penulis, 2026

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } \alpha_{fm} &= \alpha_{fm} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \\
 &= \alpha_{fm} = \frac{17.26 + 6.38}{2} \\
 &= 4,058 > 2
 \end{aligned}$$

Digunakan perhitungan tebal pelat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H \text{ min} &= h_{min} = \frac{L_{ny} \left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\
 &= 10,762 \text{ cm} \\
 &= 12 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pelat, diperoleh rekap yang ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Data *Preliminary Design* Pelat

No	Tipe Pelat	H min (mm)	H min (mm)
1	Pelat A0	107,62	120
2	Pelat A1	107,62	120
3	Pelat A2	107,62	120
4	Pelat A3	107,62	120
5	Pelat A4	107,62	120

Sumber: Hasil perhitungan penulis, 2026

4.1.3 *Preliminary Design* Kolom

Dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban terbesar yang bekerja pada struktur bangunan. Pada Gedung Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY, asumsi beban terdistribusi diambil dari pelat A1 dengan bentang $8 \text{ m} \times 8 \text{ m}$. Perhitungan dimensi kolom dilakukan dengan mengacu pada rumus berikut:

$$\text{Tebal pelat lantai} = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tingkat} = 4,1 \text{ m}$$

$$\text{Rencana Balok Induk (Ly)} = 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

$$\text{Rencana Balok Induk (Lx)} = 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

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

1. **Beban Mati (qD)**

$$\begin{aligned} \text{a. Pelat Lantai} &= 8 \times 8 \times 0,12 \times 2400 \times 7 \\ &= 129.024 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Atap} &= 8 \times 8 \times 40 \\ &= 2560 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Balok Induk (Ly)} &= 8 \times 0,4 \times 0,7 \times 2400 \times 7 \\ &= 37.632 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Balok Induk (Lx)} &= 8 \times 0,4 \times 0,7 \times 2400 \times 7 \\ &= 37.632 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Balok Atap} &= 8 \times 0,3 \times 0,5 \times 2400 \times 1 \\ &= 2880 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. Spesi (3 cm)} &= 8 \times 8 \times 0,03 \times 2100 \times 7 \\ &= 28.224 \text{ Kg} \end{aligned}$$

g.	Keramik	$= 8 \times 8 \times 0,01 \times 2400 \times 7$ $= 10.752 \text{ Kg}$
h.	Dinding 1/2 Bata	$= 8 \times 4,1 \times 250 \times 2 \times 7$ $= 114.800 \text{ Kg}$ $= 8 \times 4,1 \times 250 \times 2 \times 7$ $= 114.800 \text{ Kg}$
i.	Dinding Parapet	$= 8 \times 2 \times 250 \times 7 \times 1$ $= 28.000 \text{ Kg}$ $= 8 \times 2 \times 250 \times 7 \times 1$ $= 28.000 \text{ Kg}$
j.	Plafond dan Rangka	$= 8 \times 8 \times 4,1 \times 18 \times 7$ $= 33.062,4 \text{ Kg}$
k.	Ducting AC	$= 8 \times 8 \times 4,1 \times 10 \times 7$ $= 18.368 \text{ Kg}$
l.	Plumbing	$= 8 \times 8 \times 4,1 \times 19 \times 7$ $= 34.899,2 \text{ Kg}$
m.	M/E	$= 8 \times 8 \times 4,1 \times 25 \times 7$ $= 45.920 \text{ Kg}$
	Total Beban Mati (qD)	= 666.553,6 Kg

2. Beban Hidup (qL)

a.	Lantai	$= 8 \times 8 \times 250 \times 7$ $= 112.000 \text{ Kg}$
b.	Atap Baja	$= 8 \times 8 \times 100 \times 1$ $= 6400 \text{ Kg}$
c.	Lift	$= 700 \text{ Kg}$

Total Beban Hidup (qL) = 119.100 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:

$$\begin{aligned}
 P &= 1,2 qD + 1,6 qL \\
 &= (1,2 \times 666.553,6) + (1,6 \times 119.100) \\
 &= 989.304,32 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

4. Dimensi Kolom Utama

$$\begin{aligned}
 A &= A = \frac{P}{\phi \times f'_c} \\
 &= 6.087,41 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \sqrt{A} \\
 &= 78,02 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dipakai dimensi kolom struktur 800 mm x 800 mm.

Berdasarkan perhitungan yang sesuai diperoleh rekapitulasi dimensi kolom yang ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 Data *Preliminary Design* Pelat

No	Tipe Kolom	b kolom (mm)	h kolom (mm)
1	Kolom K1	800	800
2	Kolom K1a	800	800
3	Kolom K2	800	800
4	Kolom K3	800	800
5	Kolom K4	700	700
6	Kolom K5	600	600
7	Kolom K6	600	600
8	Kolom K7	800	800
9	Kolom K8	800	800
10	Kolom K9	800	800
11	Kolom K10	400	400
10	Kolom K11	400	400
11	Kolom K12	400	400

Sumber: Hasil perhitungan penulis, 2026

4.2 Perencanaan Pembebanan Terfaktor

Pembebanan pada bangunan bertingkat direncanakan meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Pada perencanaan ini, beban mati mencakup berat struktur sendiri yang dihitung secara otomatis menggunakan SAP2000.

Beban yang diinput dalam analisis struktur meliputi beban mati tambahan yang mengacu pada pembebanan pelat lantai dan balok, beban hidup yang berasal

dari aktivitas bangunan, serta beban angin dan beban gempa. Ketentuan pembebanan tersebut mengacu pada PPIUG 1983 sebagai berikut:

- a. Beban Mati (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Beton Bertulang (berat sendiri) = 24 kN/m³
- b. Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Pasir (1 cm) = 0,16 kN/m²
 - Spesi (3 cm) = 0,63 kN/m²
 - Keramik (1 cm) = 0,24 kN/m²
 - Plafond dan Penggantung = 0,18 kN/m²
 - Mekanikal Elektrikal = 0,25 kN/m²
 - Plumbing = 0,19 kN/m²
 - Total = 1,65 kN/m²
- c. Beban Mati Tambahan Pelat Atap (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Waterproofing = 0,05 kN/m²
 - Mekanikal Elektrikal = 0,25 kN/m²
 - Plafond dan Penggantung = 0,18 kN/m²
 - Plumbing = 0,19 kN/m²
 - Total = 0,67 kN/m²
- d. Beban Mati Tambahan Balok (PPIUG 1983 tabel 2.1)
 - Dinding ½ Bata Balok Lantai (4,1 m) = 10,25 kN/m
 - Dinding Parapet = 2,5 kN/m
 - Rangka Hollow = 0,53 kN/m
- e. Beban Hidup (PPIUG 1983 Tabel 3.1)
 - Lantai Gedung Perkuliahan = 2,5 kN/m²
 - Lantai Atap = 1 kN/m²
 - Pelat Tangga dan Bordes = 3 kN/m²
 - Air Hujan = 0,2 kN/m²

4.3 Perhitungan Beban Angin SNI 1727:2020

Perhitungan beban angin dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1727:2020 Pasal 30.4.1 dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

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

Berdasarkan data klimatologi dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Yogyakarta Dalam Angka 2025, diperoleh data kecepatan angin rata-rata Kota Yogyakarta sebesar 3,25 knot atau setara dengan 1,67 m/s. Data tersebut digunakan sebagai acuan dalam analisis kondisi lingkungan dan perencanaan bangunan karena kecepatan angin berpengaruh terhadap sistem ventilasi, kenyamanan termal, serta kondisi lingkungan sekitar bangunan. Dalam perencanaan ini, digunakan data kecepatan angin rata-rata Kota Yogyakarta sebesar **1,67 m/s**.

2. Menentukan Faktor Arah Angin (K_d)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Tabel 26.6-1, nilai faktor arah angin ditentukan menurut jenis struktur bangunan yang digunakan. Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY termasuk ke dalam tipe struktur bangunan gedung dengan Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU), sehingga digunakan nilai faktor arah angin (K_d) **sebesar 0,85**.

3. Menentukan kategori Eksposur

Kategori eksposur ditentukan berdasarkan tingkat kekasaran permukaan pada wilayah sekitar bangunan. Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY berada pada kawasan perkotaan dan pinggiran kota yang didominasi oleh bangunan, pepohonan, serta permukiman penduduk dengan kepadatan cukup tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut, gedung ini termasuk ke dalam kategori **Eksposur B**.

4. Menentukan Koefisien Faktor Topografi

Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY 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 Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY berada pada elevasi sekitar 115 mdpl berdasarkan data BPS tahun 2022. Mengacu pada SNI

1727:2020 Pasal 26.10.1, koefisien tekanan kecepatan untuk seluruh elevasi dapat diambil sebesar $K_e = 1$.

6. Menentukan Faktor Hembusan Angin (G)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.11.1, faktor hembusan angin (G) untuk bangunan gedung dan struktur kaku lainnya ditetapkan sebesar **0,85**. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur digunakan nilai faktor hembusan angin sebesar **0,85**.

7. Menentukan Koefisien tekanan (G_{Cpi} dan C_p)

Nilai koefisien tekanan internal ditetapkan berdasarkan tipe bangunan yang ditinjau. Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY dikategorikan sebagai bangunan tertutup, sehingga berdasarkan ketentuan pada SNI 1727:2020 pasal 26.12.3.2, koefisien tekanan internal (G_{Cpi}) yang digunakan adalah sebesar -0,18.

Untuk kondisi eksternal, peninjauan gedung dilakukan berdasarkan dimensi panjang dan lebar bangunan sesuai dengan ketentuan pada (SNI 1727:2020) pasal 27.3.5, dengan rincian sebagai berikut:

L	= 16 m
B	= 32 m
L/B	= 0,5
Dinding di sisi angin datang (C_p)	= 0,8
Dinding di sisi angin pergi (C_p)	= - 0,5
Dinding tepi (C_p)	= - 0,7

8. Menghitung Eksposur Tekanan Velositas (K_z)

Nilai K_z ditentukan berdasarkan SNI 1727:2020 Tabel 26.10-1 dengan tinggi bangunan (z) sebesar 37 m. Selanjutnya, digunakan persamaan dalam satuan metrik sesuai ketentuan pada Tabel 26.11-1, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Eksposur Tekanan Velositas (K_z)

Eksposur	a	Z_a (m)	\hat{a}	\hat{b}	\bar{z}	\bar{b}	c	ℓ (m)	\bar{c}	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	213,63	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13
----------	------	--------	--------	------	-------	------	------	--------	-------	------

(Sumber: SNI 1727:2020)

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

$$K_z = 1,05$$

9. Menghitung Kecepatan Velositas (qz)

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 1727:2020, tekanan kecepatan velositas (qz) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} qz &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2 \\ &= 0,613 \times 1,05 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 25^2 \\ &= \mathbf{0,342 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 27.1.5 mengenai beban angin desain minimum, besarnya beban angin pada bangunan gedung tertutup tidak boleh kurang dari 0,77 kN/m². Oleh karena itu, nilai q_i yang digunakan dalam perencanaan adalah sebesar **0,77 kN/m²**.

10. Menentukan Bedar Tekanan Angin (p)

Perhitungan tekanan angin dilakukan berdasarkan ketentuan pada SNI 1727:2020 pasal 27.3.1 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$p = q_i \times G \times C_p - q_z (GC_{Pi})$$

p untuk dinding sisi angin datang

$$\begin{aligned} p &= 0,77 \times 0,85 \times 0,8 - 0,299 \times (0,18) \\ &= \mathbf{0,470 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

p untuk dinding sisi angin pergi

$$\begin{aligned} p &= 0,77 \times 0,85 \times (-0,5) - 0,299 \times (-0,18) \\ &= \mathbf{-0,273 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

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)

Perhitungan beban gempa dilakukan dengan mempertimbangkan kategori risiko wilayah Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY. Data parameter

kegempaan diperoleh berdasarkan jenis tanah hasil pengujian lapangan serta respons spektrum gempa yang diakses melalui *rsa.ciptakarya*.

Berdasarkan kondisi geologi wilayah Kota Yogyakarta, kawasan sekitar Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY oleh tanah regosol hasil endapan material vulkanik Gunung Merapi yang tergolong tanah berpasir hingga lempung berpasir dengan daya dukung sedang. Adapun langkah perhitungan secara rinci sebagai berikut:

1. Menentukan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 3, Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY yang direncanakan ulang termasuk ke dalam kategori gedung fasilitas pendidikan. Oleh karena itu, bangunan tersebut diklasifikasikan sebagai bangunan dengan **kategori risiko IV**. Sesuai ketentuan pada SNI 1726:2019 Tabel 4.7 nilai koefisien faktor keutamaan gempa (I_e) yang digunakan adalah sebesar **1,5**.

Tabel 4. 7 Kategori Resiko Bangunan Gedung

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

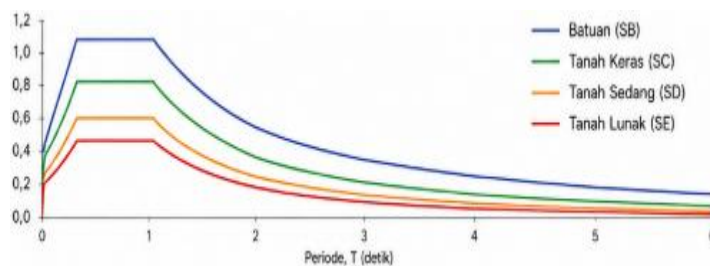
(Sumber: SNI 1726:2019)

2. Menentukan Klasifikasi Situs Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY

Berdasarkan kondisi geologi wilayah Kota Yogyakarta, area sekitar Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY didominasi oleh tanah regosol vulkanik hasil endapan material Gunung Merapi yang umumnya memiliki karakteristik tanah sedang hingga padat. Dengan kondisi tersebut, klasifikasi situs pada lokasi perencanaan dapat digolongkan ke dalam kelas situs SD atau tanah sedang sesuai ketentuan SNI 1726:2019.

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

Gambar spektrum respons desain menunjukkan pengaruh klasifikasi tanah terhadap besarnya respons gempa pada suatu struktur. Berdasarkan grafik tersebut, semakin lunak jenis tanah maka respons spektrum gempa yang terjadi cenderung semakin besar pada periode tertentu. Klasifikasi tanah batuan (SB) memiliki nilai respons spektrum tertinggi, sedangkan tanah lunak (SE) menunjukkan penurunan respons yang lebih cepat seiring bertambahnya periode getar struktur. Grafik ini digunakan sebagai acuan dalam analisis perencanaan ketahanan gempa bangunan sesuai SNI 1726:2019.



