

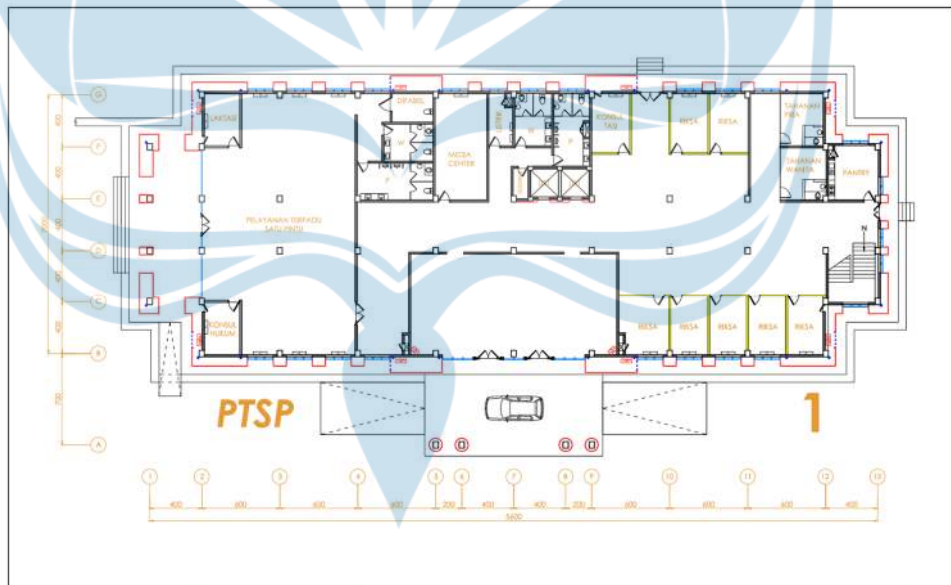
BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Layout Struktur

Pembangunan Gedung Kejaksaan Tinggi Palangkaraya merupakan momentum untuk meningkatkan peran kejaksaan dalam penegakan hukum yang berkeadilan. Bangunan ini memiliki 6 lantai dengan lebar bangunan 20 m, dan Panjang 56 m, serta total luas lantai 5.200 m². Pembangunan Gedung Kejati ini dilakukan dari bulan 10 tahun 2022 yaitu peletakan batu pertama dan akan terealisasi pada pertengahan tahun 2024.

Pada bagian ini akan disajikan layout struktur, data bangunan serta spesifikasi material yang digunakan. Layout struktur dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Layout Lantai 1 Gedung Kajati

Data bangunan pada Gedung Kejaksaan Kalimantan Tengah diperlukan dalam perancangan, agar memudahkan perhitungan serta permodelan. Data bangunan dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini

Tabel 2.1 Data Bangunan

Lantai	Tinggi (m)	Elevasi (m)	Fungsi Lantai
Lt. 6	1.6 meter	+21000	Tumpuan Atap Gording
Lt. 5	4.2 meter	+21000	Ruang BIN & WAS
Lt. 4	4.2 meter	+16800	Ruang PIDSUS & PIDUM
Lt. 3	4.2 meter	+12600	Ruang Pimpinan
Lt. 2	4.2 meter	+8400	Ruang INTEL & DATUN
Lt. 1	4.2 meter	+4200	Ruang PTSP

Spesifikasi material yang digunakan dalam desain struktur Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah adalah sebagai berikut.

1. Beton

- Kuat tekan beton umur 28 hari mutu K-300, $F_c' = 25$ MPa (balok, kolom, pelat lantai, sloof)
- Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700\sqrt{F_c'} = 4700\sqrt{25} = 23,500$ MPa

2. Baja tulangan

- Baja tulangan $D > 10$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh, $f_y = 420$ MPa
- Baja tulangan $D < 10$ mm, digunakan baja tulangan polos (U24) dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa

3. Baja profil WF

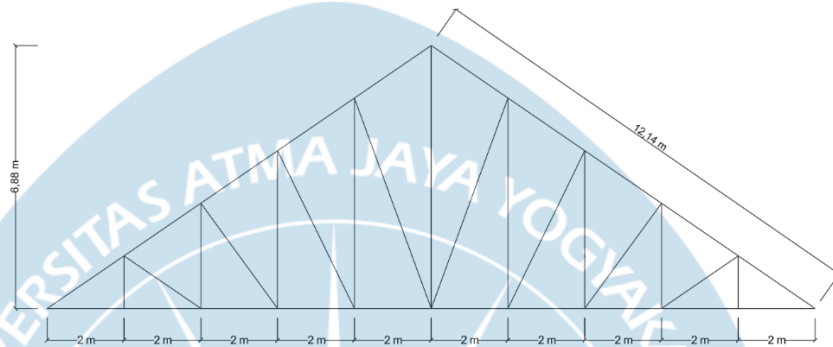
- Baja profil yang digunakan adalah profil C 150 x 65 x 20 tebal 3 mm dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa dan tegangan ultimit, $f_u = 420$ MPa
- Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ MPa

2.2 Perencanaan Gording, Sag – Rod, dan Kuda - Kuda

Pada struktur atap perencanaan gording, sag-rod, dan kuda – kuda adalah

langkah penting dalam memastikan kekuatan, kestabilan, dan efisiensi material pada konsturksi atap. Berikut adalah langkah – langkah perhitungan :

2.2.1 Perhitungan Gording Atap



Gambar 2.2 Potongan Atap Gording

Berikut rincian data dari atap Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah :

Jarak antar gording = 2 meter

(α) = 35°

Jarak antar kuda – kuda = 6 meter

Massa atap = $20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$

Massa plafond = $7 \text{ kg/m}^2 = 0,07 \text{ kN/m}^2$

Jenis gording = BJ - 37

Fy baja = 240 MPa

E = 200.000 kN/m^2

Berat Gording = 5,96 kg/m (Tabel Profil Baja C)

Beban gording :

$$\text{a. Berat sendiri} = \frac{\text{berat gording} \times \text{gravitasi}}{1000} = \frac{7,07 \times 9,81}{1000} = 0,069 \text{ kN/m}$$

$$\text{b. Berat atap} = \frac{\text{jarak antar gording}}{\cos \alpha} \times \text{berat atap} = \frac{2}{\cos 35^\circ} \times 0,2 = 0,488$$

$$\text{c. Berat plafond} = \text{jarak antar gording} \times \text{berat plafon} = 2 \times 0,07 = 0,14 \text{ kN/m}$$

$$\text{d. Berat qLL} = 1,0 \text{ kN}$$

Digunakan rencana profil C 150 x 65 x 20 tebal 3 mm, dengan data sebagai

berikut :

$$I_3 = I_x = 314 \text{ cm}^4 = 3.140.000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 51 \text{ cm}^4 = 510.000 \text{ mm}^4$$

$$W_x = Z_x = 41,8 \text{ cm}^3 = 41.800 \text{ mm}^3$$

$$W_y = Z_y = 11,6 \text{ cm}^3 = 11.600 \text{ mm}^3$$

$$\text{Jarak gording (miring)} = 2,428 \text{ m}$$

1. Rencana Momen Gording

$$\begin{aligned} M_{3,D} &= \frac{1}{8} \times qDL \times \cos \theta \times (L)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,697 \times \cos 35 \times (6)^2 \\ &= 2,569 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,L} &= \frac{1}{4} \times qLL \times \cos \theta \times L \\ &= \frac{1}{8} \times 1 \times \cos 35 \times 6 \\ &= 1,229 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,D} &= \frac{1}{8} \times qDL \times \sin \theta \times (L/3)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,697 \times \sin 35 \times (6/3)^2 \\ &= 0,200 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,L} &= \frac{1}{8} \times qLL \times \sin \theta \times (L/3) \\ &= \frac{1}{8} \times 1 \times \sin 35 \times (6/3) \\ &= 0,287 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{3,U} = 1,4 \times M_{3D} = 1,4 \times 2,569 = 3,597 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,2 \times M_{3D} + 1,6 \times M_{3L} = 1,2 \times 2,569 + 1,6 \times 1,229 \\ &= 5,049 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Dipilih } M_{3U} = 5,049 \text{ kNm}$$

$$M_{2U} = 1,4 \times M_{2D} = 1,4 \times 0,200 = 0,280 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{2U} &= 1,2 \times M_{2D} + 1,6 \times M_{2L} = 1,2 \times 0,200 + 1,6 \times 0,287 = \\ &0,699 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dipilih $M_{2U} = 0,699 \text{ kNm}$

2. Cek tegangan profil c

Dipilih profil kanal c dari tabel profil baja kanal (ringan)

Dipilih profil c 150 x 65 x 20 dengan tebal 3 mm dengan data – data:

$$F_b = \frac{M_{3,u}}{\phi W_3} + \frac{M_{2,u}}{\phi W_2} \leq F_y \text{ dengan nilai } \phi = 0,9 \text{ untuk lentur dan geser (Tabel 6.4-2 SNI 02-1729-2002)}$$

$$F_b = \frac{5,049}{0,9 \times 41,8 \times 10^{-6}} + \frac{0,699}{0,9 \times 11,6 \times 10^{-6}} \leq 240 \text{ MPa}$$

$$F_b = 201,165 \leq 240 \text{ MPa}$$

Pada lentur dan geser digunakan nilai $\phi = 0,9$, dari hasil yang didapatkan $201,165 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$, maka baja yang digunakan aman dan dapat digunakan.

3. Cek Defleksi Gording

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{qDL \cos \theta \cdot L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{qLL \cos \theta \cdot L^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,697 \times \cos 35^\circ \times 6000^4}{2000 \times 3.140.000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \cos 35^\circ \times 6000^3}{2000 \times 3.140.000} \\ &= 15,350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{qDL \sin \theta}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{qLL \sin \theta}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^3 \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,697 \times \cos 35^\circ}{200.000 \times 510.000} \times \left(\frac{6000}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \cos 35^\circ}{2000 \times 510.000} \times \left(\frac{6000}{3}\right)^3 \\ &= 0,370 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} \leq \frac{1}{240} \cdot L \\ &= \sqrt{(0,370)^2 + (15,350)^2} \leq \frac{1}{240} \cdot 6000 \\ &= 15,354 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Defleksi yang terjadi ialah 15,354 mm sedangkan batas defleksi yang diijinkan pada gording atap tersebut adalah 25 mm, maka dapat disimpulkan

jarak antar gording aman dan dapat digunakan.

2.2.2 Perhitungan Sag-Rod

1. Gaya sag-rod

Jumlah gording (n) di bawah nok = 5

$$\begin{aligned}
 F_{tD} &= n \cdot \left(\frac{L}{3} \cdot qDL \cdot \sin \theta \right) \\
 &= 5 \times \left(\frac{6}{3} \times 0,697 \times \sin 35^\circ \right) \\
 &= 3,998 \text{ kN} \\
 F_{tL} &= \frac{n}{2} \cdot qLL \cdot \sin \theta \\
 &= \frac{5}{2} \times 1 \times \sin 35^\circ \\
 &= 1,434 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Kombinasi pembebanan

$$\begin{aligned}
 F_{tu} &= 1,4 \cdot F_{tD} = 1,4 \times 3,998 = 5,597 \text{ kN} \\
 F_{tu} &= 1,2 \cdot F_{tD} + 1,6 \cdot F_{tL} \\
 &= 1,2 \times 3,998 + 1,6 \times 1,434 \\
 &= 7,092 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

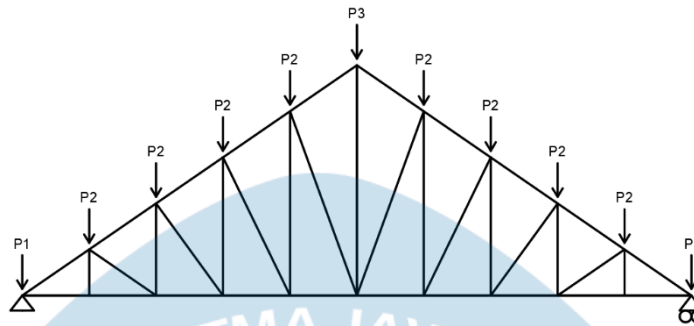
Dipilih $F_{tu} = 7,092 \text{ kN}$

3. Luas bidang sag-rod yang dibutuhkan

$$A_{sr} = \frac{F_t \cdot 10^3}{\phi \cdot f_y} = \frac{7,092 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 32,833 \text{ kN}$$

2.2.3 Perhitungan Beban Kuda - Kuda

Beban kuda – kuda yang diperhitungkan terdiri dari beban mati, beban angin, dan beban hidup yang akan diuraikan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Titik Beban

1. Pembebanan gording

a. Beban P1

Berat sendiri kuda-kuda	$= \frac{2}{2} \times 0,5$	$= 0,5 \text{ kN}$
Berat gording	$= 6 \times 0,07$	$= 0,424 \text{ kN}$
Berat atap	$= \left(\frac{\left(\frac{2}{2} + 1 \right)}{\cos 35^\circ} \right) \times 6 \times 0,2$	$= 2,930 \text{ kN}$
Berat plafon	$= \left(\frac{2}{2} + 1 \right) \times 6 \times 0,07$	$= 0,84 \text{ Kn}$
Beban P1		$= 4,694 \text{ kN}$

b. Beban P2

Berat sendiri kuda-kuda	$= 2 \times 0,5$	$= 1 \text{ kN}$
Berat gording	$= 6 \times 0,0707$	$= 0,424 \text{ kN}$
Berat atap	$= \frac{2}{\cos 35^\circ} \times 6 \times 0,2$	$= 2,4 \text{ kN}$
Berat plafon	$= 2 \times 6 \times 0,007$	$= 0,84$
Beban P2		$= 4,664 \text{ kN}$

c. Beban P3

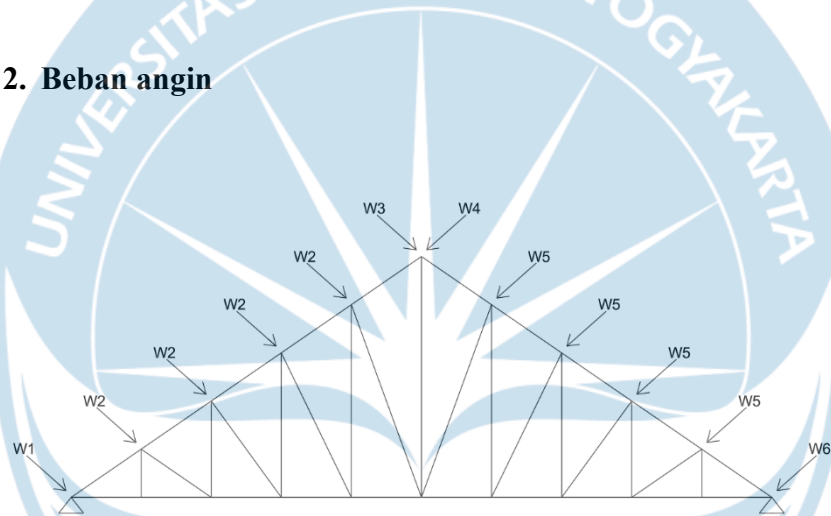
$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 2 \times 0,5 = 1 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = 2 \times 6 \times 0,0707 = 0,848 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{2}{\cos 35^\circ} \times 6 \times 0,2 = 2,4 \text{ kN}$$

$$\text{Berat plafon} = 2 \times 6 \times 0,07 = 0,84$$

$$\text{Beban P3} = 5,088 \text{ kN}$$

2. Beban angin

Gambar 2.4 Beban Angin dari Kiri dan Kanan Pada Joint

$$\begin{aligned} \text{a. Beban W1} &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \theta} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{\left(\frac{2}{2}+1\right)}{\cos 35^\circ} \times 0,3 \times 6 \times 0,25 \\ &= 1,099 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Beban W2} &= \frac{a}{\cos \theta} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{2}{\cos 35^\circ} \times 0,3 \times 6 \times 0,25 \\ &= 1,099 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{c. Beban W3} = \frac{1}{2} \times \frac{a}{\cos \theta} \times C_{ti} \times L \times Q_w$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{2}{\cos 35^\circ} \times 0,3 \times 6 \times 0,25$$

$$= 0,549 \text{ Kn}$$

$$\text{d. Beban W4} = \frac{1}{2} \times \frac{a}{\cos \theta} \times \text{Cis} \times L \times Q_w$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{2}{\cos 35^\circ} \times -0,6 \times 6 \times 0,25$$

$$= -1,099 \text{ kN}$$

$$\text{e. Beban W5} = \frac{a}{\cos \theta} \times \text{Cis} \times L \times Q_w$$

$$= \frac{2}{\cos 35^\circ} \times -0,6 \times 6 \times 0,25$$

$$= -2,197 \text{ kN}$$

$$\text{f. Beban W6} = \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \theta} \times \text{Cis} \times L \times Q_w$$

$$= \frac{\left(\frac{2}{2} + 1\right)}{\cos 35^\circ} \times -0,6 \times 6 \times 0,25$$

$$= -2,197 \text{ kN}$$

3. Beban hidup

$$P = 1,0 \text{ kN}$$

2.3 Interpretasi Data Tanah dan Penentuan Klasifikasi Situs

Interpretasi data tanah dan penentuan klasifikasi situs adalah proses analisis yang bertujuan untuk memahami karakteristik tanah pada suatu lokasi. Penentuan ini dibagi menjadi dua, yaitu penentuan kelas situs dan koefisien situs.

2.3.1 Menentukan Kelas Situs

Kegiatan penyelidikan lokasi proyek (*site investigation*) harus diidentifikasi dengan baik dalam proses perencanaan penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Kemudian hasil dari penyelidikan tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam penentuan jenis klasifikasi situs. Pada SNI 1726:2019 klasifikasi situs terdapat 6 bagian diantaranya, SA (batuan keras),

SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus).

Tabel 2.2 Klasifikasi Situs

Kedalaman (d_i)	N_i	d_i/N_i
0,5	-	-
2,5	6	0,417
3	10	0,3
4	7	0,572
9	12	0,75
1	10	0,1
5	14	0,357
5	15	0,333
10	18	0,556
40	Σ	3,385

Berdasarkan hasil uji N-SPT yang dilakukan di lapangan, didapatkan nilai $N = 11,817$ jika hasil dari $N < 15$ maka, site proyek termasuk dalam klasifikasi situs SE (tanah lunak).

$$\bar{N} = \frac{40}{3,385} = 11,817$$

Tabel 2.3 Kelas Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :			
1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

2.3.2 Menentukan Koefisien Situs (Fa dan Fv)

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan dipermukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (Fa) dan 1 detik (Fv). Faktor amplifikasi tersebut ditentukan berdasarkan kelas situs dan parameter percepatan tanah. Faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (Fa) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 0,2 detik (S_s). Sedangkan faktor amplifikasi pada periode 1 detik (Fv) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S_1). Penentuan koefisien situs (Fa dan Fv) didasarkan koefisien situs (Fa dan Fv) didasarkan pada Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4 Koefisien Situs Fa

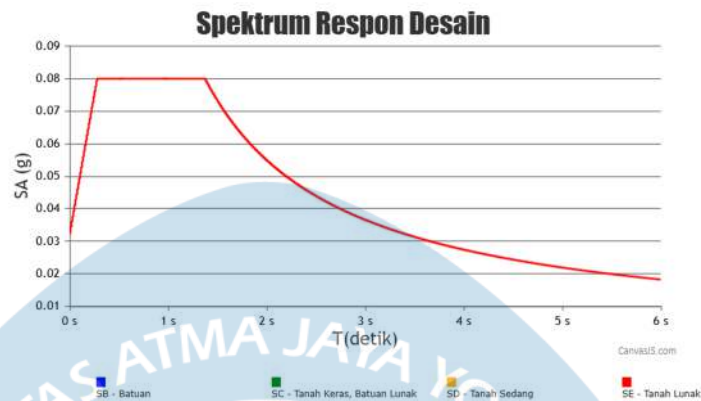
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9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

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 2.5 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,8	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726 : 2019)