Gambar 4. 2 Desain Spektra Wilayah Gempa Kota Yogyakarta

Berdasarkan data dari *rsa.ciptakarya* pada lokasi Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY, Kota Yogyakarta diperoleh data pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Hasil Parameter Respon Spektrum

Variabel	Nilai	Satuan
PGA	0,42	g
Ss periode 0,2 s	1,1916	g
S1 periode 1 s	0,5265	g
TL	6	s
SDS	0,813	g
SD1	0,622	g

Sumber: Penulis, 2026

4. Menghitung Koefisien Situs Kegempaan (F_a dan F_v)

Data parameter respons spektrum digunakan sebagai dasar dalam menentukan koefisien situs sesuai ketentuan (SNI 1726:2019) pasal 6.2, yang dihitung menggunakan metode interpolasi sehingga diperoleh nilai sebagai berikut:

$$F_a = 1,023$$

$$F_v = 1,774$$

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

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,023 \times 1,191 \\ &= \mathbf{1,219} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 1,774 \times 0,5265 \\ &= \mathbf{0,9337} \end{aligned}$$

6. Menghitung Parameter Spektrum Desain

$$\begin{aligned} SDS &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \cdot 1,219 \\ &= 0,813 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SD1 &= \frac{2}{3} S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \cdot 0,933 \\ &= 0,6225 \end{aligned}$$

7. Menghitung Periode Getar Fundamental Struktur

$$\begin{aligned} T_S &= SD1/SDS \\ &= 0,6225/0,813 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,765 \text{ s} \\
 T_0 &= 0,2 \times (SD_1/SDS) \\
 &= 0,2 \times 0,765 \\
 &= 0,153 \text{ s}
 \end{aligned}$$

8. Menentukan Kategori Desain Seismik Berdasarkan (SNI 1726:2019) untuk nilai SDS dan nilai SD1

Nilai SDS = **0,813** > 0,50 tergolong kategori risiko **D**, ditampilkan pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Kategori Resiko S_{DS}

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Nilai $SD_1 = \mathbf{0,6225}$ > 0,20 tergolong kategori risiko D, ditampilkan pada tabel 4.10 sampai 4.11.

Tabel 4. 10 Kategori Resiko S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{D1} < 0,133$	B	B
$0,33 < S_{D1} < 0,50$	C	C
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 4. 11 Kategori Desain Seismik

Kategori Resiko		
Rendah	Menengah	Tinggi
KDS : A, B	KDS : C	KSD : 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:

$$R = 8$$

$$\Omega_0 = 3$$

$$Cd = 5,5$$

dengan nilai Scale Factor = $I_e \times g / R = 1,533$

10. Menghitung Batasan Periode Getar Struktur

Tabel 4. 12 Parameter Periode Pendekatan

Tipe Struktur	Ct	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• 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

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

Tabel 4. 13 Koefisien Nilai C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD_1	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)

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$C_u = 1,4 \text{ (SD1} = 0,6225)$$

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

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$= 1,202 \text{ s}$$

$$T_{max} = C_u T_a$$

$$= 1,683 \text{ s}$$

4.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2019. Kombinasi ini direncanakan dengan asumsi bahwa struktur bangunan mampu menahan beban minimum maupun maksimum sesuai faktor kombinasi pembebanan yang digunakan. Selain itu, kombinasi beban juga mempertimbangkan pengaruh beban gempa untuk memperoleh kondisi pembebanan paling kritis yang terjadi pada struktur. Adapun kombinasi pembebanan pada Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY direncanakan sebagai berikut:

Comb. 1	= 1,4 D + 1,4 SDL
Comb. 2	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1,6 L
Comb. 3	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L + 1,3 Eqdx + 0,39 Eqdy
Comb. 4	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L + 1,3 Eqdx - 0,39 Eqdy
Comb. 5	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L - 1,3 Eqdx + 0,39 Eqdy
Comb. 6	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L - 1,3 Eqdx - 0,39 Eqdy
Comb. 7	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L + 0,39 Eqdx + 1,3 Eqdy
Comb. 8	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L - 0,39 Eqdx + 1,3 Eqdy
Comb. 9	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L + 0,39 Eqdx - 1,3 Eqdy
Comb. 10	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L - 0,39 Eqdx - 1,3 Eqdy
Comb. 11	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1,3 Eqdx + 0,39 Eqdy
Comb. 12	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1,3 Eqdx - 0,39 Eqdy
Comb. 13	= 0,7732 D + 0,7732 SDL - 1,3 Eqdx + 0,39 Eqdy
Comb. 14	= 0,7732 D + 0,7732 SDL - 1,3 Eqdx - 0,39 Eqdy
Comb. 15	= 0,7732 D + 0,7732 SDL + 0,39 Eqdx + 1,3 Eqdy
Comb. 16	= 0,7732 D + 0,7732 SDL - 0,39 Eqdx + 1,3 Eqdy

Comb. 17	= 0,7732 D + 0,7732 SDL + 0,39 Eqdx - 1,3 Eqdy
Comb. 18	= 0,7732 D + 0,7732 SDL - 0,39 Eqdx - 1,3 Eqdy
Comb. 19	= 1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 W _x
Comb. 20	= 1,2 D + 1,2 SDL - 0,5 W _x
Comb. 21	= 1,2 D + 1,2 SDL + 0,5 W _y
Comb. 22	= 1,2 D + 1,2 SDL - 0,5 W _y
Comb. 23	= 1,2 D + 1,2 SDL + 0,375 W _x + 0,375 W _y
Comb. 24	= 1,2 D + 1,2 SDL - 0,375 W _x - 0,375 W _y
Comb. 25	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L + 1 W _x
Comb. 26	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L - 1 W _x
Comb. 27	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L + 1 W _y
Comb. 28	= 1,2 D + 1,2 SDL + 1 L - 1 W _y

4.6 Analisis Struktur Atas SAP2000

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

4.6.1 Analisis Struktur Balok, Kolom, Pelat

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sesuai kondisi dan lokasi bangunan yang ditinjau. Persyaratan tersebut digunakan untuk memastikan struktur mampu menahan pengaruh beban gempa secara aman dan stabil. Adapun syarat-syarat yang perlu dikontrol adalah sebagai berikut:

1. Analisis Spektrum Partisipasi Massa Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, analisis struktur yang diizinkan dapat dilakukan dengan memperhitungkan jumlah massa ragam minimum yang mampu mewakili paling sedikit 90% dari massa aktual struktur terhadap beban terkombinasi.

Berdasarkan hasil analisis *preliminary design* Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY menggunakan program SAP2000, diperoleh

nilai *Mass Modal Participating Mass Ratios* yang disajikan pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4. 14 Analisis Spektrum Massa Ragam

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2,005096	0,30971	0,00709	4,48E-06	0,30971	0,00709	
MODAL	Mode	2	1,802241	0,21051	0,45665	2,67E-05	0,52022	0,46374	
MODAL	Mode	3	1,725521	0,23383	0,29565	0,00009575	0,75405	0,75939	
MODAL	Mode	4	0,594268	5,35E-02	0,00471	2,95E-06	0,80757	0,76409	
MODAL	Mode	5	0,541608	0,04308	0,0626	3,97E-06	0,85065	0,82669	
MODAL	Mode	6	0,518076	0,02373	0,05445	0,00002531	0,87438	0,88114	
MODAL	Mode	7	0,321159	0,000005229	0,0019	1,32E-03	0,87438	0,88305	
MODAL	Mode	8	0,296757	0,00642	1,94E-02	0,00046	0,88081	0,9024	
MODAL	Mode	9	0,269967	3,76E-02	2,78E-03	0,00001519	0,91844	0,90519	
MODAL	Mode	10	0,215045	1,10E-04	6,21E-03	0,000008253	0,91855	0,9114	
MODAL	Mode	11	0,131434	3,80E-03	2,40E-04	0,00003134	0,92236	0,91165	
MODAL	Mode	12	0,104138	8,27E-06	1,97E-03	0,01042	0,92236	0,91361	

Syarat : Partisipasi massa harus > 90 % ...OK ...OK

noted : jika tidak terpenuhi tambahkan jumlah mode (modal modify load case)

Sumber: Penulis, 2026

Hasil analisis menunjukkan nilai massa ragam sebesar **92,2%** pada arah x dan **91,36%** pada arah y. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur telah memenuhi persyaratan karena mampu merepresentasikan lebih dari 90% massa aktual untuk kombinasi pembebanan yang ditinjau.\

2. Perbandingan Skala Gaya

Pembebanan pada bangunan tahan gempa harus dianalisis berdasarkan gaya geser statik dan dinamik struktur. Sesuai ketentuan (SNI 1726:2019) pasal 7.9.1.4.1, nilai gaya geser dinamik (V_d) harus lebih besar atau sama dengan 100% gaya geser statik (V_s). Apabila hasil analisis menunjukkan nilai V_d kurang dari 100% V_s , maka perlu dilakukan penskalaan dengan menggunakan faktor skala sebesar V_s/V_d .

Tabel 4. 15 Hasil Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

Kombinasi	Dinamik (V_d) Geser Dasar (kN)	Statik (V_s) Geser Dasar (kN)	Kontrol $V_d \leq 100\% V_s$
Arah X	5.340,314	5.334,774	OK
Arah Y	5.347,852	5.334,774	OK

Sumber: Penulis, 2026

Berdasarkan Tabel 4.15, dapat disimpulkan berdasarkan perhitungan gaya geser dasar seismik menggunakan metode statik ekuivalen sesuai SNI 1726:2019 diperoleh gaya geser dasar sebesar 5.334,774 kN. Selanjutnya

dilakukan analisis respons spektrum menggunakan SAP2000 dan diperoleh gaya geser dasar dinamik sebesar 5.340,314 kN untuk arah X dan 5.347,852 kN untuk arah Y. Hasil tersebut menunjukkan bahwa gaya geser dasar dinamik lebih besar dibandingkan gaya geser dasar statik ekivalen sehingga telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 dan tidak memerlukan faktor skala tambahan pada hasil analisis dinamik.

3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar lantai merupakan perpindahan relatif antar tingkat bangunan yang terjadi akibat pengaruh beban lateral (Purba, 2024). Pengendalian simpangan antar lantai perlu dilakukan pada setiap bangunan yang direncanakan sebagai struktur tahan gempa untuk memastikan kestabilan dan keamanan struktur. Berdasarkan (SNI 1726:2019) pasal 7.12.1, batas simpangan antar lantai ditentukan sesuai kategori risiko bangunan sebagaimana disajikan pada Tabel 4.16 berikut:

Tabel 4. 16 Koefisien Simpangan Tingkat

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY termasuk kedalam kategori risiko IV dengan nilai:

Tabel 4. 17 Rekap Simpangan Antar Tingkat

TABLE: Joint Displacements										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	
Text	Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians	
333	EQDX	LinRespSpec	Max	37,490919	28,806911		0,067496	0,000562	0,000829	0,001244
333	EQDY	LinRespSpec	Max	5,271547	38,164819		0,069103	0,000773	0,000157	0,00046
765	EQDX	LinRespSpec	Max	2,84409	2,163344		0,015424	0,00088	0,001151	0,000091
765	EQDY	LinRespSpec	Max	0,469142	3,157791		0,016249	0,001263	0,000187	0,000036
915	EQDX	LinRespSpec	Max	8,849794	6,777406		0,029197	0,001221	0,001586	0,000285
915	EQDY	LinRespSpec	Max	1,418423	9,633624		0,030655	0,00168	0,000246	0,00011
1055	EQDX	LinRespSpec	Max	15,8494	12,1818		0,0407	0,0013	0,0017	0,0005
1055	EQDY	LinRespSpec	Max	2,4573	16,9376		0,0426	0,0017	0,0002	0,0002
1208	EQDX	LinRespSpec	Max	22,6402	17,4267		0,0499	0,0012	0,0016	0,0007
1208	EQDY	LinRespSpec	Max	3,4025	23,8305		0,0519	0,0015	0,0002	0,0003
1404	EQDX	LinRespSpec	Max	28,6335	21,9925		0,0568	0,0010	0,0014	0,0009
1404	EQDY	LinRespSpec	Max	4,1739	29,6101		0,0588	0,0013	0,0002	0,0003
1554	EQDX	LinRespSpec	Max	33,6548	25,8376		0,0617	0,0009	0,0012	0,0011
1554	EQDY	LinRespSpec	Max	4,7927	34,3710		0,0636	0,0011	0,0002	0,0004

Sumber: Penulis, 2026

Batas simpangan berdasarkan (SNI 1726:2019) pasal 7.8.7 dinyatakan dengan persamaan $\Delta x = ((\delta_2 - \delta_1) \times Cd) / Ie < \Delta a$, dengan $\Delta a = 0,10hsx$ untuk bangunan kategori risiko IV, nilai faktor amplifikasi defleksi $Cd = 5,5$, dan faktor keutamaan gempa $Ie = 1,5$ sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 4. 18 Cek Syarat Simpangan Arah X

Lantai	Hsx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	Δa izin (mm)	Kontrol
Lt. 8	4200	37,4909	21,0988	84	OK
Lt. 7	4200	33,6548	27,6170	84	OK
Lt. 6	4200	28,6335	32,9630	84	OK
Lt. 5	4200	22,6402	37,3497	84	OK
Lt. 4	4200	15,8494	38,4977	84	OK
Lt. 3	4200	8,8498	33,0314	84	OK
Lt. 2	4200	2,8441	15,6425	84	OK
Dasar	0	0	0	0,00	OK

Sumber: Penulis, 2026

Tabel 4. 19 Cek Syarat Simpangan Antar Y

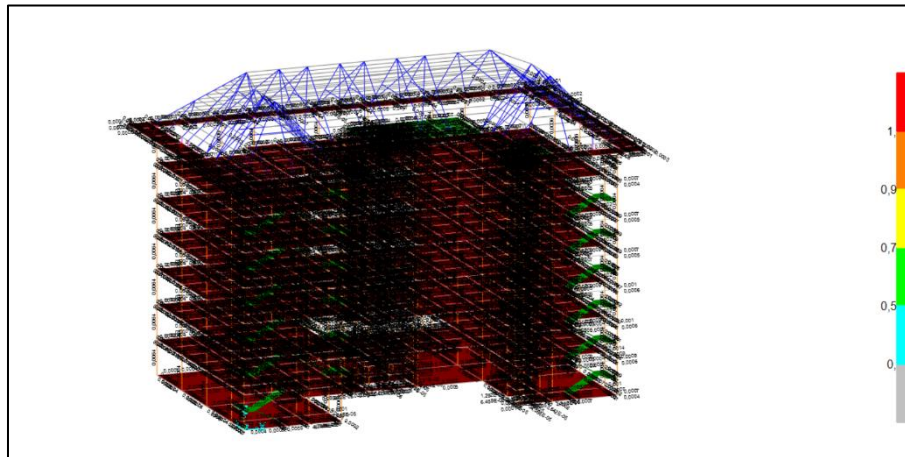
Lantai	Hsy (mm)	dx (mm)	Δy (mm)	Δa izin (mm)	Kontrol
Lt. 8	4200	38,1648	20,8662	84	OK
Lt. 7	4200	34,3710	26,1846	84	OK
Lt. 6	4200	29,6101	31,7879	84	OK
Lt. 5	4200	23,8305	37,9111	84	OK
Lt. 4	4200	16,9376	40,1719	84	OK
Lt. 3	4200	9,6336	35,6171	84	OK
Lt. 2	4200	3,1578	17,3679	84	OK
Dasar	0	0	0	0,00	OK

Sumber: Penulis, 2026

Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan SAP2000, dilakukan pemeriksaan simpangan antar tingkat sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7 dengan persamaan $\Delta = \frac{C_d}{I_e}(\delta_2 - \delta_1)$. Untuk bangunan Kategori Risiko IV digunakan faktor amplifikasi defleksi $C_d = 5,5$ dan faktor keutamaan gempa $I_e = 1,25$, sedangkan batas simpangan izin ditetapkan sebesar $\Delta_a = 0,020h_{sx}$. Dengan tinggi antar lantai 4.200 mm diperoleh batas simpangan izin sebesar 84 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat maksimum arah X terjadi pada Lantai 4 sebesar **38,50 mm**, sedangkan simpangan maksimum arah Y terjadi pada Lantai 4 sebesar **40,17 mm**. Nilai tersebut masih lebih kecil dari batas simpangan izin sebesar **84 mm**, sehingga seluruh lantai pada arah X maupun arah Y memenuhi persyaratan kinerja layak struktur menurut SNI 1726:2019. Dengan demikian, struktur gedung dinyatakan aman terhadap pengaruh simpangan antar tingkat akibat beban gempa rencana.

4. Kontrol Design dan Struktur Beton

Kontrol desain dilakukan setelah seluruh kombinasi pembebanan diterapkan pada setiap elemen struktur yang direncanakan. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan dimensi penampang, mutu beton, serta tulangan baja pada setiap elemen struktur. Selain itu, kontrol desain dan struktur juga dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh elemen mampu menahan beban rencana sesuai kapasitas yang dipersyaratkan.

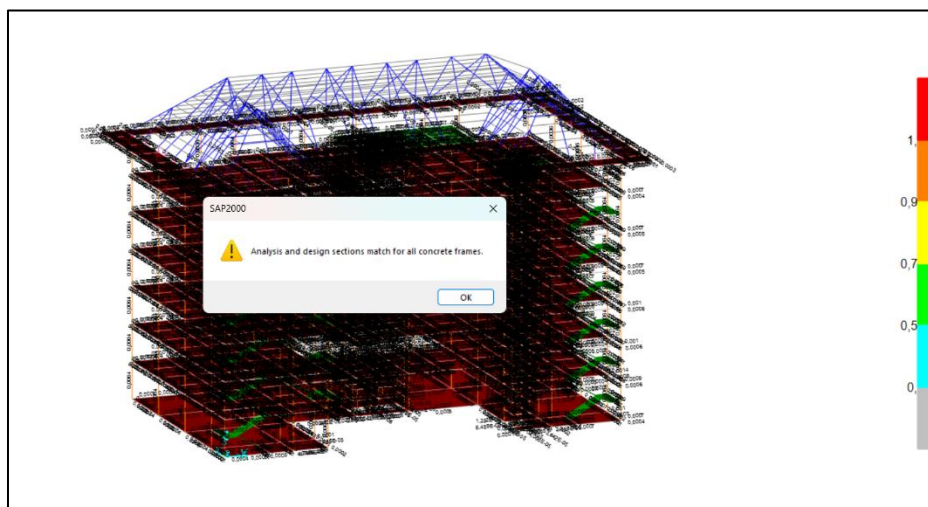


Gambar 4.3 Hasil Analisa Struktur

Pada Gambar 4.3, Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000, diperoleh distribusi gaya dalam dan tingkat pemanfaatan elemen struktur yang ditunjukkan melalui gradasi warna pada model tiga dimensi. Warna yang ditampilkan merepresentasikan rasio tegangan atau tingkat utilisasi elemen terhadap kapasitas desainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa elemen struktur, terutama balok dan kolom, berada pada rentang warna oranye, yang mengindikasikan bahwa elemen-elemen tersebut bekerja secara efektif dalam menahan beban yang bekerja tanpa melampaui kapasitas yang diizinkan.

Selain itu, tidak terdapat elemen yang menunjukkan kondisi overstress atau kegagalan struktur, sehingga dapat disimpulkan bahwa dimensi dan penulangan yang direncanakan telah mampu menahan kombinasi beban gravitasi maupun beban lateral sesuai ketentuan perencanaan. Distribusi gaya yang relatif merata pada seluruh sistem struktur menunjukkan bahwa mekanisme penyaluran beban dari pelat, balok, kolom, hingga pondasi telah berlangsung dengan baik.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, model struktur Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY dinyatakan memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas struktur sesuai ketentuan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam tahap desain elemen struktur dan penyusunan detail penulangan.



Gambar 4. 4 Kontrol Hubungan Pembebanan dan Desain Struktur

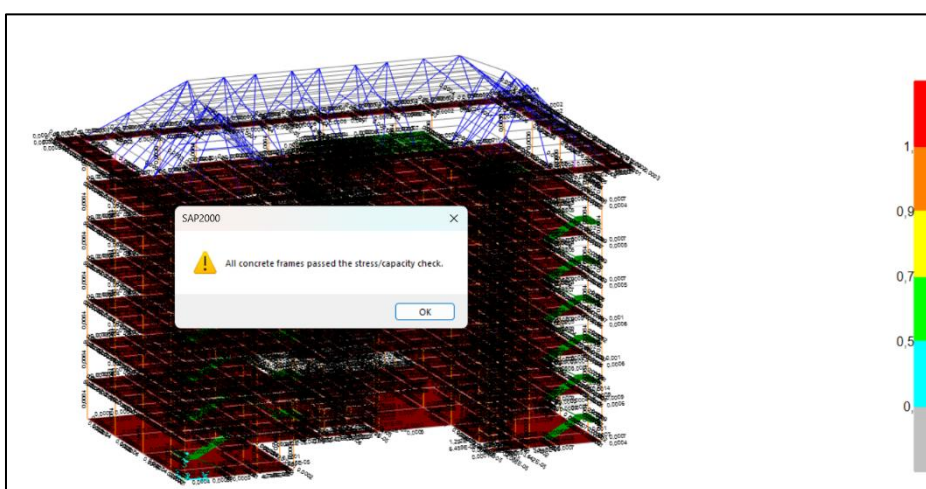
Gambar 4.4 menunjukkan hasil kontrol hubungan antara pembebanan dan desain struktur yang dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Proses ini bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian antara gaya-gaya dalam yang dihasilkan akibat kombinasi pembebanan dengan kapasitas elemen struktur yang telah direncanakan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019.

Hasil analisis menampilkan notifikasi “*Analysis and design sections match for all concrete frames*”, yang menunjukkan bahwa seluruh elemen beton bertulang yang dimodelkan, baik balok maupun kolom, telah memenuhi persyaratan desain dan tidak ditemukan ketidaksesuaian antara hasil analisis struktur dengan dimensi penampang yang digunakan dalam proses desain. Dengan demikian, penampang elemen yang direncanakan mampu menahan gaya aksial, gaya geser, dan momen yang timbul akibat kombinasi beban yang bekerja pada struktur.

Distribusi warna pada model struktur merepresentasikan tingkat utilisasi elemen terhadap kapasitas desainnya. Warna yang dominan berada pada rentang aman dan tidak menunjukkan adanya elemen yang mengalami *overstress* atau melebihi kapasitas yang diizinkan. Hal ini mengindikasikan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan

stabilitas sesuai ketentuan SNI 1726:2019 untuk pembebanan gempa serta SNI 2847:2019 untuk perencanaan struktur beton bertulang.

Berdasarkan hasil kontrol tersebut, dapat disimpulkan bahwa seluruh elemen struktur yang direncanakan telah memenuhi persyaratan desain dan layak digunakan sebagai desain akhir (*final design*), sehingga tidak diperlukan perubahan dimensi penampang maupun penulangan akibat ketidaksesuaian kapasitas struktur terhadap beban rencana.



Gambar 4. 5 Kontrol Kekuatan Dimensi Struktur

Gambar 4.5 menunjukkan hasil kontrol kekuatan dimensi struktur yang dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 setelah proses analisis dan desain elemen beton bertulang selesai dilakukan. Kontrol ini bertujuan untuk memastikan bahwa dimensi penampang yang direncanakan memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan gaya-gaya dalam akibat kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur.

Berdasarkan hasil pemeriksaan, SAP2000 menampilkan notifikasi “*All concrete frames passed the stress/capacity check*”, yang menunjukkan bahwa seluruh elemen frame beton bertulang telah memenuhi persyaratan rasio tegangan terhadap kapasitas (*stress/capacity ratio*). Dengan demikian, tidak terdapat elemen balok maupun kolom yang mengalami kondisi *overstress* atau memiliki kapasitas yang lebih kecil dibandingkan gaya dalam yang terjadi.

Distribusi warna pada model struktur merepresentasikan tingkat utilisasi kapasitas elemen. Sebagian besar elemen berada pada rentang warna orange yang menunjukkan bahwa elemen bekerja secara optimal dalam menahan beban rencana, dan dalam batas kapasitas yang diizinkan. Tidak terdapat elemen yang melebihi rasio kapasitas maksimum sehingga seluruh dimensi penampang yang digunakan dinyatakan aman terhadap kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang ditinjau.

Hasil kontrol ini menunjukkan bahwa dimensi balok, kolom, dan elemen struktur beton bertulang lainnya yang telah direncanakan mampu memenuhi persyaratan kekuatan sesuai ketentuan SNI 2847:2019. Oleh karena itu, dimensi struktur yang digunakan dapat diterima sebagai desain akhir tanpa memerlukan perubahan ukuran penampang akibat kekurangan kapasitas struktur.

4.7 Perencanaan Tulangan Struktur Atas Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi Universitas Negeri Yogyakarta

Hasil perhitungan perencanaans tulangan struktur atas diperoleh berdasarkan analisis gaya dalam pada setiap elemen struktur. Adapun kebutuhan tulangan yang digunakan agar struktur mampu menahan beban rencana disajikan sebagai berikut:

4.7.1 Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan tulangan balok dilakukan berdasarkan gaya momen dan gaya geser yang diperoleh dari hasil analisis struktur pada SAP2000. Nilai momen dan geser yang digunakan merupakan gaya maksimum yang terjadi pada masing-masing elemen balok. Pada program SAP2000, gaya momen dan gaya geser terbesar dapat ditinjau melalui menu *Show Tables* pada bagian *Element Forces – Frames* dengan data sebagai berikut:

Berdasarkan hasil perhitungan struktur, perhitungan tulangan balok untuk balok induk tipe B1 sebagai berikut:

1. Data Perencanaan Balok

- a. Mutu Beton ($f'c$) = 25 MPa
- b. Mutu Baja (f_y) = 420 MPa

- c. Dimensi Balok B1 = 400 x 700 mm
- d. Tulangan Utama (D) = 22 mm
- e. Tulangan Sengkang (d) = 10 mm
- f. Tebal Selimut Beton (p) = 50 mm
- g. d efektif balok = $h - p - d - (\frac{1}{2} \times D)$
 = $700 - 50 - 10 - (\frac{1}{2} \times 22)$
 = 639 mm
- h. 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:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0252\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,025 \\ &= 0,0189\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1,4/f_y \\ &= 1,4/420 \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

2. Perhitungan Tulangan Balok

Data perencanaan yang digunakan dalam perhitungan tulangan balok meliputi dimensi balok, mutu beton, mutu baja tulangan, beban yang bekerja, serta gaya dalam hasil analisis struktur. Adapun data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Momen Lentur Lapangan (Mu)} = 247653569 \text{ N/mm}$$

$$\text{Momen Lentur Tumpuan (Mu)} = 415307139 \text{ N/mm}$$

$$\text{Gaya Geser (Vu)} = 256170 \text{ N}$$

a. Perhitungan Tulangan Balok B1 Area Lapangan Tulangan Tarik Lapangan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Mu}{0,8} \\
 &= \frac{247653569}{0,8} \\
 &= 309566961,3 \text{ Nmm} \\
 &= 309,5669613 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mn} &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{309566961,3}{163328400} \\
 &= 1,895 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung rasio tulangan perlu:

$$\begin{aligned}
 \text{Mn} &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,764 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= 0,0047
 \end{aligned}$$

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max} = 0,0033 < 0,0047 < 0,0189$, digunakan $\rho \text{ perlu}$ sebagai batasan tulangan.