Gambar 2.5 Grafik Respon Spektral

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas	YB(detik)	Ts(detik)	Sd1(g)	Sd1(g)
SE - Tanah Lunak	0.28	1.38	0.08	0.11

Rentang T(s): Value: 6

PGA MCEG: 0.0024 (g) bedrock

SS MCER: 0.0487 (g) bedrock

S1 MCER: 0.0391 (g) bedrock

TL: 12 Detik

Save

Lanjutan Gambar 2.5

Dari data peta respon spektral untuk periode pendek 0,2 detik diperoleh, $SS = 0,0487$ g dan parameter respon spektral MCER periode 1 detik, $S1 = 0,0391$ G. Parameter yang digunakan pada analisis respon spektra adalah sebagai berikut :

1. Koefisien situs untuk periode pendek 0,2 detik, $Fa = 2,40$
2. Koefisien situs untuk periode pendek 1 detik, $Fv = 1,911351$
3. Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek, $S_{MS} = Fa.Ss = 2,40 \times 0,0487 \text{ g} = 0,1169 \text{ g}$
4. Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik, $S_{M1} = Fv.S1 = 1,911351 \times 0,0391 \text{ g} = 0,0747 \text{ g}$
5. Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, $S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 0,1169 \text{ g} = 0,0779 \text{ g}$
6. Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik, $S_{D1} = 2/3 S_{M1}$

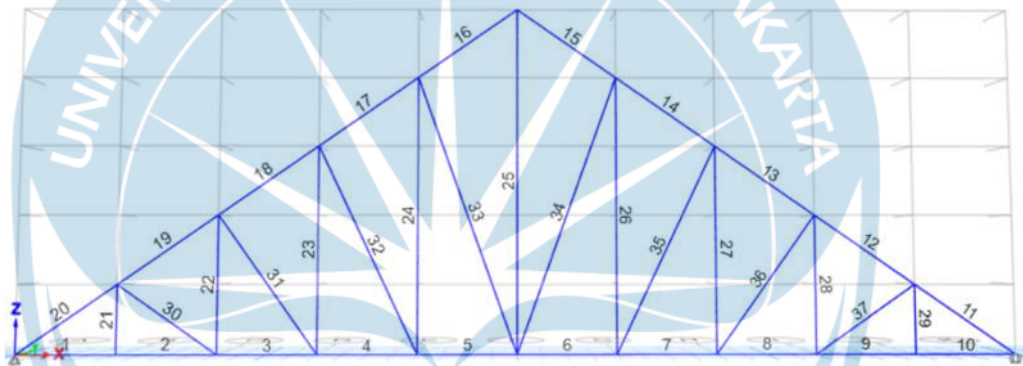
$$= 2/3 \times 0,1642 \text{ g} = 0,1095 \text{ g}$$

$$7. \text{ Parameter periode, } T_0 = 2/3 \cdot F_v \cdot S_1 = 2/3 \times 4,20 \times 0,0391 = 0,2810 \text{ detik}$$

$$8. \text{ Parameter periode, } T_s = S_{D1}/S_{DS} = 0,1095/0,00779 = 1,4050 \text{ detik}$$

2.4 Elemen Kuda – Kuda

Kuda – kuda adalah salah satu elemen penting dalam struktur atap bangunan yang berfungsi sebagai penopang beban atap dan mendistribusikan beban tersebut ke struktur di bawahnya.



Gambar 2.6 Permodelan Kuda – Kuda dengan ETABS

1. Gaya dalam kuda – kuda

Data gaya dalam kuda – kuda diperoleh berdasarkan permodelan kuda – kuda dengan ETABS, didapatkan hasil :

Gaya tekan maksimal : -62,09452 dan Gaya tarik maksimal : 61,59845 kN

Tabel 2.6 Gaya dalam Kuda - Kuda

NO BENTANG	PANJANG (mm)	BEBAN DL (kN)	BEBAN LL (kN)	BEBAN ANGIN KIRI (kN)	BEBAN ANGIN KANAN (kN)	1,4DL	1,2DL + 1,6LL	1,2DL + 1,3WKI + 0,5LL	1,2DL + 1,3WKa + 0,5LL	GAYA RENCANA
1	2000	34,0342	6,3772	13,3745	-8,2213	47,64788	51,0446	61,41649	33,34195	61,41649
2	2000	34,1954	6,4067	13,3474	-8,1704	47,87356	51,2852	61,58945	33,61631	61,58945
3	2000	31,104	5,7901	11,6212	-7,3185	43,5456	46,589	55,32741	30,7058	55,32741
4	2000	27,4216	5,0738	9,6931	-6,3491	38,39024	41,024	48,04385	27,18899	48,04385
5	2000	23,5608	4,3365	7,754	-5,3944	32,98512	35,2114	40,52141	23,42849	40,52141
6	2000	23,5608	4,3365	4,8759	-2,5163	32,98512	35,2114	36,77988	27,17002	36,77988
7	2000	27,4216	5,0738	3,9183	-0,5744	38,39024	41,024	40,53661	34,6961	41,024
8	2000	31,104	5,7901	2,9422	1,3605	43,5456	46,589	44,04471	41,9885	46,58896
9	2000	34,1954	6,4067	1,9568	3,2201	47,87356	51,2852	46,78167	48,42396	51,2852
10	2000	34,0342	6,3772	1,9352	3,2179	47,64788	51,0446	46,5454	48,21291	51,04456
11	2427,6	34,0342	-7,7644	-1,5978	-5,4329	47,64788	28,418	34,8817	29,89607	47,64788
12	2427,6	34,1954	-7,0277	-2,0531	-4,6809	47,87356	29,7902	34,8516	31,43546	47,87356
13	2427,6	31,104	-6,1546	-2,4808	-3,8393	43,5456	27,4774	31,02246	29,25641	43,5456
14	2427,6	27,4216	-5,2778	-2,919	-2,9856	38,39024	24,4614	26,47232	26,38574	38,39024
15	2427,6	23,5608	-4,3718	-3,2981	-2,1531	32,98512	21,2781	21,79953	23,28803	32,98512
16	2427,6	-23,8083	-4,3718	-2,1514	-3,2998	-33,3316	-35,565	-33,55268	-35,0456	-35,56484
17	2427,6	-28,627	-5,2778	-2,9821	-2,9225	-40,0778	-42,797	-40,86803	-40,79055	-42,79688
18	2427,6	-33,218	-6,1546	-3,8338	-2,4863	-46,5052	-49,709	-47,92284	-46,17109	-49,70896
19	2427,6	-37,7096	-7,0277	-4,6753	-2,0587	-52,7934	-56,496	-54,84326	-51,44168	-56,49584
20	2427,6	-41,3929	-7,7644	-5,3149	-1,7159	-57,9501	-62,095	-60,46305	-55,78435	-62,09452
21	1376	-0,4847	-0,1144	-0,17	0,07	-0,67858	-0,7647	-0,85984	-0,54784	-0,85984
22	2752	2,3926	0,4422	1,2369	-0,6278	3,34964	3,57864	4,70019	2,27608	4,70019
23	4128	5,0781	0,9498	2,5721	-1,2976	7,10934	7,6134	9,91235	4,88174	9,91235
24	5504	7,6748	1,427	3,8119	-1,9037	10,74472	11,493	14,87873	7,44845	14,87873
25	6880	20,5799	3,7976	2,5275	2,5386	28,81186	30,772	29,88043	29,89486	30,77204
26	5504	7,6748	1,427	-1,9165	3,8248	10,74472	11,493	7,43181	14,8955	14,8955
27	4128	5,0781	0,9498	-1,3104	2,585	7,10934	7,6134	4,8651	9,92912	9,92912
28	2752	2,3926	0,4422	-0,658	1,2671	3,34964	3,57864	2,23682	4,73945	4,73945
29	1376	-0,4847	-0,1144	-0,0182	-0,0819	-0,67858	-0,7647	-0,6625	-0,74531	-0,76468
30	2427,6	-3,6955	-0,7307	-2,0531	1,0113	-5,1737	-5,6037	-7,46898	-3,48526	-7,46898
31	3402	-6,1765	-1,1881	-3,2124	1,6177	-8,6471	-9,3128	-12,18197	-5,90284	-12,18197
32	4587	-8,6548	-1,6338	-4,3311	2,1469	-12,1167	-13	-16,83309	-8,41169	-16,83309
33	5856,1	-10,5627	-1,9604	-5,459	2,8397	-14,7878	-15,812	-20,75214	-9,96383	-20,75214
34	5856,1	-10,5627	-1,9604	2,8559	-5,4752	-14,7878	-15,812	-9,94277	-20,7732	-20,7732
35	4587	-8,6548	-1,6338	2,1583	-4,3425	-12,1167	-13	-8,39687	-16,84791	-16,84791
36	3402	-6,1765	-1,1881	1,6342	-3,2288	-8,6471	-9,3128	-5,88139	-12,20329	-12,20329
37	2427,6	-3,6955	-0,7307	1,1858	-2,2276	-5,1737	-5,6037	-3,25841	-7,69583	-7,69583

2. Rencana elemen kuda – kuda (eksterior)

a. Profil L 90 x 90 x 10 – 10 (eksterior)

$$A_g = 1700 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 1250000 \text{ mm}^4$$

$$i_x = i_y = 27,1 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 25,7 \text{ mm}$$

$$T_p = 10 \text{ mm}$$

$$d' = 90 - \frac{10}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$b' = 90 - \frac{10}{2} = 85 \text{ mm}$$

$$\text{Konstanta torsi (J)} = \frac{(d' + tb') \times t^3}{3} = \frac{(85 + 85) \times 10^3}{3} = 56666,667 \text{ mm}^4$$

$$\text{Modulus geser baja (G)} = 77200$$

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

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$K = 1$$

$$K_i = 0,5$$

b. Properti profil gabungan 2L 90 x 90 x 10 (eksterior)

$$\text{Tebal plat buhul} = 10 \text{ mm}$$

$$A_g = 2 \times 1700 = 3400 \text{ mm}^2$$

$$I_{xg} = 2 \times 1250000 = 2500000 \text{ mm}^4$$

$$I_{yg} = (I_y + A_g (c_y + \frac{tp}{2})^2) = (1250000 + 3400 (25,7 + \frac{10}{2})^2) = 4454466 \text{ mm}^4$$

$$r_{xg} = \sqrt{\frac{I_{xg}}{A_{profil}}} = \sqrt{\frac{2500000}{3400}} = 27,116 \text{ mm}$$

$$r_{yg} = \sqrt{\frac{I_{yg}}{A_{profil}}} = \sqrt{\frac{4454466}{3400}} = 36,196 \text{ mm}$$

$$X_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_0 = C_y - \frac{t}{2} = 25,7 - \frac{10}{2} = 20,7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \bar{r}_0 &= \frac{I_x + I_y}{A} + X_0^2 + Y_0^2 = \frac{2500000 + 4454466}{3400} + 0^2 + 20,7^2 \\ &= 2473,921 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$H = 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{\bar{r}_0} = 1 - \frac{0^2 + 20,7^2}{2473,921} = 0,83$$

c. Batang tekan

1) Perhitungan batang tekan

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{90}{10} = 9 \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990 \text{ mm}$$

$\lambda = 9 < \lambda_r = 12,990$ maka penampang non langsing.

2) Gaya dalam batang eksterior

Batang Tekan = -62,09452 kN ; L = 2427,6 mm

Batang Tarik = 61,58945 kN ; L = 2000 mm

3) Pemeriksaan tekuk lentur

$$\frac{KL}{r_{xg}} = \frac{1 \times 2427,6}{27,116} = 89,53 \text{ mm}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(89,53)^2} = 246,259 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966 \text{ mm}$$

Karena $\frac{KL}{r_{xg}} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka menggunakan, $F_{cr} = \left[0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$$F_{cr} = \left[0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0,658^{\frac{240}{246,259}}\right] \times 240 = 159,609 \text{ MPa}$$

4) Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi = 2427,6 mm

$$\frac{a}{r_{xg}} = \frac{2427,6}{27,116} = 89,53 > 40 \text{ maka gunakan } \left(\frac{KL}{r}\right)_m$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1 \times 2427,6}{27,116}\right)^2 + \left(\frac{0,5 \times 2427,6}{27,116}\right)^2} \\ &= 100,094 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 100,094 \text{ mm} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,96 \text{ mm}$ maka

menggunakan persamaan $F_{cr} = \left[0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(89,53)^2} = 246,259 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = \left[0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0,658^{\frac{240}{246,259}}\right] 240 = 159,609 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \times r_0^2} = \frac{77200 \times 56666,667}{3400 \times 2473,921} = 520,092 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right]$$

$$\left(\frac{159,609 + 520,092}{2 \times 0,83}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 159,609 \times 520,092 \times 0,83}{(159,609 + 520,092)^2}}\right] = \mathbf{149,389 \text{ MPa}}$$

(Digunakan nilai F_{cr} yang terkecil)

5) Kekuatan desain batang tekan

$$F_{cr} = 159,609 \text{ Mpa (tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 149,389 \text{ Mpa (tekuk lentur torsi)}$$

Diambil F_{cr} yang terkecil, sehingga $F_{cr} = 149,389 \text{ MPa}$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 0,9 \times 149,389 \times 3400 = 4571 =$$

$$457,130 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 457,130 \text{ kN} > \text{Gaya tekan maksimum} = 62,09452 \text{ kN (aman)}$$

d. Batang tarik

1) Pehitungan kelangsingan batang tarik

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{2000}{27,116} = 73,757 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

2) Pemeriksaan leleh tarik

$$\phi P_n = F_y A_g = 240 \times 3400 = 816000 = 816 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 816 \text{ kN} > P_u = 137,87354 \text{ kN (aman)}$$

2.5 Sambungan Kuda – Kuda

Pada perencanaan atap gording Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah, digunakan sambungan baut sebagai sambungan kuda – kuda hal ini dikarenakan sambungan baut memiliki kekuatan yang tinggi terutama jika diberi tegangan awal. Baut juga memiliki kelenturan, yang bermanfaat dalam situasi pembebanan dinamis. Berikut data dan sambungan baut diuraikan sebagai berikut:

Data material profil

Mutu baja	= BJ-37
F_y	= 240 MPa
F_u	= 370 MPa

Data material baut

Jenis baut	= A325
F_{ny}	= 457 MPa (ulir di luar bidang geser)
F_{nt}	= 630 Mpa

Data profil

Profil	= 2L 90 x 90 x 10
A_g	= 1700 mm ²

Data desain

Diameter baut	= M20
T_p	= 10 mm
S_{design}	= $3d = 3 \times 20 = 60 \text{ mm}$
$L_{ex \text{ design}}$	= $\frac{S}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ mm}$
$L_{cy \text{ design}}$	= $\frac{S}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ mm}$
P_u	= 137,874 kN (diambil dari gaya terbesar batang tarik eksterior)

1. Perhitungan kondisi leleh

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,9 F_y A_g \\
 &= 0,9 \times 240 \times 1700 \\
 &= 367200 \text{ N} \\
 &= 367,2 \text{ kN} > 137,874 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan kondisi fraktur

$$\begin{aligned}
 U &= 1 - \frac{\bar{x}}{80} = 1 - \frac{25,7}{80} = 0,7 \\
 A_{n1} &= 2A_g - d.t = (2 \times 1700) - (20 + 2) \times 10 = 3180 \text{ mm}^2 \\
 A_{n2} &= 0,85 \times 2A_g = 0,85 \times (2 \times 1700) = 2890 \text{ mm}^2 \\
 \text{Nilai yang digunakan adalah } A_n &= 3180 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= A_n \cdot U = 3180 \times 0,7 = 2226 \text{ mm}^2 \\
 \phi P_n &= 0,75 F_u A_e \\
 &= 0,75 \times 370 \times 2226 \\
 &= 617715 \text{ N} \\
 &= 617,715 \text{ kN} > 137,874 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan blok geser pada profil

$$\begin{aligned}
 L &= \text{jarak sisi terluar ke as baut terakhir} = 120 \text{ mm} \\
 H &= \text{jarak sisi terluar ke as pertama} = 40 \text{ mm} \\
 A_{gv} &= (L \times t_p) \times 2 = (120 \times 10) \times 2 = 2400 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= \{L - [1,5 \times (d_h + 2)]\} \times t_p \times 2 = \\
 &= \{120 - [1,5 \times (20 + 2)]\} \times 10 \times 2 \\
 &= 1740 \text{ mm}^2 \\
 A_{nt} &= \{H - [0,5 \times (d_h + 2)]\} \times t_p \times 2 \\
 &= \{40 - [0,5 \times (20 + 2)]\} \times 10 \times 2 \\
 &= 580 \text{ mm}^2 \\
 R_{n1} &= (0,6 \times F_u \times A_{nv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt}) \\
 &= (0,6 \times 370 \times 1740) + (1 \times 370 \times 580)
 \end{aligned}$$

$$= 600880 \text{ N}$$

$$= 600,880 \text{ kN}$$

$$R_{n2} = (0,6 \times F_u \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt})$$

$$= (0,6 \times 240 \times 2400) + (1 \times 370 \times 580)$$

$$= 560200 \text{ N}$$

$$= 560,200 \text{ kN}$$

Dipilih nilai yang terkecil, sehingga $R_n = 560,200 \text{ kN}$

$$\phi R_n = 0,75 \times R_n = 0,75 \times 560,200 = 420,15 \text{ kN} > P_u = 137,874 \text{ kN} \text{ (Aman)}$$

4. Kuat geser baut

$$R_n = F_{nv} A_b \text{ (jumlah bidang geser)}$$

$$= 457 \times (1/4 \times \pi \times 20^2) \times 2$$

$$= 287141,569 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 287141,569$$

$$= 215356,176 \text{ N}$$

$$= 215,356 \text{ kN}$$

5. Kuat tumpu baut

$$R_n = 2,4 d t F_u$$

$$= 2,4 \times 20 \times 10 \times 370$$

$$= 177600 \text{ N}$$

$$= 177,600 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 177,600$$

$$= 133,200 \text{ kN}$$

6. Kapasitas bearing baut

Kapasitas baut terluar:

$$L_c = L_{cy} - \frac{1}{2}(D + 2) = 30 - \frac{1}{2}(20 + 2) = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 1,2 \times L_c \times t \times F_u \\
 &= 0,75 \times 1,2 \times 19 \times 10 \times 370 \\
 &= 63270 \text{ N} \\
 &= 63,270 \text{ kN} < 133,200 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

Kapasitas di antara baut :

$$L_c = S - (D + 2) = 60 - (20 + 2) = 38 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 1,2 \times L_c \times t \times F_u \\
 &= 0,75 \times 1,2 \times 38 \times 10 \times 370 \\
 &= 126540 \text{ N} \\
 &= 126,540 \text{ kN} < 133,200 \text{ kN (aman)}
 \end{aligned}$$

$$R_n \text{ Total} = (2 \times 63,270 + 2 \times 126,540) = \mathbf{379,620 \text{ kN} > 137,874 \text{ kN (Aman)}}$$

7. Jumlah baut yang dibutuhkan

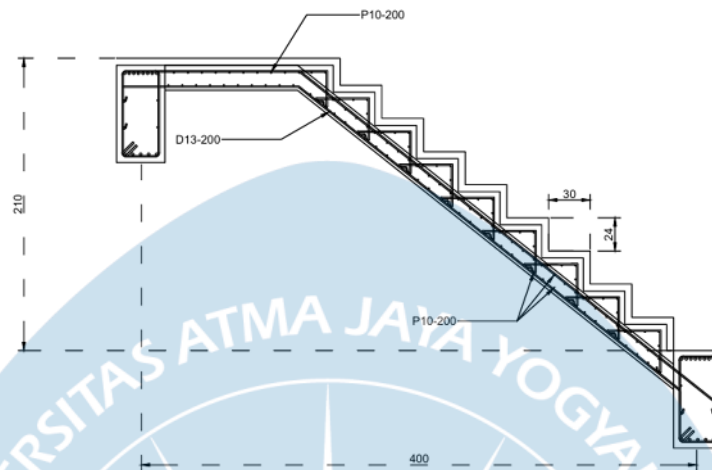
$$\text{Kontrol} = 133,200 \text{ kN}$$

$$P_u = 137,874$$

$$\text{Jumlah baut} = \frac{137,874}{133,200} = 1,035 \text{ baut dibulatkan menjadi 2 baut.}$$

2.6 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga pada struktur atas mengacu pada perencanaan tangga yang dirancang untuk menghubungkan lantai di atas dalam sebuah bangunan.