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ perlu} \times b \times d \\
 &= 0,0047 \times 400 \times 640,5 \\
 &= \mathbf{1210,079 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

As min (SNI 2846:2013) pasal 21.5.2.1:

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= \frac{1,4}{fy} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 639 \\
 &= \mathbf{852 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

As perlu Output SAP2000 = **1023,44 mm²**

Direncanakan menggunakan As pasang, **4D 22, As = 1520,53 mm²**

Syarat luas tulangan tarik longitudinal balok:

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

1520,53 mm² > 1210,079 (Memenuhi)

Cek syarat kapasitas momen lentur:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ hitung} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1520,529 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\
 &= 75,132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n \text{ Hitung} &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - (\frac{a}{2})) \\
 &= 0,85 \times 25 \times 75,132 \times 400 \times (639 - (\frac{75,132}{2})) \\
 &= 384,089 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat Momen Lentur Balok:

$\phi M_n \text{ Hitung} > M_n \text{ Perlu}$

$384,089 \text{ kNm} > 309,5669 \text{ kNm}$ (**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:

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= 1/3 \times 1520,53 \\
 &= \mathbf{506,843 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$\text{As Output SAP2000} = \mathbf{853,63 \text{ mm}^2}$$

As min (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 639 \\
 &= \mathbf{852 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan As pasang, **3D22, As = 1140,397 mm²**

Syarat Luas Tulangan Tekan Longitudinal Balok As pasang > MAX (As perlu:As Min:As perlu SAP2000) $1140,397 \text{ mm}^2 > 853,63 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

b. Perhitungan Tulangan Balok B1 Area Tumpuan

Tulangan Tarik Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{415307139}{0,8}
 \end{aligned}$$

$$= 519133923,8 \text{ Nmm}$$

$$= 519,1339238 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{519133923,8}{163328400} \\ &= 3,1784 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung rasio tulangan perlu:

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{420}{0,8 \times 25} \\ &= 19,764 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= 0,0082 \end{aligned}$$

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max} = 0,0033 < 0,0082 < 0,0189$, digunakan $\rho \text{ perlu}$ sebagai batasan tulangan.

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \text{ perlu} \times b \times d \\ &= 0,0082 \times 400 \times 639 \\ &= \mathbf{2105,767 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

As min (SNI 2846:2013) pasal 21.5.2.1:

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{25} \times 400 \times 639 \\ &= \mathbf{852 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

As perlu Output SAP2000 = **2020,114 mm²**

Direncanakan menggunakan As pasang, **6D 22, As = 2280,794 mm²**

Syarat luas tulangan tarik longitudinal balok:

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

$2280,794 \text{ mm}^2 > 2105,767 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

Cek syarat kapasitas momen lentur:

$$a = \frac{A_s \text{ hitung} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{2280,794 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400}$$

$$= 112,698 \text{ mm}$$

$$\phi M_n \text{ Hitung} = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - (\frac{a}{2}))$$

$$= 0,85 \times 25 \times 112,698 \times 400 \times (639 - (\frac{112,698}{2}))$$

$$= 558,140 \text{ kNm}$$

Syarat Momen Lentur Balok:

$\phi M_n \text{ Hitung} > M_n \text{ Perlu}$

558,140 kNm > 519,133 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:

$$\text{As perlu} = 1/3 \times 2280,794$$

$$= \mathbf{760,264 \text{ mm}^2}$$

$$\text{As Output SAP2000} = \mathbf{853,67 \text{ mm}^2}$$

As min (SNI 2847:2013) pasal 21.5.2.1

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

$$= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 639$$

$$= \mathbf{852 \text{ mm}^2}$$

Direncanakan menggunakan As pasang, **3D22, As = 1140,397 mm²**

Syarat Luas Tulangan Tekan Longitudinal Balok As pasang > MAX

(As perlu:As Min:As perlu SAP2000) 1140,397 mm² > 853,67 mm²

(Memenuhi)

c. Perhitungan Tulangan Transversal Balok B1

Cek Kekuatan Geser Balok

Vu maks (Output SAP2000) = 256,17 kN

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 400 \times 639$$

$$= 213 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times V_c$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \times 213 \\
 &= 127,8 \text{ kN} \\
 1/2\phi V_c &= \frac{1}{2} \times 127,8 \\
 &= 63,9 \text{ Kn} \\
 V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{256,17}{0,6} \\
 &= 426,95 \text{ kN} \\
 V_s &= V_n - V_c \\
 &= 426,95 \text{ kN} - 213 \text{ kN} \\
 &= 213,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$V_u > \phi V_c$$

$$256,17 \text{ kN} > 127,8 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

$$V_n > V_c$$

$$426,95 \text{ kN} > 213 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

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 13 mm dengan jarak yang diperhitungkan sebagai berikut:

1.) A_v/S Perlu Tumpuan (Output SAP2000) = 0,857 mm²

Direncanakan dipakai D10

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki} \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 2 \text{ kaki} \\
 &= \mathbf{265,33 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ Perlu} &= \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v/S \text{ Perlu}} \\
 &= \frac{265,33}{0,857} \\
 &= \mathbf{309,603 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} S \text{ Maks } 1 &= \frac{d'}{4} \\ &= \frac{639}{4} \\ &= 159,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ Maks } 2 &= 6D \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

Syarat:

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

$$100 \text{ mm} \leq \mathbf{100 \text{ mm}} \leq \text{Min} (159,75 \text{ mm} : 309,603 \text{ mm})$$

Digunakan tulangan sengkang tumpuan D13 – 100

2.) $A_v/S \text{ Perlu Lapangan (Output SAP2000)} = \mathbf{0,788 \text{ mm}^2}$

Direncanakan dipakai D13

$$\begin{aligned} A_v \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 2 \text{ kaki} \\ &= \mathbf{265,33 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ Perlu} &= \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v/S \text{ Perlu}} \\ &= \frac{265,33}{0,788} \\ &= \mathbf{336,713 \text{ mm}} \end{aligned}$$

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

21.6.4 sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned} S \text{ Maks } 1 &= \frac{d'}{2} \\ &= \frac{639}{2} \\ &= 319,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ Maks } 2 &= 6D \\ &= 6 \times 22 \end{aligned}$$

$$= 132 \text{ mm}$$

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

Syarat:

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

$$100 \text{ mm} \leq \mathbf{150 \text{ mm}} \leq \text{Min} (319,5 \text{ mm} : 336,713 \text{ mm})$$

Digunakan tulangan sengkang lapangan D13 – 150

DIMENSI BALOK	B1 - 400 x 700	
POSISI BENTANG	TUMPUAN	LAPANGAN
POSISI BENTANG		
TULANGAN ATAS	6 D22	3 D22
TULANGAN BAWAH	3 D22	4 D22
SENGKANG	D13 - 100	D13 - 150
SELIMUT BETON	50 mm	
MUTU BETON	f _c 25 Mpa	
MUTU BAJA TULANGAN	F _y 420 Mpa	

Gambar 4. 6 Detail Tulangan Balok B1

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan balok sesuai SNI 2847:2019, diperoleh sebanyak 28 tipe balok dengan variasi dimensi yang disesuaikan terhadap kebutuhan pembebanan dan bentang struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas tulangan terpasang (A_s terpasang) pada seluruh tipe balok lebih besar dari luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu) maupun luas tulangan minimum (A_s min), sehingga memenuhi persyaratan kekuatan lentur. Selain itu, jarak bersih antar tulangan telah memenuhi ketentuan minimum SNI 2847:2019, yaitu lebih besar dari diameter tulangan dan 25 mm. Tulangan longitudinal dan sengkang yang digunakan juga telah memenuhi ketentuan detailing untuk struktur beton bertulang. Dengan demikian, seluruh balok yang direncanakan memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan keamanan struktur sehingga layak digunakan pada Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY. Adapun hasil perhitungan penulangan balok ditunjukkan pada rekapitulasi penulangan dibawah.

	Dimensi Balok (b x h)			Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Senggang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	100 Tulangan Dipasang		
S1	400	x	600	Tumpuan	Atas	1565,56	1817,10	720,67	19	10	1984,70	24,50	YA	1	OK	OK	7	D	19
					Bawah	721,48	661,57	720,67	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	722,31	378,04	720,67	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	753,21	720,67	720,67	19	10	1134,11	68,00	YA	1	OK	OK	4	D	19
S2	300	x	500	Tumpuan	Atas	1098,65	1068,88	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Bawah	524,39	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	505,87	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	1056,33	909,58	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
S3	300	x	500	Tumpuan	Atas	1096,88	1126,43	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Bawah	501,63	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	488,50	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	1056,22	980,96	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
S4	300	x	500	Tumpuan	Atas	1089,67	1074,57	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Bawah	489,60	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	488,50	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	950,33	885,14	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
S5	400	x	500	Tumpuan	Atas	1253,60	1134,45	587,33	19	10	1417,64	46,25	YA	1	OK	OK	5	D	19

Dimensi Balok (b x h)				Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Sengkang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	Tulangan Dipasang
B1	400	x	700	Lapangan	Bawah	602,54	472,55	587,33	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Atas	592,80	378,04	587,33	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	1022,60	970,07	587,33	19	10	1134,11	68,00	YA	1	OK	OK	4 D 19
				Tumpuan	Atas	2020,14	2105,77	852,00	22	10	2280,79	29,60	YA	1	OK	OK	6 D 22
					Bawah	853,67	760,26	852,00	22	10	1140,40	107,00	YA	1	OK	OK	3 D 22
					Atas	853,63	506,84	852,00	22	10	1140,40	107,00	YA	1	OK	OK	3 D 22
B1a	350	x	500	Lapangan	Bawah	1023,44	1210,08	852,00	22	10	1520,53	64,00	YA	1	OK	OK	4 D 22
					Atas	1389,66	1322,76	513,92	19	10	1417,64	33,75	YA	1	OK	OK	5 D 19
					Bawah	604,76	472,55	513,92	19	10	850,59	86,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
				Tumpuan	Atas	603,88	378,04	513,92	19	10	850,59	86,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	907,66	857,19	513,92	19	10	1134,11	51,33	YA	1	OK	OK	4 D 19
					Atas	2208,90	2252,93	852,00	22	10	2280,79	29,60	YA	1	OK	OK	6 D 22
B1b	400	x	700	Lapangan	Bawah	908,90	760,26	852,00	22	10	1140,40	107,00	YA	1	OK	OK	3 D 22
					Atas	976,10	633,55	852,00	22	10	1140,40	107,00	YA	1	OK	OK	3 D 22
					Bawah	1809,77	1886,83	852,00	22	10	1900,66	42,50	YA	1	OK	OK	5 D 22
				Tumpuan	Atas	1805,77	1872,05	745,50	22	10	1900,66	30,00	YA	1	OK	OK	5 D 22
					Bawah	903,77	633,55	745,50	22	10	1140,40	82,00	YA	1	OK	OK	3 D 22

Dimensi Balok (b x h)				Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Sengkang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	Tulangan Dipasang
B3	400	x	600	Lapangan	Atas	707,80	633,55	745,50	22	10	1140,40	82,00	YA	1	OK	OK	3 D 22
					Bawah	1706,80	1641,42	745,50	22	10	1900,66	30,00	YA	1	OK	OK	5 D 22
				Tumpuan	Atas	1789,76	1763,79	720,67	19	10	1984,70	24,50	YA	1	OK	OK	7 D 19
					Bawah	765,88	661,57	720,67	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
B4	300	x	500	Lapangan	Atas	567,88	378,04	720,67	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	922,56	843,30	720,67	19	10	1134,11	68,00	YA	1	OK	OK	4 D 19
				Tumpuan	Atas	1103,87	1085,08	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4 D 19
					Bawah	604,76	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
B5	400	x	500	Lapangan	Atas	503,78	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	1023,80	939,29	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4 D 19
				Tumpuan	Atas	1399,70	1388,04	587,33	19	10	1417,64	46,25	YA	1	OK	OK	5 D 19
					Bawah	588,40	472,55	587,33	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
B6	300	x	400	Lapangan	Atas	603,80	472,55	587,33	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	1222,60	1196,88	587,33	19	10	1417,64	46,25	YA	1	OK	OK	5 D 19
				Tumpuan	Atas	1120,77	1101,08	340,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4 D 19
					Bawah	502,88	378,04	340,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
				Lapangan	Atas	445,80	378,04	340,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19

Dimensi Balok (b x h)				Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Sengkang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	Tulangan Dipasang		
B7	300	x	500	Tumpuan	Bawah	1104,60	1001,15	340,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Atas	1102,98	1117,16	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
				Lapangan	Bawah	604,76	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Atas	489,88	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
B8	300	x	400	Tumpuan	Bawah	997,88	948,48	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Atas	1099,77	1122,05	340,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
				Lapangan	Bawah	450,88	378,04	340,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Atas	576,80	378,04	340,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
B8a	300	x	500	Tumpuan	Bawah	1120,77	989,36	340,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Atas	1080,77	1125,45	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
				Lapangan	Bawah	657,88	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Atas	467,88	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
B9	400	x	700	Tumpuan	Bawah	908,77	1004,73	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Atas	1703,40	1528,49	852,00	22	10	1900,66	42,50	YA	1	OK	OK	5	D	22
				Lapangan	Bawah	907,88	633,55	852,00	22	10	1140,40	107,00	YA	1	OK	OK	3	D	22
					Atas	708,97	506,84	852,00	22	10	1140,40	107,00	YA	1	OK	OK	3	D	22
					Bawah	1407,88	1380,96	852,00	22	10	1520,53	64,00	YA	1	OK	OK	4	D	22

Dimensi Balok (b x h)				Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Sengkang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	Tulangan Dipasang		
B10	300	x	500	Tumpuan	Atas	1108,50	1064,27	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Bawah	609,76	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	503,70	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	998,50	903,32	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
B11	300	x	500	Tumpuan	Atas	1069,80	1131,14	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Bawah	624,80	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	560,80	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	908,80	978,47	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
B12	300	x	400	Tumpuan	Atas	1116,00	1133,22	340,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
					Bawah	602,80	378,04	340,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
				Lapangan	Atas	507,88	378,04	340,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	1070,80	951,07	340,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19
B13	250	x	500	Tumpuan	Atas	798,80	822,70	367,08	19	10	850,59	36,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
					Bawah	509,88	283,53	367,08	19	10	567,06	92,00	YA	1	OK	OK	2	D	19
				Lapangan	Atas	405,60	283,53	367,08	19	10	567,06	92,00	YA	1	OK	OK	2	D	19
					Bawah	807,60	716,64	367,08	19	10	850,59	36,50	YA	1	OK	OK	3	D	19
B14	300	x	500	Tumpuan	Atas	1108,70	1094,77	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4	D	19