Gambar 2.8 Potongan Tangga

2.6.1 Data Perancangan Tangga

Data yang akan digunakan dalam perancangan tangga adalah sebagai berikut :

Selisih tinggi lantai = 4,2 m

Panjang tangga = 4,0 m

Lebar tangga = 4,0 m

Tinggi anak tangga (*Optrade*) = 17 cm, syarat : $16 \leq Optrade \leq 20$

Lebar anak tangga (*Antrade*) = 26 cm, syarat : $26 \leq Antrade \leq 30$

Jumlah anak tangga = $\frac{h}{optrade} - 1 = \frac{400}{17} - 1 = 22,53 = 23$ anak tangga

Lebar bordes = $b_o = \text{Panjang tangga} - (0,5 \times (\text{jumlah anak tangga} - 1) \times antrade)$
 $= 4 - (0,5 \times 22 \times 0,26)$
 $= 1,14 \text{ m}$

Kemiringan tangga (α) = $\arctan \frac{Optrade}{Antrade} = \arctan \frac{0,17}{0,26} = 33,18^\circ$

Tebal pelat tangga = tebal bordes = $t_b = 0,12 \text{ m} = 12 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi beban merata tangga} &= t' = \frac{0,5 \times Optrade \times Antrade}{\sqrt{Optrade^2 + Antrade^2}} \\
 &= \frac{0,5 \times 0,17 \times 0,26}{\sqrt{0,17^2 + 0,26^2}} \\
 &= 0,07114 \text{ m} \\
 &= 7,114 \text{ cm} \\
 h &= t_b + t' = 12 + 7,114 = 19,114 \text{ cm} \\
 h' &= \frac{t_b}{\cos \alpha} + \frac{Optrade}{2} = \frac{0,12}{\cos 33,18^\circ} + \frac{0,17}{2} \\
 &= 0,2284 \text{ m} = 22,84 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

2.6.2 Pembebanan Tangga dan Bordes

1. Hitungan beban per meter lebar tangga

Beban mati :

Beban pelat + anak tangga	$= 0,2284 \times 24$	$= 5,4816 \text{ kN/m}$
Tegel (2 cm)	$= 0,02 \times 0,24$	$= 0,0048 \text{ kN/m}$
Spesi (2 cm)	$= 0,02 \times 0,21$	$= 0,0042 \text{ kN/m}$
Railing		$= 0,89 \text{ kN/m}$
		$qDL = 6,3806 \text{ kN/m}$

Beban hidup : $qLL = 3 \text{ kN/m}$

2. Hitungan beban per meter lebar bordes

Beban mati :

Beban pelat + anak tangga	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88 \text{ kN/m}$
Tegel (2 cm)	$= 0,02 \times 0,24$	$= 0,0048 \text{ kN/m}$
Spesi (2 cm)	$= 0,02 \times 0,21$	$= 0,0042 \text{ kN/m}$
Railing		$= 0,89 \text{ kN/m}$
		$qDL = 3,779 \text{ kN/m}$

Beban hidup : $qLL = 3 \text{ kN/m}$

3. Reaksi tumpuan

Reaksi perletakan akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned} q_{ult \text{ tangga}} &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 \times 6,3806 + 1,63 \\ &= 12,457 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{ult \text{ bordes}} &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 \times 3,779 + 1,6 \times 3 \\ &= 9,335 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \times 4 - 12,457 \times 2,86 \times \left(\frac{2,86}{2} + 1,14\right) - 9,335 \times 1,14 \times \left(\frac{1,14}{2}\right) = 0$$

$$R_A = 24,407 \text{ kN}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$12,457 \times 2,86 \times \left(\frac{2,86}{2}\right) + 9,335 \times 1,14 \times \left(\frac{1,14}{2} + 2,86\right) - R_B \times 4 = 0$$

$$R_B = 21,862 \text{ kN}$$

$$R_C = 24,407 - (12,457 \times 2,86) = -11,220 \text{ kN}$$

$$24,407 - (2,86 - x) = 11,220 \times x$$

$$69,804 - 24,407x = 11,220x$$

$$x = 1,9593 \text{ m}$$

$$M_{\max} = 24,407 \times 1,9593 - 12,457 \times \left(\frac{1,9593^2}{2}\right) = 23,910 \text{ kNm}$$

2.6.3 Penulangan Tangga dan Bordes

Data yang akan digunakan dalam perancangan penulangan tangga dan bordes adalah sebagai berikut :

1. Penulangan Tangga

Lapangan dan tumpuan

$$M_u = M_{\max} \\ = 23,910 \text{ kNm}$$

a. Direncanakan tulangan pokok D13

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$b_w = 1,0 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

$$h = t_b + t' = 12 + 7,114 = 19,114 \text{ cm} = 191,14 \text{ mm}$$

$$d = h - p - (1/2 \times \emptyset) = 191,14 - 20 - (1/2 \times 13) = 164,64 \text{ mm} = 0,165 \text{ m}$$

$$R_n \text{ perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} \right) = \left(\frac{23,910 \times 10^{-3}}{0,9 \times 1,0 \times 0,166^2} \right) = 0,964 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_{\min} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right] \\ &= \left(\frac{0,85 \times 25}{420} \right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,964}{0,85 \times 25}} \right] \\ &= 0,00235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{420} \cdot \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0190 \end{aligned}$$

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

$$\mathbf{0,0018 < 0,00235 < 0,0190 \text{ (OK)}}$$

b. As perlu $= \rho_{\text{perlu}} \cdot b_w \cdot d = 0,00235 \times 1000 \times 164,64 = 378,62 \text{ mm}^2$

As min $= \rho_{\min} \cdot b_w \cdot h = 0,0018 \times 1000 \times 191,14 = 344,052 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan $= \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2}{390,429} = 201,163 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm}$

Digunakan tulangan utama D10 – 200

As pakai $= \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2}{200} = 392,699 \text{ mm}^2$

Cek apakah aman atau tidak:

As pakai $>$ As perlu

$$\mathbf{392,699 \text{ mm}^2 > 378,62 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}}$$

c. Tulangan Susut

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} \cdot b_w \cdot h = 0,002 \times 1000 \times 191,14 = 382,28 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan P10

$$\text{Jarak tulangan } S = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2}{382,28} = 205,451 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan P10 – 200

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2}{200} = 392,699 \text{ mm}^2$$

Cek apakah aman atau tidak:

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ min}$$

$$392,699 \text{ mm}^2 > 382,28 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

d. Kontrol Geser

$$V_u = SFA = 24,407 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 166,14 \right) \times 10^{-3} = 138,45 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi V_c$$

$$24,407 < 0,75 \times 138,45$$

$$24,407 \text{ kN} < 103,838 \text{ kN (OK, tidak perlu tulangan geser)}$$

2. Penulangan balok bordes

Digunakan balok bordes 25 x 40

Beban mati :

$$\text{Beban dinding} = 1,2 \times 4 = 4,8 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri} = 1,2 \times 0,2 \times 0,4 \times 24 \times 1 = 2,304 \text{ kN/m}$$

$$\text{Reaksi tangga per m lebar (R}_B) = 21,862 \text{ kN/m}$$

$$q_{Dl} = 28,966 \text{ kN/m}$$

Beban hidup :

$$q_{LL} = 1,6 \times 3 = 4,8 \text{ kN/m}$$

$$q_u = q_{DL} + q_{LL} = 28,966 + 4,8 = 33,766 \text{ kN/m}$$

a. Penulangan lentur tumpuan

$$L = 4 \text{ m}$$

$$b_w = 250 \text{ mm}$$

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

$$\emptyset_{\text{sengkan}} = 10 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan}} = 16 \text{ mm}$$

Direncanakan $\emptyset$ tulangan pokok = D16

$$d = 400 - 40 - 10 - (1/2 \times 16) = 342 \text{ mm} = 0,342 \text{ m}$$

b. Penulangan negatif

$$M_u = \frac{1}{12} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{12} \times 33,766 \times 4^2 = 45,021 \text{ kNm}$$

$$R_n \text{ perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} \right) = \left(\frac{45,021 \times 10^{-3}}{0,9 \times 0,2 \times 0,342^2} \right) = 1,711 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right] \\ &= \left(\frac{0,85 \times 25}{420} \right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,711}{0,85 \times 25}} \right] \\ &= 0,00425 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max1}} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{420} \cdot \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0190 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max2}} = 0,025$$

ρ_{max} yang digunakan adalah 0,0190

$$\rho_{\text{min1}} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{25}}{420} = 0,0030$$

$$\rho_{\text{min2}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

ρ_{min} yang digunakan adalah 0,0033

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

$$0,0033 < 0,00425 < 0,0190$$

Gunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,00425$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d = 0,00425 \times 250 \times 342 = 363,591 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{363,591}{0,25 \cdot \pi \cdot 16^2} = 1,808 = 3 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan utama 3D-16

$$\text{As pakai} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

Cek apakah aman atau tidak:

As pakai > As perlu

$$\mathbf{603,186 \text{ mm}^2 > 363,591 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}}$$

c. Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot bw} = \frac{603,186 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} = 47,687$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \cdot As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 392,699 \times 420 \times \left(345 - \frac{47,687}{2}\right) \\ &= 72541052 = 72,541 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$\mathbf{72,541 \text{ kNm} > 45,021 \text{ kNm (OK)}}$$

d. Penulangan positif

$$M_u = 0,5 \cdot \phi M_n = 0,5 \times 72,541 = 24,785 \text{ kNm}$$

$$R_n \text{ perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2}\right) = \left(\frac{24,785 \times 10^{-3}}{0,9 \times 0,2 \times 0,345^2}\right) = 0,942 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \left(\frac{0,85 \cdot f'c}{fy}\right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}}\right] \\ &= \left(\frac{0,85 \times 25}{420}\right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,942}{0,85 \times 25}}\right] \\ &= 0,00229 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max1}} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'c}{fy} \cdot \left[\frac{600}{600 + fy}\right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{420} \cdot \left[\frac{600}{600 + 420}\right] \\ &= 0,0190 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max2}} = 0,025$$

ρ_{max} yang digunakan adalah 0,0190

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{25}}{420} = 0,0030$$

$$\rho_{\min 2} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$\rho_{\min}$ yang digunakan adalah 0,0033

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

$$0,00229 < 0,0033 < 0,0190$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d = 0,0033 \times 200 \times 345 = 227,15 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{227}{0,25 \cdot \pi \cdot 16^2} = 3,592 = 5 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan utama 5D-16

$$A_s \text{ pakai} = 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 1005,310 \text{ mm}^2$$

Cek apakah aman atau tidak:

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

$$1005,310 \text{ mm}^2 > 227,15 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

e. Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b_w} = \frac{1005,310 \times 420}{0,85 \times 25 \times 250} = 79,479$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1005,310 \times 420 \times \left(345 - \frac{79,479}{2}\right) \\ &= 123922051,4 = 123,922 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$123,922 \text{ kNm} > 24,785 \text{ kNm (OK)}$$

f. Penulangan lentur lapangan (Penulangan positif lapangan)

$$M_u = \frac{1}{16} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{16} \times 33,766 \times 4^2 = 33,76 \text{ kNm}$$

$$R_n \text{ perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2}\right) = \left(\frac{33,76 \times 10^{-3}}{0,9 \times 0,2 \times 0,342^2}\right) = 1,283 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= \left(\frac{0,85 \times 25}{420} \right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,283}{0,85 \times 25}} \right]$$

$$= 0,00315$$

$$\rho_{\max 1} = 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \times \left[\frac{600}{600 + 420} \right]$$

$$= 0,0190$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

$\rho_{\max}$ yang digunakan adalah 0,0190

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{420} = 0,0030$$

$$\rho_{\min 2} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$\rho_{\min}$ yang digunakan adalah 0,0033

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

$$0,00315 < 0,0039 < 0,0190$$

Gunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0039$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d = 0,0039 \times 250 \times 342 = 333,45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{333,45}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 1,658 = 3 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan utama 3D-16

$$A_s \text{ pakai} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 402,124 \text{ mm}^2$$

Cek apakah aman atau tidak:

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

$$402,124 \text{ mm}^2 > 333,45 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

g. Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{1005,310 \times 420}{0,85 \times 25 \times 250} = 79,479$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \times 1005,310 \times 420 \times \left(342 - \frac{79,479}{2} \right)$$

$$= 49,569 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$49,569 \text{ kNm} > 33,76 \text{ kNm (OK)}$$

h. Penulangan negatif lapangan

$$M_u = 0,25 \times \phi M_n = 0,25 \times 49,569 = 12,392 \text{ kNm}$$

$$R_n \text{ perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} \right) = \left(\frac{12,392 \times 10^{-3}}{0,9 \times 0,25 \times 0,342^2} \right) = 0,471 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \left(\frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right] \\ &= \left(\frac{0,85 \times 25}{420} \right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,471}{0,85 \times 25}} \right] \\ &= 0,00113 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max1}} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'c}{f_y} \cdot \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \times \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0190 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max2}} = 0,025$$

ρ_{max} yang digunakan adalah 0,0190

$$\rho_{\text{min1}} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{420} = 0,0030$$

$$\rho_{\text{min2}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

ρ_{min} yang digunakan adalah 0,0033

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} = 0,00113 < 0,0039 < 0,0190$$

Gunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0039$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d = 0,0039 \times 250 \times 342 = 333,45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{333,45}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 1,658 = 5 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan utama 5D-16

$$A_s \text{ pakai} = 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 1005,310 \text{ mm}^2$$

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

$$1005,310 \text{ mm}^2 > 282,15 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

i. Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot bw} = \frac{1005,310 \times 420}{0,85 \times 25 \times 250} = 79,479$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \cdot As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1005,310 \times 420 \times \left(345 - \frac{79,479}{2}\right) \\ &= 123922051,4 = 123,922 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$123,922 \text{ kNm} > 49,569 \text{ kNm (OK)}$$

j. Penulangan geser

$$qu = qu = qDL + qLL = 28,966 + 4,8 = 33,766 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}vu &= 0,5 \cdot qDL \cdot L + 0,5 \cdot qLL \cdot L \\ &= 0,5 \times 28,966 \times 4 + 0,5 \times 4,8 \times 4 \\ &= 67,532 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d = \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 200 \times 345\right) \times 10^{-3} = 57,5 \text{ kN}$$

Cek :

$$Vu > \phi Vc$$

$$67,532 > 0,75 \times 57,5$$

$$67,532 \text{ kN} > 43,125 \text{ kN (OK)}$$

k. Gunakan tulangan geser

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} = \frac{67,532}{0,75} = 90,043 \text{ kN}$$

Digunakan tulangan P10

$$As_v = 2 \cdot As = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 150,080 \text{ mm}^2$$

$$Fy = 240 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{As_v \cdot fy \cdot d}{Vs} = \frac{100,531 \times 240 \times 345}{90,043 \times 10^{-3}} = 92,444 \text{ mm}$$

l. Menentukan spasi maksimum

Tumpuan

Jumlah kaki = 2

$$S_{\max 1} = \frac{d}{4} = \frac{342}{4} = 85,5 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 8D = 8 \times 13 = 128$$

$$S_{\max 3} = 300 \text{ mm}$$

Gunakan spasi 85

Sehingga digunakan tulangan geser 2P10 – 85

Lapangan

Jumlah kaki = 2

Di luar sendi plastis

$$\text{Spasi maksimum adalah} = \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan geser 2P8 – 150

2.7 Preliminary Design

Preliminary Design adalah suatu tahapan analisa untuk memperkirakan dimensi – dimensi struktur awal. Dimensi awal dimodelkan dalam program struktur dengan memasukkan pembebanan dan perletakan yang direncanakan. Jika setelah dilakukan analisis ternyata dimensi bagian pendukung bangunan tidak dapat menahan beban yang timbul, maka desain awal harus diubah.

Dalam preliminary design balok, dan kolom bangunan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain ketahanan terhadap gaya geser, hubungan antara balok dan kolom di bangunan serta kuat Tarik dan tekan bahan yang digunakan. Setelah dimensi awal ditentukan. tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan analisis lebih mendalam untuk memastikan perencanaan struktur bangunan dapat dikatakan cukup kuat dan aman.

Perencanaan perkiraan dimensi awal balok dan kolom menggunakan rumus dan hasil adalah sebagai berikut :

1. Rencana balok

Perancangan *preliminary* balok mengacu pada SNI 2847 Tabel 9.3.1.1, dengan

kondisi perlekatan yaitu perlekatan sederhana dengan minimum $h : L/16$.

1. Balok induk memanjang B1

$$\text{Bentang (l)} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = L/16$$

$$= 6000/16$$

$$= 375 = 400 \text{ mm (dibulatkan)}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \text{asumsi lebar} > 0.3 \times h \text{ (minimal)}$$

$$= 200 \text{ mm} > 0.3 \times 400 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm} > 120 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Dimensi balok induk memanjang B1 } 200 \times 400 \text{ mm}$$

2. Balok induk melintang B2

$$\text{Bentang (l)} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = L/16$$

$$= 8000/16$$

$$= 500 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \text{asumsi lebar} > 0.3 \times h \text{ (minimal)}$$

$$= 250 \text{ mm} > 0.3 \times 500 \text{ mm}$$

$$= 250 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi balok induk melintang B2 } 250 \times 500 \text{ mm}$$

3. Balok induk melintang B3

$$\text{Bentang (l)} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = L/16$$

$$= 4000/16$$

$$= 250 = 300 \text{ mm (dibulatkan)}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \text{asumsi lebar} > 0.3 \times h \text{ (minimal)}$$

$$= 200 \text{ mm} > 0.3 \times 300 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm} > 90 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Dimensi balok induk melintang B3 } 200 \times 300 \text{ mm}$$

4. Balok anak memanjang BA1

Bentang (l) = 4000 mm
 Tinggi balok (h) = $L/16$
 = $4000/16$
 = 250 = 300 mm (dibulatkan)
 Lebar balok (b) = asumsi lebar $> 0.3 \times h$ (minimal)
 = $150 \text{ mm} > 0.3 \times 300 \text{ mm}$
 = $150 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$ (OK)
 Dimensi balok induk memanjang BA1 150 x 300 mm

5. Balok bordes

Bentang (l) = 4000 mm
 Tinggi balok (h) = $L/16$
 = $4000/16$
 = 250 mm
 Lebar balok (b) = asumsi lebar $> 0.3 \times h$ (minimal)
 = $150 \text{ mm} > 0.3 \times 300 \text{ mm}$ (minimal)
 = $150 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$ (OK)
 Dimensi balok bordes 150 x 300 mm

Tabel 2.7 Rekap Balok

JENIS	DIMENSI (mm)
B1	200 x 400
B2	250 x 500
B3	200 x 300
BA1	150 x 300
BB	150 x 300

2. Rencana kolom

a. Kolom 1

Menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi kolom} &= \text{Tinggi balok induk B1} + 0.2 \times 0.5 \\
 &= 0.4 + 0.2 \times 0.5 \\
 &= 0.5 \\
 &= (500 \times 500) \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Kolom 2

Menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi kolom} &= \text{Tinggi balok induk B2} \\
 &= 0.5 + 0.2 \times 0.5 \\
 &= 0.6 \\
 &= (600 \times 600) \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Kolom 3

Menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi kolom} &= \text{Tinggi balok induk B3} \\
 &= 0.3 + 0.2 \times 0.5 \\
 &= 0.4 \\
 &= (400 \times 400) \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel 2.8 Rekap Kolom

JENIS	DIMENSI (mm)
K1	500 x 500
K2	600 x 600
K3	400 X 400

2.8 Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan elemen penting dalam konstruksi bangunan, yang dirancang untuk mendistribusikan beban secara merata ke balok atau kolom. Berikut data serta perhitungan dari pelat lantai pada Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah :

2.8.1 Data Pelat Lantai

Berikut data dari pelat lantai pada Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan

Tengah :

Tabel 2.9 Data Pelat Lantai

Tipe Pelat	Ly	Lx	Ly/Lx	Jenis Pelat
P1	2000	2000	1	Dua Arah
P2	6000	2000	3	Satu Arah
P3	6000	1750	3,4286	Satu Arah
P4	6000	1500	4	Satu Arah
P5	2500	1000	2,5	Satu Arah

Tebal pelat minimum ditentukan berdasarkan SNI 2847 : 2019, berdasarkan pada tabel data pelat lantai di atas ketebalan minimum pelat solid satu arah non prategang adalah 12 cm.