Dimensi Balok (b x h)				Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Sengkang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	Tulangan Dipasang
B15	300	x	500	Lapangan	Bawah	578,90	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Atas	504,77	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	1109,80	939,90	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4 D 19
				Tumpuan	Atas	1078,50	1106,96	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4 D 19
					Bawah	564,70	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Atas	687,50	378,04	440,50	19	10	850,59	61,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
B16	400	x	550	Lapangan	Bawah	1087,60	965,29	440,50	19	10	1134,11	34,67	YA	1	OK	OK	4 D 19
					Atas	1309,70	1210,49	654,00	19	10	1417,64	46,25	YA	1	OK	OK	5 D 19
					Bawah	691,80	472,55	654,00	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
				Tumpuan	Atas	604,50	378,04	654,00	19	10	850,59	111,50	YA	1	OK	OK	3 D 19
					Bawah	1045,60	991,35	654,00	19	10	1134,11	68,00	YA	1	OK	OK	4 D 19
					Atas	1412,94	1347,42	439,00	22	10	1520,53	30,67	YA	1	OK	OK	4 D 22
B17	300	x	500	Lapangan	Bawah	709,78	506,84	439,00	22	10	760,26	136,00	YA	1	OK	OK	2 D 22
					Atas	708,50	506,84	439,00	22	10	760,26	136,00	YA	1	OK	OK	2 D 22
					Bawah	1387,90	1164,50	439,00	22	10	1520,53	30,67	YA	1	OK	OK	4 D 22
				Tumpuan	Atas	1378,53	1164,66	439,00	22	10	1520,53	30,67	YA	1	OK	OK	4 D 22
					Bawah	687,50	506,84	439,00	22	10	760,26	136,00	YA	1	OK	OK	2 D 22

Dimensi Balok (b x h)				Daerah	Letak Tulangan	As (SAP) mm ²	As Hitung (mm)	As Min (mm)	Ø Utama (mm)	Ø Sengkang (mm)	As Terpasang mm ²	Jarak Bersih Antar Tulangan mm	Jarak Bersih >= db dan 25 mm	Jumlah Lapis	Syarat As Terpasang >= As min	Syarat As Terpasang >= As perlu	Tulangan Dipasang
B19	475	x	700	Lapangan	Atas	687,40	380,13	439,00	22	10	760,26	136,00	YA	1	OK	OK	2 D 22
					Bawah	1107,60	921,03	439,00	22	10	1140,40	57,00	YA	1	OK	OK	3 D 22
				Tumpuan	Atas	1827,30	1623,91	1011,75	22	10	1900,66	61,25	YA	1	OK	OK	5 D 22
					Bawah	879,20	633,55	1011,75	22	10	1140,40	144,50	YA	1	OK	OK	3 D 22
B20	300	x	500	Lapangan	Atas	809,77	506,84	1011,75	22	10	1140,40	144,50	YA	1	OK	OK	3 D 22
					Bawah	1389,70	1475,97	1011,75	22	10	1520,53	89,00	YA	1	OK	OK	4 D 22
				Tumpuan	Atas	1329,82	1111,44	439,00	22	10	1520,53	30,67	YA	1	OK	OK	4 D 22
					Bawah	743,80	506,84	439,00	22	10	760,26	136,00	YA	1	OK	OK	2 D 22
				Lapangan	Atas	709,60	380,13	439,00	22	10	760,26	136,00	YA	1	OK	OK	2 D 22
					Bawah	1098,37	979,59	439,00	22	10	1140,40	57,00	YA	1	OK	OK	3 D 22

4.7.2 Perhitungan Tulangan Pelat

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

1. Data Perencanaan Balok

- a. Mutu Beton ($f'c$) = 25 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
- g. d' = $p + \frac{D}{2}$
= 25 mm
- h. d = $h - d'$
= 95 mm
- i. dx = $h - p - \frac{D}{2}$
= 95 mm
- j. dy = $d_y = h - p - \frac{D}{2} - D$
= 85 mm
- k. β = 0,85

l. 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:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0253 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,025 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ min} &= 1,4/f_y \\ &= 1,4/420 \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

m. Analisis Gaya Momen Pelat A0

$$\begin{aligned}M_{lx} &= 9,657 \text{ Knm} \\ M_{ly} &= 11,88 \text{ Knm} \\ M_{tx} &= 5,26 \text{ Knm} \\ M_{ty} &= 5,674 \text{ Knm}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Tulangan Lapangan Pelat A0

a. Arah X

$$\text{Momen X (M}_{lx}) = 9,657 \text{ kNm} = 9657000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}M_n \text{ Perlu} &= \frac{M_{lx}}{\phi} \\ &= \frac{9657000}{0,8} \\ &= 12071250 \\ &= 12,0712 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \times dx^2} \\ &= \frac{12071250}{1000 \times 9025} \\ R_n &= 1,337 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Rasio batasan tulangan:

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,764\end{aligned}$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho \text{ perlu} = 0,0032$$

$$\rho \text{ max} = 0,0189$$

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

Syarat:

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{max}} = 0,0032 < 0,0033 < 0,0189$, digunakan ρ_{min} sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} A_s \text{ Perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d_x \\ A_s &= 0,0033 \times 1000 \times 95 \\ A_s' &= 316,667 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ Pakai} &= 392,5 \text{ mm}^2 \text{ (D10 - 200)} \end{aligned}$$

Syarat:

$A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ perlu}$

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

Kontrol kapasitas momen lentur

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 7,757 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ hitung} &= A_s \text{ pakai} \times f_y \left(d_x - \frac{a}{2} \right) \\ M_n &= 392,5 \times 420 \left(95 - \frac{7,757}{2} \right) \\ M_n &= 15021325,9 \text{ Nmm} \\ M_n &= 15,021 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat momen lentur pelat:

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

$15,021 \text{ mm}^2 > 12,071 \text{ mm}^2$ **(Memenuhi)**

Maka, digunakan tulangan D10 – 200 pada tulangan lapangan arah X

b. Arah Y

Momen Y (M_{ly}) = 11,88 kNm = 11880000 Nmm

$$\begin{aligned} M_n \text{ Perlu} &= \frac{M_{ly}}{\phi} \\ &= \frac{11880000}{0,8} \\ &= 14850000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$= 14,85 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \times d x^2}$$

$$= \frac{14850000}{1000 \times 9025}$$

$$R_n = 1,645 \text{ N/mm}^2$$

Rasio batasan tulangan:

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 16,47$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,645}{420}} \right)$$

$$\rho \text{ perlu} = 0,004$$

$$\rho \text{ max} = 0,019$$

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

Syarat:

$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max} = 0,0033 < 0,004 < 0,0189$, digunakan $\rho \text{ perlu}$ sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah Y

$$A_s \text{ Perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$A_s = 0,004 \times 1000 \times 95$$

$$A_s = 385,031 \text{ mm}^2$$

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

Syarat:

$A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ perlu}$

$392,5 \text{ mm}^2 > 385,031 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

Kontrol kapasitas momen lentur

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 7,757 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ hitung} = A_s \text{ pakai} \times f_y \left(d_x - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 392,5 \times 420 \left(95 - \frac{7,757}{2} \right)$$

$$M_n = 15021325,94 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 15,021 \text{ kNm}$$

Syarat momen lentur pelat:

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

$$15,021 \text{ mm}^2 > 14,85 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka, digunakan tulangan D10 – 200 pada tulangan lapangan arah Y

3. Perhitungan Tulangan Tumpuan Pelat A0

a. Arah X

$$\text{Momen X (Mlx)} = 5,26 \text{ kNm} = 5260000 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ Perlu} = \frac{M_{lx}}{\phi}$$

$$= \frac{5260000}{0,8}$$

$$= 6575000 \text{ Nmm}$$

$$= 6,575 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \times dx^2}$$

$$= \frac{6575000}{1000 \times 9025}$$

$$R_n = 0,728 \text{ N/mm}^2$$

Rasio batasan tulangan:

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,764$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho \text{ perlu} = 0,0017$$

$$\rho \text{ max} = 0,019$$

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

Syarat:

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max} = 0,0017 < 0,0033 < 0,019$, digunakan $\rho \text{ min}$ sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah X

$$A_s \text{ Perlu} = \rho_{\text{min}} \times b \times d_x$$

$$A_s = 0,0033 \times 1000 \times 95$$

$$A_s = 316,667 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pakai} = 392,5 \text{ mm}^2 \text{ (D10 – 200)}$$

Syarat:

$A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ perlu}$

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

Kontrol kapasitas momen lentur

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 7,757 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n \text{ hitung} = A_s \text{ pakai} \times f_y \left(d_x - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 392,5 \times 420 \left(95 - \frac{7,757}{2} \right)$$

$$M_n = 15021325,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 15,021 \text{ kNm}$$

Syarat momen lentur pelat:

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

$$15,021 \text{ mm}^2 > 6,575 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka, digunakan tulangan D10 – 200 pada tulangan lapangan arah X

b. Arah Y

$$\text{Momen Y (Mly)} = 5,674 \text{ kNm} = 5674000 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ Perlu} = \frac{M_{Lx}}{\phi}$$

$$= \frac{5674000}{0,8}$$

$$= 7092500 \text{ Nmm}$$

$$= 7,0925 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \times dx^2}$$

$$= \frac{7092500}{1000 \times 9025}$$

$$R_n = 0,7858 \text{ N/mm}^2$$

Rasio batasan tulangan:

$$m = \frac{f_y}{0,85f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,764$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{19,764} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,764 \times 0,7858}{420}} \right)$$

$$\rho \text{ perlu} = 0,0019$$

$$\rho \text{ max} = 0,019$$

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

Syarat:

$\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min} < \rho \text{ max} = 0,0019 < 0,0033 < 0,0189$, digunakan $\rho \text{ min}$ sebagai batasan tulangan.

Luas Tulangan Arah Y

$$A_s \text{ Perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$A_s = 0,0033 \times 1000 \times 95$$

$$A_s = 316,667 \text{ mm}^2$$

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

Syarat:

$A_s \text{ Pakai} > A_s \text{ perlu}$

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

Kontrol kapasitas momen lentur

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 7,757 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_n \text{ hitung} = A_s \text{ pakai} \times f_y \left(d_x - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 392,5 \times 420 \left(95 - \frac{7,757}{2} \right)$$

$$M_n = 15021325,94 \text{ Nmm}$$

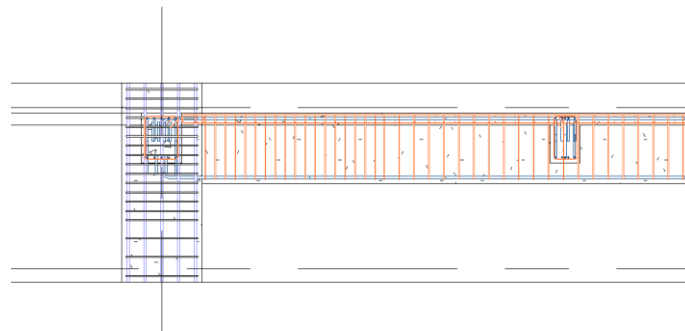
$$M_n = 15,021 \text{ kNm}$$

Syarat momen lentur pelat:

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

$$15,021 \text{ mm}^2 > 7,0295 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka, digunakan tulangan D10 – 200 pada tulangan lapangan arah Y



Gambar 4. 7 Detail Tulangan Pelat A0

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan pelat lantai sesuai SNI 2847:2019, diperoleh beberapa tipe pelat dengan tebal 120 mm yang direncanakan untuk menahan momen lentur pada arah X dan arah Y, baik pada daerah tumpuan maupun lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas momen nominal terfaktor (ϕM_n) pada seluruh tipe pelat lebih besar dibandingkan momen ultimit (M_u) yang bekerja, sehingga memenuhi persyaratan kekuatan lentur. Selain itu, luas tulangan terpasang ($A_s \text{ pakai}$) lebih besar daripada luas tulangan yang dibutuhkan ($A_s \text{ perlu}$), serta lendutan yang terjadi masih berada di bawah batas lendutan izin yang dipersyaratkan. Tulangan yang digunakan pada pelat lantai adalah D10-200 untuk

seluruh tipe pelat, dan hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa seluruh elemen pelat memenuhi persyaratan kekuatan, lendutan, serta detailing tulangan sesuai ketentuan SNI 2847:2019, sehingga aman digunakan dalam perencanaan struktur Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY. Adapun hasil perhitungan penulangan Pelat ditunjukkan pada rekapitulasi penulangan dibawah.

Tabel 4. 20 Desain Tulangan Pelat Lantai

Tipe Balok	Tebal Pelat (mm)	Nama Tulangan	Daerah	Mu (SAP) (kNm)	As Perlu (mm ²)	As Pakai (mm ²)	ØMn Hitung (kNm)	ØMn Perlu (kNm)	Lendutan Total	Batas Max Lendutan Izin	Cek Lendut	Cek Kapasitas Momen	Cek As Pakai ≥ As Perlu	Tulangan Dipasang
A0	120	Tulangan X	Tumpuan	5,260	316,667	392,500	15,021	6,575				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	9,657	316,667	392,500	15,021	12,071	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
		Tulangan Y	Tumpuan	5,674	316,667	392,500	15,021	7,093				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	11,880	385,031	392,500	15,021	14,850	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
A1	120	Tulangan X	Tumpuan	8,503	316,667	392,500	15,021	10,629				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	9,890	320,524	392,500	15,021	12,363	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
		Tulangan Y	Tumpuan	9,418	316,667	392,500	15,021	11,773				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	11,880	385,031	392,500	15,021	14,850	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
A2	120	Tulangan X	Tumpuan	6,352	316,667	392,500	15,021	7,940				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	8,352	316,667	392,500	15,021	10,440	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
		Tulangan Y	Tumpuan	7,527	316,667	392,500	15,021	9,409				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	7,830	316,667	392,500	15,021	9,788	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
A3	120	Tulangan X	Tumpuan	6,994	316,667	392,500	15,021	8,743				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	8,425	316,667	392,500	15,021	10,531	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
		Tulangan Y	Tumpuan	6,552	316,667	392,500	15,021	8,190				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	8,010	316,667	392,500	15,021	10,013	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
A4	120	Tulangan X	Tumpuan	6,880	316,667	392,500	15,021	8,600				OK	OK	D10 - 200

Tipe Balok	Tebal Pelat (mm)	Nama Tulangan	Daerah	Mu (SAP) (kNm)	As Perlu (mm ²)	As Pakai (mm ²)	ØMn Hitung (kNm)	ØMn Perlu (kNm)	Lendutan Total	Batas Max Lendutan Izin	Cek Lendut	Cek Kapasitas Momen	Cek As Pakai ≥ As Perlu	Tulangan Dipasang
			Lapangan	8,257	316,667	392,500	15,021	10,321	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200
		Tulangan Y	Tumpuan	6,712	316,667	392,500	15,021	8,390				OK	OK	D10 - 200
			Lapangan	8,040	316,667	392,500	15,021	10,050	11,653	16,667	OK	OK	OK	D10 - 200