Tabel 2.10 Ukuran Tebal Pelat

No.	Jenis Plat	Ukuran Tebal
1.	Plat Lantai	120 mm
2.	Plat Tangga	120 mm
3.	Plat Bordes	120 mm

2.8.2 Beban Pada Pelat Lantai

Berdasarkan SNI 1727:2013 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, beban pelat lantai diuraikan sebagai berikut:

1. Beban mati

Tabel 2.11 Beban Mati

No.	Jenis Beban Mati	Berat Satuan	Tebal	Q (kN/m ²)
1.	Berat pasir (kN/m ²)	17	0,04	0,68
2.	Berat penutup lantai keramik (kN/m ²)	24	0,01	0,24

3.	Berat Spesi penutup lantai (kN/m ²)	0,21	0,02	0,42
4.	Berat plafon dan rangka (kN/m ²)	0,11	-	0,11
5.	Berat Instalasi ME (kN/m ²)	0,20	-	0,20

$$QDL = 1,65 \text{ kN/m}^2$$

$$SIDL = 1,65 \text{ kN/m}^2$$

2. Beban hidup

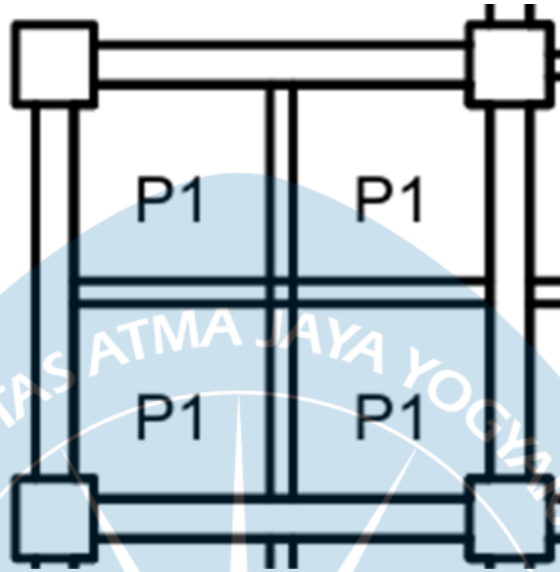
$$QLL = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

3. Beban rencana terfaktor

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 QDL + 1,6 QLL \\ &= 1,2 \times 1,65 + 1,6 \times 2,5 \\ &= 5,98 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2.8.3 Perhitungan Pelat P1

Pada perhitungan pelat lantai Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah, diambil contoh salah satu pelat yaitu pelat p1. Perhitungan diuraikan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Pelat P1

1. Analisis Pembebanan

$$QDL = 1,65 \text{ kN/m}^2$$

$$QLL = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ QDL} + 1,6 \text{ QLL} \\ &= 1,2 \times 1,65 + 1,6 \times 2,5 \\ &= 5,98 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$DL = 24 \text{ kN} \times 0,12 \text{ m} = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$SIDL = 1,65 \text{ kN/m}^2$$

$$LL = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

2. Perhitungan momen kapasitas lentur

Arah Sumbu M11

$$\text{Momen Negatif Arah Pendek} = Ma^- = \frac{Q_u \cdot l_a^2}{22} = \frac{5,98 \times 2^2}{22} = 1,087 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Momen Positif Arah Pendek} = Ma^+ = \frac{Q_u \cdot l_a^2}{42} = \frac{5,98 \times 2^2}{42} = 0,570 \text{ kN/m}^2$$

Arah Sumbu M22

$$\text{Momen Negatif Arah Panjang} = Ma^- = \frac{Qu.la^2}{22} = \frac{5,98 \times 2^2}{22} = 1,087 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Momen Positif Arah Panjang} = Ma^+ = \frac{Qu.la^2}{42} = \frac{5,98 \times 2^2}{42} = 0,570 \text{ kN/m}^2$$

3. Perhitungan geser

$$Vu = \frac{1,15.Qu.Ln}{2} = \frac{1,15 \times 5,98 \times 2}{2} = 6,877 \text{ kN}$$

4. Perhitungan momen lendutan

Akibat DL

$$\text{Momen Negatif} = Ma^- = \frac{Qu.la^2}{22} = \frac{2,88 \times 2^2}{22} = 0,524 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Momen Positif} = Ma^+ = \frac{Qu.la^2}{42} = \frac{2,88 \times 2^2}{42} = 0,274 \text{ kN/m}^2$$

Akibat SIDL

$$\text{Momen Negatif} = Ma^- = \frac{Qu.la^2}{22} = \frac{1,65 \times 2^2}{22} = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Momen Positif} = Ma^+ = \frac{Qu.la^2}{42} = \frac{1,65 \times 2^2}{42} = 0,157 \text{ kN/m}^2$$

Akibat LL

$$\text{Momen Negatif} = Ma^- = \frac{Qu.la^2}{22} = \frac{2,5 \times 2^2}{22} = 0,455 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Momen Positif} = Ma^+ = \frac{Qu.la^2}{42} = \frac{2,5 \times 2^2}{42} = 0,238 \text{ kN/m}^2$$

5. Properti material dan penampang

Panjang Pelat Arah Sumbu 1 (L1) = 2000 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2 (L2) = 2000 mm

Tebal Pelat (t) = 120 mm

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Selimut Bersih (Cc) = 20 mm (SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Fektif Penampang} &= h - Cc - ds - \frac{db}{2} \\
 &= 120 - 20 - 10 - \frac{10}{2} \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kuat Tekan Beton (fc')} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat Leleh Tulangan (fy)} = 420 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Elastisitas Beton (Ec)} &= 4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{25} = \\
 &23500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Material Beton } (\beta_1) = 0,85 \text{ (SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Modifikasi } (\lambda) &= 1 \text{ (Asumsi menggunakan beton} \\
 &\text{normal) (SNI 2847:2019 tabel} \\
 &25.4.24)3
 \end{aligned}$$

6. Penulangan lentur tulangan pokok

a. Momen positif M11

$$1) \text{ Spasi Tulangan (s)} = 200 \text{ mm}$$

Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2)

$$(S_{\max,1}) = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$(S_{\max,2}) = 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

$$s \leq S_{\max}$$

$$200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm (OK)}$$

$$2) \text{ Jumlah Tulangan Positif Tumpuan (n)}$$

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Jarak Bersih antar Tulangan (s_l) = $s - d_b = 200 - 10 = 190$ mm

Cek Spasi Maksimum

$$s_l \geq d_b$$

190 mm $\geq$ 10 mm (OK)

$$3) \text{ As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times t = 1000 \times 120 = 120000 \text{ mm}^2$$

A_{smin} ($f_y < 420$ Mpa) (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)

$$= 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 120000$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

A_{smin} ($f_y \geq 420$ Mpa) (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)

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

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} 120000$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$= 0,0014 A_g$$

$$= 0,0014 \times 120000$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 216 \text{ mm}^2$$

Cek A_{smin}

$$A_s \text{ Pasang} \geq A_{smin}$$

392,699 mm² $\geq$ 216 mm² (OK)

4) Tinggi Blok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)}$$

$$= \frac{392,699 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 1000)}$$

$$= 7,762 \text{ mm}$$

Kapasitas Lentur (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{7,762}{2}\right) \\ &= 13379247,08 \text{ kNmm} \\ &= 13,379 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lokasi Garis Netral (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{7,762}{0,85} \\ &= 9,131 \text{ mm} \end{aligned}$$

Regangan Tulangan Tarik (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-9,131)}{9,131} \times 0,003 \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 pasal 21.2.2)

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

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Lentur Tereduksi } \phi M_n &= 0,9 \times 13,379 \\ &= 12,041 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen Ultimit (Mu)} = 0,570 \text{ kNm}$$

Cek Kapasitas

$$\phi M_n > Mu$$

$$12,041 \text{ kNm} > 0,570 \text{ kNm (OK)}$$

b. Momen negatif M11

- 1) Spasi Tulangan (s) = 200 mm

Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2)

$$(s_{\max,1}) = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$(s_{\max,2}) = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

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

$$200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm (OK)}$$

2) Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

$$\text{Diameter Tulangan } (d_b) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih antar Tulangan } (s_l) = s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

$$s_l \geq d_b$$

$$190 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm (OK)}$$

$$3) \text{ As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times t = 1000 \times 120 = 120000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y < 420 \text{ Mpa}) (\text{SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1})$$

$$= 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 120000$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y \geq 420 \text{ Mpa}) (\text{SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1})$$

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

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} 120000$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$= 0,0014 A_g$$

$$= 0,0014 \times 120000$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 216 \text{ mm}^2$$

Cek A_{smin}

$$A_s \text{ Pasang} \geq A_{smin}$$

$$392,699 \text{ mm}^2 \geq 216 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

4) Tinggi Blok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)} \\ &= \frac{392,699 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 1000)} \\ &= 7,762 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas Lentur (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{7,762}{2}\right) \\ &= 13379247,08 \text{ kNmm} \\ &= 13,379 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lokasi Garis Netral (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{7,762}{0,85} \\ &= 9,131 \text{ mm} \end{aligned}$$