4.7.3 Perhitungan Tulangan Kolom

Data hasil analisis struktur menggunakan program SAP2000 dengan *preliminary design* kolom K1 diperoleh sebagai dasar dalam perencanaan dan pengecekan kapasitas elemen kolom. Adapun hasil analisis struktur kolom K1 disajikan sebagai berikut:

Diperoleh hasil gaya dalam pada struktur kolom sebagai berikut:

$$P_u = 5876,488 \text{ kN}$$

$$M_u = 576,605 \text{ kNm}$$

$$V_u = 203,773 \text{ kN}$$

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:

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

$$\frac{800 \times 800 \times 25}{10} < 5876,488 \text{ kN}$$

$$16000 < 5876,488 \text{ kN (Memenuhi)}$$

- b. Ukuran penampang terpendek:

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

$$800 \geq 300 \text{ mm (Memenuhi)}$$

- c. Rasio dimensi:

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

$$\frac{800}{800} > 0,4$$

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

2. Periksa Momen Lentur Tulangan Longitudinal Kolom

- a. As perlu (Output SAP2000) = 6400 mm^2

$$\text{Digunakan As Pakai 14 D25} = 6872,228 \text{ mm}^2$$

Syarat

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

$$6872,228 \text{ mm}^2 > 6400 \text{ mm}^2$$

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

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

$$1\% < \frac{6872,228}{800 \times 800} < 6\%$$

$$1\% < 1,07\% < 6\% \text{ (Memenuhi)}$$

Dengan demikian, digunakan tulangan longitudinal kolom sebesar 14D 25 ($A_s = 6872,228 \text{ mm}^2$).

b. Kondisi Keruntuhan Imbang (P_u)

$$\begin{aligned} d' &= p + d + (1/2 \times D) \\ &= 40 + 13 + (1/2 \times 25) \\ &= 65,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= b - d' \\ &= 734,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= \frac{0,003 \times E_s}{0,003 \times E_s + f_y} \times \beta_1 \times d \\ &= \frac{0,003 \times 200000}{0,003 \times 200000 + 420} \times 0,85 \times 734,5 \\ &= 367,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cb &= \frac{Ab}{\beta_1} \\ &= \frac{367,25}{0,85} \\ &= 432,0588 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset P_n &= 0,85 \times f'_c \times ab \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 367,25 \times 800 \\ &= 6243250 \text{ N} \\ &= 6243,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\emptyset P_n > P_u$$

$$6243,25 \text{ kN} > 5876,488 \text{ kN (Memenuhi)}$$

$$d'' = \frac{0,85 f'_c b h \left(d - \frac{h}{2} \right) + A'_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b h + (A'_s + A_s) f_y}$$

$$= 334,5 \text{ mm}$$

c. Eksentrisitas Gaya

$$eb = d - d'' - \frac{1}{2} Ab$$

$$= 216,375 \text{ mm}$$

$$\phi Pn eb = \phi Pn \times eb + As' \times fy \times (d - d' - d'') + As \times fs \times d''$$

$$= 2124599321 \text{ Nmm}$$

$$= 2124,599321 \text{ kNm}$$

Syarat:

$$\phi Pn eb > Mu$$

$$2124,599 \text{ kNm} > 576,605 \text{ kNm (Memenuhi)}$$

d. Kontrol Regangan Baja Tulangan

$$\epsilon'_s = 0,003 \times \frac{C_b - d'}{C_b}$$

$$= 0,003 \times \frac{432,0588 - 65,5}{432,0588}$$

$$= 0,2825$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{\epsilon'_s}$$

$$= \frac{420}{200000}$$

$$= 0,0021$$

Syarat regangan baja tulangan:

$$\epsilon_s' > \epsilon_y$$

$$0,2825 > 0,0021 \text{ (Memenuhi)}$$

e. Pengecekan *Strong Coloumn Weak Beam* (SCWB)

$$\text{Momen Nominal Kolom, } M_{nc} = 576,605 \text{ kNm}$$

$$M_n^- \text{ Tumpuan Balok} = 415,307 \text{ kNm}$$

$$M_n^+ \text{ Tumpuan Balok} = 247,653 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek SCWB} = 2M_{nc} \geq 1,2(M_n^- + M_n^+)$$

$$= 1153,21 \geq 795,552 \text{ (Memenuhi)}$$

3. Periksa Syarat Gaya Geser (V_c)

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

$$\begin{aligned} M_{pr} &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= 640,672 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{2 \times M_{pr}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 640,672}{4} \\ &= 320,336 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat:

$$V_c > V_u$$

$$320,336 \text{ kN} > 203,773 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

4. Spasi Tulangan Geser Kolom

$$A_v/S \text{ Perlu (Output SAP2000)} = 1,209 \text{ mm}^2$$

Direncanakan dipakai 2 D13

$$\begin{aligned} A_v \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times 2 \text{ kaki} \\ &= 265,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= \frac{A_v \text{ Pakai}}{A_v/S \text{ Perlu}} \\ &= \frac{265,22}{1,209} \\ &= 219,462 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} S \text{ maks } 1 &= \frac{h}{4} \\ &= \frac{800}{4} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

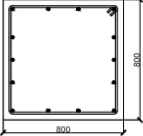
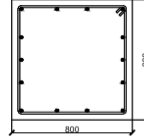
$$\begin{aligned}
 S \text{ maks } 2 &= 6 \times D \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 S \text{ maks } 3 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

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

$$100 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} \leq \text{Min} (200 \text{ mm} : 219,462 \text{ mm})$$

Digunakan tulangan geser kolom D13-150

DIMENSI KOLOM	K1 - 800 x 800	
POSISI BENTANG	TUMPUAN	LAPANGAN
POSISI BENTANG		
TULANGAN UTAMA	14 D25	14 D25
TULANGAN SENGGANG	D13 - 150	D13 - 150
SELIMUT BETON	40 mm	
MUTU BETON	f'c 25 Mpa	
MUTU BAJA TULANGAN	Fy 420 Mpa	

Gambar 4. 8 Detail Penulangan Kolom K1

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan longitudinal kolom sesuai SNI 2847:2019, diperoleh 12 tipe kolom dengan dimensi bervariasi mulai dari 400 × 400 mm hingga 800 × 800 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas tulangan terpasang (A_s pasang) pada seluruh tipe kolom lebih besar daripada luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu), sehingga memenuhi persyaratan kekuatan terhadap gaya aksial yang bekerja. Selain itu, hasil pemeriksaan kapasitas kolom menunjukkan bahwa nilai gaya aksial terfaktor (P_u) masih lebih kecil dibandingkan kapasitas tekan nominal terfaktor (ϕP_n), sehingga seluruh kolom dinyatakan aman terhadap beban aksial. Rasio tulangan yang digunakan berada pada rentang 1,07% hingga 2,38% dan masih memenuhi batas minimum serta maksimum yang dipersyaratkan oleh SNI 2847:2019. Dengan demikian, seluruh tipe kolom yang direncanakan telah memenuhi persyaratan kekuatan, keamanan, dan detailing

tulangan sehingga layak digunakan pada struktur Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY. Adapun hasil data perhitungan penulangan kolom dapat dilihat direkapitulasi dibawah.

Tabel 4. 21 Daftar Tulangan Longitudinal Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)		Gaya Aksial Pu (kN)	Gaya Aksial Hitung ϕP_n (kN)	As perlu SAP (mm ²)	As Pasang (mm ²)	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	800	800	5876,488	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K1a	800	800	5203,89	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K2	800	800	5203,89	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K3	800	800	4984,884	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K4	700	700	4219,867	1572,749	4800	5890,481	OK	12	D	25	OK	1,20%	OK
K5	600	600	3298,778	1103,783	4600	4908,734	OK	10	D	25	OK	1,36%	OK
K6	600	600	3378,26	1103,783	4800	4908,734	OK	10	D	25	OK	1,36%	OK
K7	800	800	4784,5	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K8	800	800	5019,88	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K9	800	800	5028,77	2124,599	6400	6872,228	OK	14	D	25	OK	1,07%	OK
K10	400	400	1387,904	536,9226	3030,435	3801,324	OK	10	D	22	OK	2,38%	OK
K11	400	400	1304,88	536,9226	3030,435	3801,324	OK	10	D	22	OK	2,38%	OK
K12	400	400	1407,056	536,9226	3030,435	3801,324	OK	10	D	22	OK	2,38%	OK

Tabel 4. 22 Daftar Tulangan Geser Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)		Av/ S Perlu SAP (mm ²)	Gaya Geser Vu SAP (kN)	Gaya Geser Hitung Vn (kN)	As Pasang (mm ²)	S Perlu (mm)	Spasi Max	Spasi Max	Spasi Max	Cek Syarat Geser	Cek Spasi	Tulangan Dipasang			
								1 (mm) (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4.3	2 (mm) (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4.3	3 (mm) (SNI 2847:2013) pasal 21.6.4.3						
K1	800	800	1,209	203,773	320,3361	265,33	219,4624	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K1a	800	800	1,209	198,776	289,8111	265,33	219,4624	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K2	800	800	1,187	198,776	284,6889	265,33	223,5299	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K3	800	800	1,2809	201,23	275,9867	265,33	207,1434	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K4	700	700	0,9808	187,583	204,3839	265,33	270,5241	175	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K5	600	600	0,9081	137,55	165,9883	265,33	292,1815	150	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K6	600	600	1,1098	144,653	168,21	265,33	239,0791	150	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K7	800	800	1,405	230,768	279,3778	265,33	188,847	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K8	800	800	1,2809	270,77	289,3189	265,33	207,1434	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K9	800	800	1,3043	5028,77	277,1006	265,33	203,4271	200	150	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K10	400	400	0,826	128,54	144,3728	265,33	321,2228	100	132	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K11	400	400	0,9801	143,447	154,7239	265,33	270,7173	100	132	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150
K12	400	400	0,7842	124,075	142,2706	265,33	338,3448	100	132	150	OK	Pakai S Max	D	13	-	150

4.8 Perencanaan Struktur Bawah Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi Universitas Negeri Yogyakarta

Hasil perhitungan perencanaan tulangan struktur bawah diperoleh berdasarkan analisis gaya dalam pada setiap elemen struktur. Adapun kebutuhan tulangan yang digunakan agar struktur mampu menahan beban rencana disajikan sebagai berikut:

4.8.1 Perencanaan Daya Dukung dan *Bore pile*

Adapun hasil perhitungan daya dukung dan *bore pile* diperoleh sebagai berikut:

Menghitung kapasitas daya dukung tiang bor dari data SPT memakai metode *Reese & Wright*. Berdasarkan metode *Reese & Wright*, kapasitas daya dukung pondasi (Q_u) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Berikut adalah perhitungan pondasi *Borepile*:

b. *Borepile* 80 cm

Perencanaan pondasi *Borepile*:

Untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi maka dibutuhkan beberapa data sebagai berikut:

Data

- Tipe = 80 cm
- Jenis Pondasi = *Borepile*
- \emptyset penampang tiang (D) = 80 cm
- Beban yang diterima (P_u) = 599,030 ton
- Panjang tiang (L) = 1600 cm
- Data tanah (Nilai SPT) = 49
- Luas penampang (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 80^2 \\ &= 5024 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$= 0,5024 \text{ m}^2$$

Keliling penampang (K)

$$\begin{aligned} K &= \pi d \\ &= 3,14 \times 80 \\ &= 251,429 \text{ cm} \\ &= 0,251 \text{ m} \end{aligned}$$

Volume (V)

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times \text{Panjang tiang} \\ &= 5028 \times 1600 \\ &= 8,038 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kohesi tanah (Cu)

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{3} \times NSPT \times 10 \\ &= \frac{2}{3} \times 49 \times 10 \\ &= 326,667 \text{ kN/m}^2 \\ &= 33,299 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 \times Cu \times A \\ &= 150,566 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \times Cu \times L \times K \\ &= 736,102 \text{ ton} \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 150,566 + 736,102 \\ &= 886,668 \text{ ton} \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung netto (Q_{nett})

$$\begin{aligned} \omega &= V \times \gamma_{beton} \\ &= 8044800 \times 0,0024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 192921,6 \text{ kg} \\
 &= 19,291 \text{ ton} \\
 Q_{nett} &= Q_u - \omega \\
 &= 886,668 - 19,291 \\
 &= 867,376 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Menghitung kebutuhan pondasi (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{P_u}{Q_{nett}} \\
 &= 3,205 \\
 &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Direncanakan *pilecap* dengan data berikut:

- Ø pondasi = 800 mm
- Dimensi kolom pendek = 800 mm
- Dimensi kolom Panjang = 800 mm
- Jarak antar tiang = 2100 mm
- Jarak tiang ke tepi *pilecap* = 1000 mm
- Mutu beton (f_c') = 25 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Gaya aksial (P_u) = 599 ton = 5876,488 kN
- Panjang *Pilecap* = 4,1 m
- Lebar *Pilecap* = 4,1 m
- Tebal *Pilecap* = 0,9 m

Cek kontrol terhadap gaya geser 1 arah (arah x)

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{P_u}{A} \\
 &= \frac{5876,488}{4,1 \times 4,1} \\
 &= 349,582 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$d = \text{tebal efektif } \textit{pilecap}$$

$$= 0,79 \text{ m}$$

$$G' = \text{daerah pembebanan geser satu arah}$$

$$\begin{aligned}
 &= L - \left(\frac{L_c}{2} + \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} + d \right) \\
 &= 0,86 \\
 V_u &= \sigma \times L \times G' \\
 &= 349,582 \times 4,1 \times 0,86 \\
 &= 1232,629 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times L \times d \\
 &= 0,75 \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 4100 \times 790 \\
 &= 2024375 \text{ N} \\
 &= 2024,375 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

$$2024,375 \text{ kN} > 1232,629 \text{ kN} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Karena *pilecap* berbentuk persegi, maka cek kontrol terhadap gaya geser 1 arah (arah y) bernilai sama.

Cek kontrol terhadap gaya geser 2 arah

$$\begin{aligned}
 B' \text{ dan } L' &= \text{Lebar kolom} + \frac{d \text{ efektif}}{2} \times 2 \\
 &= 0,8 + \frac{0,79}{2} \times 2 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 b_0 &= 2(B' + L') \\
 &= 2(1,59 + 1,59) \\
 &= 6,36 \text{ m} \\
 &= 6360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung tegangan geser dari 3 persamaan:

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 6360 \times 790 \\
 &= 12812220 \text{ N} \\
 &= 12812,22 \text{ kN} \\
 V_{c2} &= \frac{1}{12} \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_0} \right) 2 \lambda \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{12} \left(2 + \frac{40 \times 790}{6360} \right) 2 \times 1 \times \sqrt{25} \times 6360 \times 790 \\
 &= 10401666,83 \text{ N} \\
 &= 10401,66 \text{ kN} \\
 V_{c3} &= \frac{1}{3} \lambda \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d \\
 &= \frac{1}{3} (1 \times \sqrt{25} \times 6360 \times 790) \\
 &= 12561000 \text{ N} \\
 &= 12561 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai V_c terkecil yaitu

$$\begin{aligned}
 V_c &= 10401,66 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times V_{c3} \\
 &= 0,75 \times 10401,66 \\
 &= 7801,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada tanah

$$\begin{aligned}
 V_u &= \sigma \times (L \times B - L' \times B') \\
 &= 349,582 \times (4,1 \times 4,1 - 1,59 \times 1,59) \\
 &= 4992,707 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

$$7801,25 \text{ kN} > 4992,707 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

Perhitungan Tulangan Borepile

Borepile 80 cm

Perencanaan tulangan *Borepile*:

Direncanakan *Borepile*:

- Diameter (b) = 800 mm
- Selimut beton (sb) = 70 mm
- Mutu beton (f'_c) = 25 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- P_u = 4784,5 kN
- M_u = 576,605 kNm
- M_n = 72,076 kNm = 72075625 Nmm

Direncanakan diameter tulangan utama $\emptyset 19$.

Menentukan nilai tebal efektif (d)

$$\begin{aligned} d &= b - sb - 0,5\emptyset \\ &= 800 - 70 - 0,5(19) \\ &= 720,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan Utama

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\ &= \frac{72075625}{800 \times 720,5^2} \\ &= 0,1735 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \left(\frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{420} \right) \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0764}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0004 \end{aligned}$$

Syarat:

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

$0,0004 < 0,0033 < 0,019$, digunakan ρ min sebagai batasan tulangan.

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

$$\begin{aligned} A_{S_{perlu}} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 800 \times 720,5 \\ &= 1921,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan, digunakan tulangan *Borepile 8D19*

$$\begin{aligned}
 A_{S_{pakai}} &= \frac{1}{4} \pi \times 19^2 \times 8 \\
 &= 2269,14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{S_{pakai}} > A_{S_{perlu}}$$

$$2269,14 > 1921,33 \text{ (Memenuhi)}$$

Tulangan Geser/Spiral

Direncanakan:

- \emptyset tulangan utama = 19 mm
- \emptyset tulangan spiral = 13 mm
- Selimut beton (sb) = 70 mm
- Panjang tiang = 1600 mm

Menentukan nilai tebal efektif (d)

$$\begin{aligned}
 d &= b - sb - 0,5\emptyset \\
 &= 720,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\
 &= 407509,39 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_w &= \frac{A_g}{0,8 \times D} \\
 &= \frac{407509,39}{0,8 \times 800} \\
 &= 636,733 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung luas spiral perlu

$$\begin{aligned}
 A_{v_{perlu}} &= \frac{0,35 \times b_w \times s}{f_y} \\
 &= \frac{0,35 \times 636,733 \times 800}{420} \\
 &= 424,488 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v_{perlu}} &= \frac{0,062 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times s}{f_y} \\
 &= \frac{0,062 \times \sqrt{25} \times 636,733 \times 800}{420} \\
 &= 375,975 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

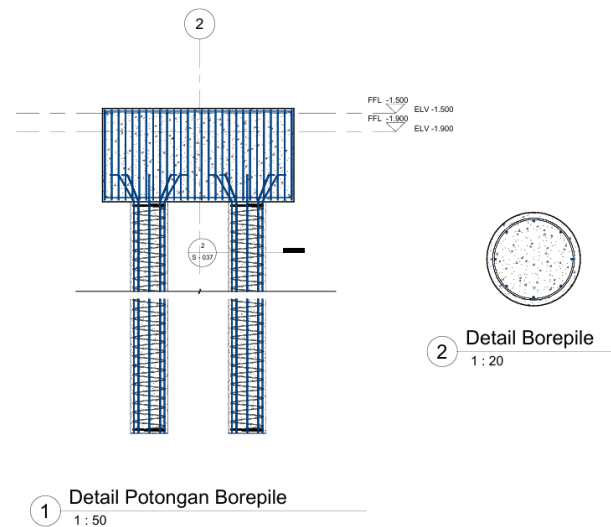
$$\text{Digunakan } A_{v_{perlu}} = 424,488 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan spiral yaitu **$\emptyset 13-200$**

$$\begin{aligned}
 Av_{pakai} &= \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \times \left(\frac{1600}{200} \right) \\
 &= 1061,32 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$Av_{pakai} \geq Av_{perlu}$$

$$1061,32 > 424,488 \text{ (Memenuhi)}$$



Gambar 4. 9 Detail Pondasi *Borepile*

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan *borepile* sesuai SNI 2847:2019, diperoleh 9 tipe *borepile* dengan diameter 800 mm yang direncanakan untuk menahan kombinasi beban aksial dan momen dari struktur atas. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas tulangan longitudinal terpasang (A_s pasang) lebih besar daripada luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu) pada seluruh tipe *borepile*, sehingga memenuhi persyaratan kekuatan struktur. Selain itu, luas tulangan geser spiral yang digunakan (D13-200) menghasilkan nilai A_v pakai lebih besar dibandingkan A_v perlu. Hasil pemeriksaan menunjukkan seluruh persyaratan tulangan longitudinal maupun spiral telah terpenuhi, sehingga seluruh tipe *borepile* dinyatakan aman dan memenuhi ketentuan detailing tulangan sesuai SNI 2847:2019 untuk digunakan sebagai pondasi Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY. Adapun hasil analisis perhitungan tulangan *Borepile* dapat dilihat dalam hasil rekapitulasi penulangan *Borepile* dibawah.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Tulangan *Borepile*

Tipe	Diameter (mm)	Mu (kNm)	As Perlu (mm ²)	As Pasang (mm ²)	Av Perlu	Av Pakai	Tulangan Utama		Tulangan Spiral	As pasang > As perlu	Av Pakai > Av Perlu	
P1	80	512,028	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P1a	80	419,82	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P2	80	502,88	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P3	80	506,7776	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P4	80	405,37	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P5	80	510,908	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P6	80	498,72	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P7	80	602,236	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P7a	80	580,718	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK
P8	80	625,81	1921,333	2268,228	424,489	1061,32	8	D	19	D13-200	OK	OK

4.8.2 Perencanaan *Pile cap*

Adapun hasil perhitungan *pile cap* diperoleh sebagai berikut:

a. Data Perencanaan *Pile cap* PC1

Dimensi <i>Pile cap</i>	= 4,1 x 4,1 m
Tebal <i>Pile cap</i>	= 900 mm
Diameter Tiang (D)	= 800 mm
Dimensi Kolom	= 800 x 800 mm
Mutu Beton (f'c)	= 25 Mpa
Batu Baja (fy)	= 420 Mpa
Pu (Output SAP2000)	= 5876,488 kN

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

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{5876,488}{4,1 \times 4,1} \\ &= 349,582 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' \text{ efektif } \textit{pile cap} &= 0,79 \text{ m} \\ &= 790 \text{ mm}\end{aligned}$$

Daerah Pembebanan Geser 1 Arah

$$\begin{aligned}G' &= L - \left(\frac{L}{2} + \frac{b_{kolom}}{2} + d' \right) \\ &= 0,86\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \sigma \times L \times G' \\ &= 1232,629 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times L \times d' \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 4100 \times 790 \\ &= 2024375 \text{ N} \\ &= 2024,375 \text{ kN}\end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

$$2024,375 \text{ kN} > 1232,629 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

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

$$\begin{aligned}
 B' \text{ dan } L' &= b_{kolom} + \frac{d'}{2} \times 2 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 b_0 &= 2 \times (B' \times L') \\
 &= 2 \times (1,59 \times 1,59) \\
 &= 6,36 \text{ m} \\
 &= 6360 \text{ mm} \\
 V_{c1} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d' \\
 &= 12812220 \text{ N} \\
 &= 12812,220 \text{ kN} \\
 V_{c2} &= \frac{1}{12} \left(2 + \frac{A_s \times d'}{5900}\right) \times 1 \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d' \\
 &= 10401666,83 \text{ N} \\
 &= 10401,66 \text{ kN} \\
 V_{c3} &= \frac{1}{2} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d' \\
 &= 12561000 \text{ N} \\
 &= 12561 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

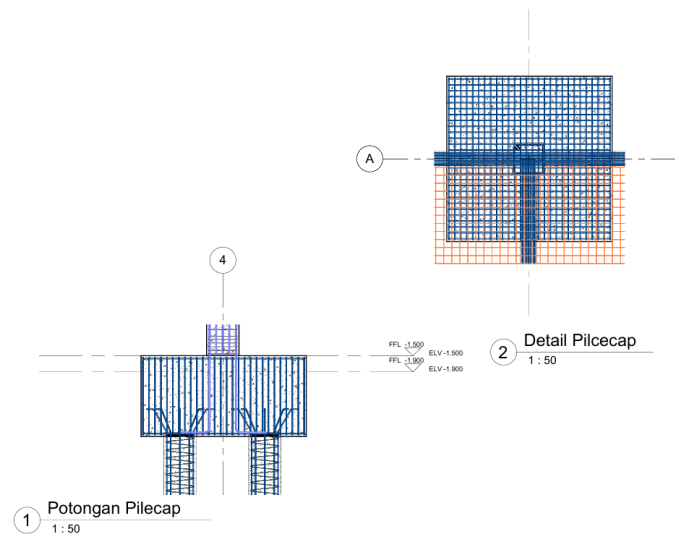
Digunakan nilai V_c terkecil untuk memenuhi syarat geser nominal sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 10401,66 \\
 &= 7801,25 \text{ kN} \\
 V_u &= \sigma \times (A - L' \times B') \\
 &= 4992.707 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi V_c > V_u$$

$$7801,25 \text{ kN} > 4992.707 \text{ Kn} \text{ (Memenuhi)}$$



Gambar 4. 10 Detail Pilecap P1

4.9 Perhitungan Tulangan Struktur Bawah Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi Universitas Negeri Yogyakarta

Perhitungan tulangan dilakukan untuk menentukan kebutuhan penulangan struktur Bawah Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi Universitas Negeri Yogyakarta sesuai ketentuan perencanaan struktur beton bertulang, berdasarkan hasil analisis beban serta kapasitas daya dukung pondasi. Adapun kebutuhan tulangan yang digunakan agar struktur mampu menahan beban rencana disajikan sebagai berikut:

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:

Demensi	= 4100 m x 4100 m
Ketebalan	= 900 mm
Beban Vertikal	= 5876,488 kN
Momen Ultimate	= 576,605 kN
Jumlah Tiang	= 4 buah

Jarak Antar Tiang	= 2100
Jarak Tiang ke Tepi <i>Pilecap</i>	= 1000
Mutu Beton ($f'c$)	= 25 Mpa
Mutu Baja (f_y)	= 420 Mpa
Batasan tulangan:	

b. Tulangan Arah X

Tulangan Bawah X

$$M_u = 57660500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{57660500}{0,9 \times 900 \times 361}$$

$$= 0,546 \text{ N/mm}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{25} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,546}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,00131 \text{ mm}^2$$

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

0,00131 < 0,0033 < 0,019, digunakan $\rho \text{ min}$ untuk As perlu tulangan sebagai berikut:

$$\text{As perlu} = \rho_{\text{min}} \times b \times d'$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 820,5$$

$$= 2735 \text{ mm}^2$$

Digunakan As pakai tulangan bawah D19-100, As = 2835 mm²

Syarat:

As Pakai > As perlu

$$2835 \text{ mm}^2 > 2735 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Tulangan Atas X

$$\text{As perlu tulangan atas} = 20\text{-}50\% \text{ As pakai tulangan bawah}$$

$$= 50\% \times 2835$$

$$= 1417,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan As pakai tulangan atas D19-150, As = 1890 mm²

Syarat:

As Pakai > As perlu

$1890 \text{ mm}^2 > 1417,5 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

c. Tulangan Arah Y

Tulangan Bawah Y

$$M_u = 41876300$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{41876300}{0,9 \times 900 \times 361}$$

$$= 0,396 \text{ Nmm}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,396}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0009 \text{ mm}^2$$

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

$0,0009 < 0,0033 < 0,019$, digunakan $\rho \text{ min}$ untuk As perlu tulangan sebagai berikut:

$$\text{As perlu} = \rho_{min} \times b \times d'$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 820,5$$

$$= 2735 \text{ mm}^2$$

Digunakan As pakai tulangan atas D19-100, $\text{As} = 2835 \text{ mm}^2$

Syarat:

As Pakai > As perlu

$2835 \text{ mm}^2 > 2735 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

Tulangan Atas Y

$$\text{As perlu tulangan atas} = 20-50\% \text{ As pakai tulangan bawah}$$

$$= 50\% \times 2835$$

$$= 1417,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan As pakai tulangan atas D19-150, $\text{As} = 1890 \text{ mm}^2$

mm^2 Syarat:

As Pakai > As perlu

1890 mm² > 1417,5 mm² (**Memenuhi**)

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan *pile cap* sesuai SNI 2847:2019, diperoleh beberapa tipe *pile cap* yang direncanakan untuk menahan momen lentur pada arah X dan arah Y. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas tulangan terpasang (As pasang) pada seluruh tipe *pile cap* lebih besar dibandingkan luas tulangan yang dibutuhkan (As perlu), baik pada lapisan tulangan atas maupun bawah, sehingga memenuhi persyaratan kekuatan lentur. Tulangan yang digunakan berupa tulangan D19 dengan jarak 150 mm untuk tulangan atas dan 100 mm untuk tulangan bawah. Hasil pemeriksaan menunjukkan seluruh tipe *pile cap* memenuhi persyaratan luas tulangan minimum dan kebutuhan tulangan rencana, yang ditunjukkan dengan status "Memenuhi" pada seluruh elemen. Dengan demikian, desain tulangan *pile cap* yang direncanakan telah memenuhi persyaratan kekuatan dan detailing tulangan sesuai SNI 2847:2019 sehingga aman digunakan untuk mendukung sistem pondasi Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY.

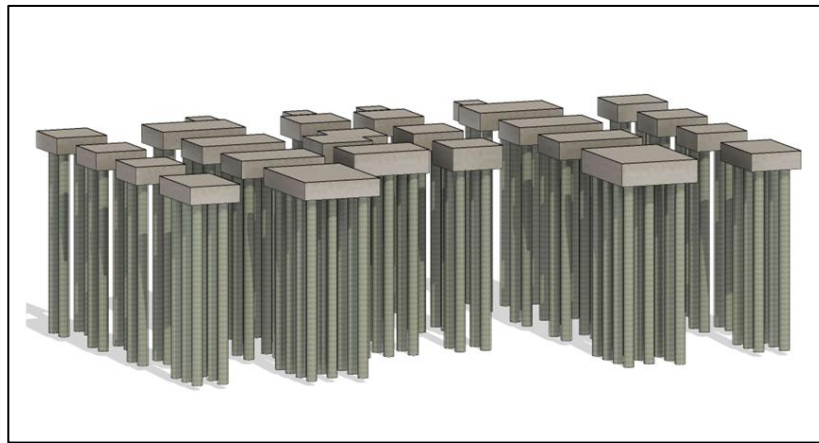
Tipe	Mu (kNm)	Arah Tulangan	Letak	As perlu (mm²)	As Pasang (mm²)		Tulangan		As pasang > As perlu
P1	51,2028	Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	41,8763	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
P1a	41,982	Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	39,8028	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
P2	50,288	Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	40,9415	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
P3	50,67776	Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	42,0363	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
P4	40,537	Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	32,385	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
P5	51,0908	Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK

Tipe	Mu (kNm)	Arah Tulangan	Letak	As perlu (mm ²)	As Pasang (mm ²)		Tulangan		As pasang > As perlu
P6	44,028	Tulangan Y	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
			Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
		Tulangan X	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	49,872	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
		Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
P7	41,8763	Tulangan Y	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
			Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
		Tulangan X	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	60,2236	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
		Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
P7a	52,0749	Tulangan Y	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
			Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
		Tulangan X	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	58,0718	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
		Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
P8	50,182	Tulangan Y	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
			Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
		Tulangan X	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
	62,581	Tulangan Y	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK
		Tulangan X	Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK
50,1823	Tulangan Y	Bawah	2735	2835	D	19	100	OK	
		Atas	1417,5	1890	D	19	150	OK	
			Bawah	2735	2835	D	19	100	OK

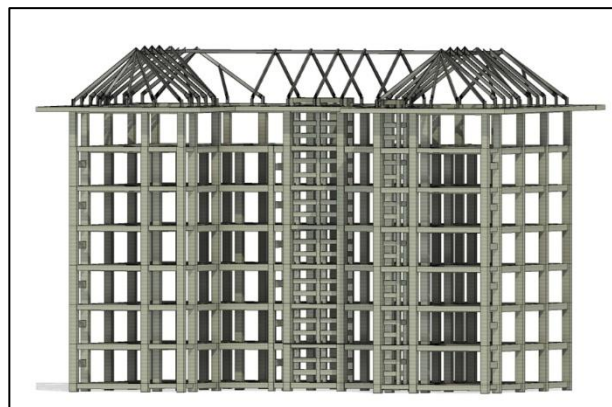
4.10 Pemodelan 3D Autodesk Revit

Berdasarkan tahapan pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit yang telah dijelaskan pada Subbab 3.7, proses pemodelan Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi Universitas Negeri Yogyakarta diawali dengan pembuatan struktur bawah yang meliputi pondasi *bored pile*, *pile cap*, dan lantai kerja.

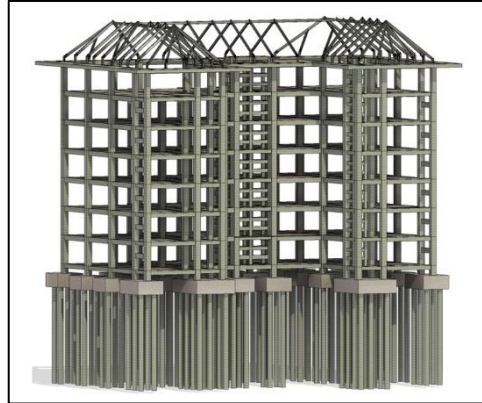
Setelah itu, dilakukan pemodelan struktur atas yang terdiri atas kolom, balok, pelat lantai, tangga, serta pelat atap. Adapun hasil pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit ditunjukkan pada Gambar 4.11, 4.12, dan 4.13.



Gambar 4. 11 Permodelan 3D Struktur Bawah Gedung FIPP UNY



Gambar 4. 12 Permodelan 3D Struktur Atas Gedung FIPP UNY



Gambar 4. 13 Permodelan 3D Penulangan Gedung FIPP UNY

Berdasarkan hasil pemodelan tiga dimensi (3D) menggunakan Autodesk Revit, seluruh elemen struktur bawah dan struktur atas Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY berhasil dimodelkan sesuai dengan hasil perencanaan dan analisis struktur yang telah dilakukan sebelumnya. Elemen struktur yang dimodelkan meliputi *bore pile*, *pile cap*, kolom, balok, pelat lantai, tangga, dan pelat atap. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa dimensi, posisi, serta hubungan antar elemen struktur telah sesuai dengan desain yang direncanakan dan tidak ditemukan adanya *clash* atau benturan antar elemen struktur. Dengan demikian, model 3D yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar yang akurat untuk proses *Quantity Take Off* (QTO), penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), penjadwalan proyek, serta integrasi BIM 5D.

4.11 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

Hasil *quantity take off* menggunakan Autodesk Revit digunakan sebagai dasar dalam menentukan volume masing-masing pekerjaan berdasarkan struktur pekerjaan yang sudah dimodelkan di Autodesk Revit.

Tahap berikutnya adalah menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang digunakan sebagai dasar estimasi total biaya pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Rekap RAB Proyek Gedung FIPP UNY

No. Mata	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)
A	PEKERJAAN PERSIAPAN	
	JUMLAH HARGA PEKERJAAN	342.414.610,53
B	PEKERJAAN STRUKTUR BAWAH	
B1	Pekerjaan Galian Urugan	71.881.512,92
B2	Pekerjaan Pondasi Borpile Ø800 mm	2.849.238.602,48
B3	Pekerjaan <i>Pilecap</i>	1.661.894.701,32
B4	Pekerjaan Kolom Pedestal	387.236.158,35
	JUMLAH HARGA PEKERJAAN	4.970.250.975,07
C	PEKERJAAN STRUKTUR ATAS	
C1	Pekerjaan Lantai 1	1.446.089.110,37
C2	Pekerjaan Lantai 2	1.377.380.816,88
C3	Pekerjaan Lantai 3	1.604.850.789,93
C4	Pekerjaan Lantai 4	1.357.326.223,18
C5	Pekerjaan Lantai 5	1.321.318.537,75
C6	Pekerjaan Lantai 6	1.335.464.352,55
C7	Pekerjaan Lantai 7	1.273.321.183,18
C8	Pekerjaan Lantai 8	795.913.813,74
C9	Pekerjaan Struktur Atap	317.247.791,34
	JUMLAH HARGA PEKERJAAN	10.828.912.618,91
	TOTAL JUMLAH HARGA PEKERJAAN	16.141.578.204,51
	PPN 11%	1.775.573.602,50
	TOTAL HARGA KESELURUHAN	17.917.151.808,00

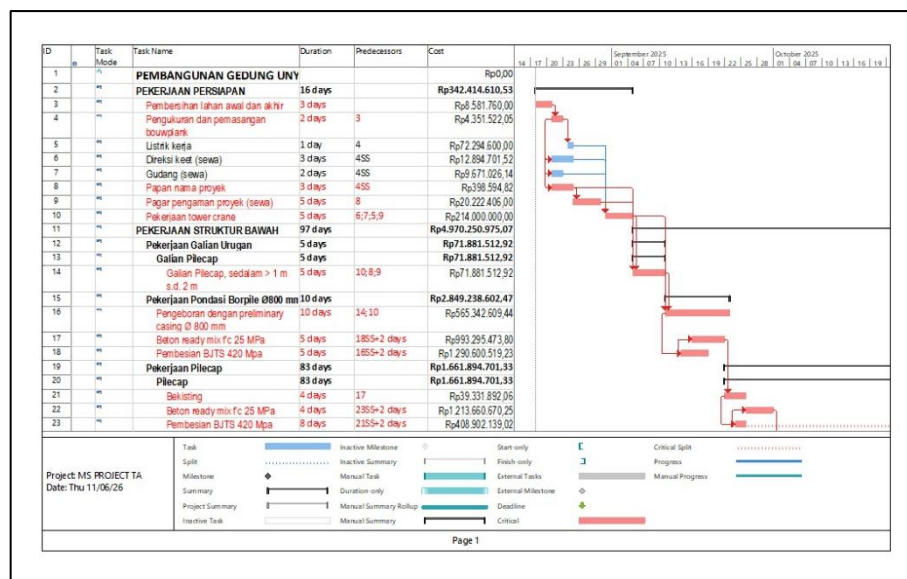
Berdasarkan hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), diperoleh total biaya konstruksi sebesar Rp16.141.578.204,51 yang merepresentasikan kebutuhan anggaran untuk pelaksanaan pekerjaan struktur. Jika dibandingkan dengan RAB eksisting sebesar Rp18.761.805.396,43, hasil perencanaan menunjukkan penghematan biaya sebesar Rp2.620.227.191,92 atau sekitar 13,97%. Penerapan konsep BIM melalui integrasi model tiga dimensi (3D) dan proses *Quantity Take Off* (QTO) memberikan kemudahan dalam penyusunan RAB yang lebih sistematis, akurat, dan efisien, sehingga meningkatkan keandalan estimasi biaya proyek.

Sebagai contoh Berdasarkan hasil perbandingan antara data eksisting dan hasil *Quantity Take Off* (QTO) menggunakan Autodesk Revit, diperoleh bahwa volume pekerjaan kolom lantai 1 mengalami penurunan dari 683,75 m² menjadi 546,86 m² untuk bekisting, dari 45.772,18 kg menjadi 36.617,74 kg untuk pembesian, dan dari 131,89 m³ menjadi 111,67 m³ untuk pembetonan. Perubahan tersebut menyebabkan biaya pekerjaan kolom menurun dari Rp750.884.449,35

pada data eksisting menjadi Rp607.264.446,24 pada hasil QTO, atau lebih rendah sebesar Rp143.620.003,11. Pada pekerjaan balok/*sloof* lantai 1, volume bekisting berkurang dari 524,57 m² menjadi 367,20 m² dan volume pembesian dari 26.262,29 kg menjadi 21.009,83 kg, sedangkan volume beton dari 126,50 m³ menjadi 99,01 m³. Kondisi ini menghasilkan biaya pekerjaan balok/*sloof* sebesar Rp383.124.864,19 dibandingkan biaya eksisting sebesar Rp425.973.126,28, sehingga terjadi penghematan sebesar Rp42.848.262,09. Secara keseluruhan, metode QTO berbasis BIM menghasilkan estimasi volume dan biaya yang lebih akurat dan efisien dibandingkan metode perhitungan eksisting.

4.12 Penyusunan Penjadwalan

Penjadwalan pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi UNY direncanakan menggunakan Microsoft Project ditunjukkan pada gambar 4.31.



Gambar 4. 14 Penjadwalan Gedung FIPP UNY

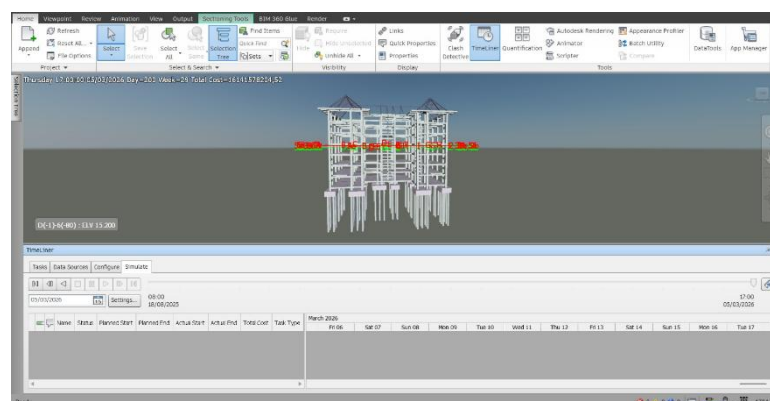
Berdasarkan hasil penjadwalan pekerjaan struktur menggunakan Microsoft Project, diperoleh total durasi pelaksanaan proyek selama 29 minggu. Durasi tersebut lebih singkat dibandingkan jadwal eksisting proyek yang mencapai 32 minggu, sehingga diperoleh efisiensi waktu pelaksanaan sebesar 3 minggu atau 9,38%. Hasil analisis lintasan kritis menunjukkan bahwa pekerjaan persiapan,

pekerjaan *bore pile*, *pilecap*, kolom pedestal, kolom, *sloof*, balok, pelat lantai dari Lantai 1 hingga Lantai 8, serta pekerjaan struktur atap merupakan aktivitas yang berada pada jalur kritis dan memiliki nilai total float sebesar nol.

Oleh karena itu, setiap keterlambatan pada aktivitas tersebut akan berdampak langsung terhadap penyelesaian proyek secara keseluruhan. Sementara itu, beberapa pekerjaan pendukung seperti direksi keet, gudang sementara, papan nama proyek, dan pagar pengaman proyek berada pada lintasan non-kritis karena masih memiliki kelonggaran waktu pelaksanaan. Integrasi penjadwalan dengan BIM 5D menghasilkan perencanaan yang lebih terstruktur, memudahkan koordinasi antarpekerjaan, serta memberikan visualisasi pelaksanaan konstruksi yang lebih efektif dalam mendukung pengendalian waktu proyek.

4.13 Integrasi Building Information Modeling (BIM)

Pada tahap implementasi BIM 5D, dilakukan proses integrasi dengan menggabungkan data hasil pemodelan 3D, Rencana Anggaran Biaya (RAB), serta jadwal pelaksanaan proyek yang telah disusun ke dalam perangkat lunak *Autodesk Navisworks*. Integrasi tersebut menghasilkan keluaran berupa simulasi visual pembangunan proyek dalam bentuk video yang menggambarkan urutan pelaksanaan pekerjaan secara mendekati kondisi nyata di lapangan. Hasil integrasi BIM 5D tersebut ditampilkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Integrasi permodelan Gedung FIPP UNY