Regangan Tulangan Tarik (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-9,131)}{9,131} \times 0,003 \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 pasal 21.2.2)

$$\phi = 0,65 \leq 0,65 + \frac{(\epsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Lentur Tereduksi } \phi M_n &= 0,9 \times 13,379 \\ &= 12,041 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\text{Momen Ultimit (Mu)} = 1,087 \text{ kNm}$$

Cek Kapasitas

$$\phi M_n > M_u$$

$$12,041 \text{ kNm} > 1,087 \text{ kNm (OK)}$$

c. Momen positif M22

$$1) \text{ Spasi Tulangan (s)} = 200 \text{ mm}$$

Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2)

$$(s_{\max,1}) = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$(s_{\max,2}) = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

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

$$200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$2) \text{ Jumlah Tulangan Positif Tumpuan (n)}$$

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

$$\text{Diameter Tulangan (d}_b\text{)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih antar Tulangan (s}_l\text{)} = s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

$$s_l \geq d_b$$

$$190 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$3) \text{ As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times t = 1000 \times 120 = 120000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y < 420 \text{ Mpa}) (\text{SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1})$$

$$= 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 120000$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

A_{smin} ($f_y \geq 420 \text{ Mpa}$) (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)

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

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} 120000$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$= 0,0014 A_g$$

$$= 0,0014 \times 120000$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 216 \text{ mm}^2$$

Cek A_{smin}

$$A_s \text{ Pasang} \geq A_{smin}$$

$$392,699 \text{ mm}^2 \geq 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

4) Tinggi Blok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)}$$

$$= \frac{392,699 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 1000)}$$

$$= 7,762 \text{ mm}$$

Kapasitas Lentur (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{7,762}{2}\right)$$

$$= 13379247,08 \text{ kNmm}$$

$$= 13,379 \text{ kNm}$$

Lokasi Garis Netral (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{7,762}{0,85}$$

$$= 9,131 \text{ mm}$$

Regangan Tulangan Tarik (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-9,131)}{9,131} \times 0,003 \\ &= 0,025\end{aligned}$$

Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 pasal 21.2.2)

$$\phi = 0,65 \leq 0,65 + \frac{(\epsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Lentur Tereuksi } \phi M_n &= 0,9 \times 13,379 \\ &= 12,041 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\text{Momen Ultimit (Mu)} = 0,570 \text{ kNm}$$

Cek Kapasitas

$$\phi M_n > Mu$$

$$12,041 \text{ kNm} > 0,570 \text{ kNm (OK)}$$

d. Momen negative M22

$$1) \text{ Spasi Tulangan (s)} = 200 \text{ mm}$$

Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2)

$$(s_{\max,1}) = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$(s_{\max,2}) = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

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

$$200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$2) \text{ Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)}$$

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

$$\text{Diameter Tulangan (d}_b\text{)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih antar Tulangan (s}_l\text{)} = s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

$$s_l \geq d_b$$

$$190 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm (OK)}$$

$$3) \text{ As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times t = 1000 \times 120 = 120000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y < 420 \text{ Mpa}) \text{ (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)}$$

$$= 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 120000$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y \geq 420 \text{ Mpa}) \text{ (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)}$$

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

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} 120000$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$= 0,0014 A_g$$

$$= 0,0014 \times 120000$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 216 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek } A_{s_{\min}}$$

$$\text{As Pasang} \geq A_{s_{\min}}$$

$$392,699 \text{ mm}^2 \geq 216 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$4) \text{ Tinggi Blok Beton (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{(0,85 \times f_c' \times b)}$$

$$= \frac{392,699 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 1000)}$$

$$= 7,762 \text{ mm}$$

$$\text{Kapasitas Lentur (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$M_n = As \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$\begin{aligned}
 &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{7,762}{2}\right) \\
 &= 13379247,08 \text{ kNmm} \\
 &= 13,379 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Lokasi Garis Netral (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{7,762}{0,85} \\
 &= 9,131 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Regangan Tulangan Tarik (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(85-9,131)}{9,131} \times 0,003 \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 pasal 21.2.2)

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{(\varepsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Lentur Tereeduksi} \quad \phi M_n &= 0,9 \times 13,379 \\
 &= 12,041 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen Ultimit} \quad M_u = 1,087 \text{ kNm}$$

Cek Kapasitas

$$\phi M_n > M_u$$

$$12,041 \text{ kNm} > 1,087 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

7. Tulangan minimum

$$1) \text{ Spasi Tulangan (s)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat Leleh Tulangan (f}_y\text{)} = 420 \text{ MPa}$$

Spasi Maksimum (SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2)

$$(s_{\max,1}) = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$(s_{\max,2}) = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

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

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

2) Jumlah Tulangan Minimum Tumpuan (n)

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67 = 7$$

$$\text{Diameter Tulangan } (d_b) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih antar Tulangan } (s_l) = s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

Cek Spasi Maksimum

$$s_l \geq d_b$$

$$140 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$3) A_s \text{ Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 7 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 523,559 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times t = 1000 \times 120 = 120000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y < 420 \text{ Mpa}) \text{ (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)}$$

$$= 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 120000$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} (f_y \geq 420 \text{ Mpa}) \text{ (SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1, 8.6.1.1)}$$

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

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 120000$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$= 0,0014 A_g$$

$$= 0,0014 \times 120000$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 216 \text{ mm}^2$$

Cek A_{smin}

$A_s \text{ Pasang} \geq A_{smin}$

$523,559 \text{ mm}^2 \geq 216 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

8. Pengecekan kapasitas geser

Kapasitas Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'c'} b d \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times \frac{85}{1000} \\ &= 72,250 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$

Batas Ambang Geser Pelat (SNI 2847:2019 pasal 7.6.3.1)

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 72,250 = 27,094 \text{ kN}$$

Perlu Tulangan Geser Pelat

$$V_u > 0,5 \phi V_c$$

$$6,877 \text{ kN} > 27,094 \text{ kN (Tidak perlu)}$$

9. Lendutan pelat

Kapasitas Retak Lentur :

Momen Inersia Pelat :

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 \\ &= 144000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Tegangan Retak :

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \sqrt{f'c'} \\ &= 0,62 \sqrt{25} \\ &= 3,10 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Garis Netral :

$$y = \frac{t}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm}$$

Kapasitas Retak Lentur :

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{y} \\ &= \frac{3,10 \times 144000000}{60 \times 10^6} \\ &= 7,440 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen Inersia Retak

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 0,25 I_g \\ &= 0,25 \times 144000000 \\ &= 36000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

10. Lendutan arah sumbu 1

$$1) \text{ Ma Lapangan (+)} \quad \sum M_{11} \text{ Positif} = 6,169 \text{ kNm}$$

$$\text{Ma Tumpuan (-)} \quad \sum M_{11} \text{ Negatif} = -11,303 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{cr}}{Ma \text{ Lapangan}} = \frac{7,440}{6,169} = 1,206$$

$$\frac{M_{cr}}{Ma \text{ Tumpuan}} = \frac{7,440}{1,087} = 0,658$$

Ie Lapangan

$$\left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3\right] \times I_{cr} < I_g = 144000000 \text{ mm}^4$$

Ie Tumpuan

$$\left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3\right] \times I_{cr} < I_g = 66800756 \text{ mm}^4$$

Ie Rata-Rata

$$0,5 \times Ie \text{ Lapangan} + 0,5 \times Ie \text{ Tumpuan} = 105400378 \text{ mm}^4$$

Lendutan Seketika Akibat DL

$$\delta i, DL = \frac{\frac{5}{48L^2}}{(Ec \times I_g) \times [M_{lap} + 0,2 M_{tum}]}$$

$$= 0,659 \text{ mm}$$

Lendutan Seketika Akibat SIDL

$$\delta i, SIDL = \frac{\frac{5}{48L^2}}{(Ec \times I_g) \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}]}$$

$$= 0,181 \text{ mm}$$

Lendutan Seketika Akibat LL

$$\delta i, LL = \frac{\frac{5}{48L^2}}{(Ec \times I_g) \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}]}$$

$$= 0,578 \text{ mm}$$

Syarat Lendutan Seketika (SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\frac{L}{360} = \frac{2000}{360} = 5,556 \text{ mm}$$

Cek Lendutan Seketika

$$\delta i, LL \leq \frac{L}{360}$$

$$0,578 \text{ mm} \leq 5,556 \text{ mm (OK)}$$

2) Faktor Jangka Panjang

$$\lambda = \frac{2}{(1 + 50 \times \rho')}$$

$$= \frac{2}{(1 + 50 \times \frac{523,599}{1000 \times 85})}$$

$$= 1,529 \text{ mm}$$

Lendutan Jangka Panjang (SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\Delta_{LT} = (\delta i, DL + SIDL) \times \lambda + \delta i, LL = (0,075 + 0,042) \times 1,529 + 0,041 = 1,862 \text{ mm}$$

Syarat Lendutan Jangka Panjang

$$\frac{L}{240} = \frac{2000}{240} = 8,333 \text{ mm}$$

Cek Lendutan Jangka Panjang

$$\Delta_{LT} \leq \frac{L}{240}$$

$$1,862 \text{ mm} \leq 8,333 \text{ mm (OK)}$$

11. Lendutan arah sumbu 2

1) Ma Lapangan (+) $\sum M_{11} \text{ Positif} = 4,489 \text{ kNm}$

Ma Tumpuan (-) $\sum M_{11} \text{ Negatif} = -6,662 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{cr}}{Ma \text{ Lapangan}} = \frac{7,440}{4,489} = 1,657$$

$$\frac{M_{cr}}{Ma \text{ Tumpuan}} = \frac{7,440}{6,662} = 1,117$$

Ie Lapangan

$$\left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3\right] \times I_{cr} < I_g = 144000000 \text{ mm}^4$$

Ie Tumpuan

$$\left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3\right] \times I_{cr} < I_g = 144000000 \text{ mm}^4$$

Ie Rata-Rata

$$0,5 \times Ie \text{ Lapangan} + 0,5 \times Ie \text{ Tumpuan} = 144000000 \text{ mm}^4$$

Lendutan Seketika Akibat DL

$$\delta i, DL = \frac{\frac{5}{48L^2}}{(Ec \times I_g) \times [M_{lap} + 0,2 M_{tum}]} = 0,312 \text{ mm}$$

Lendutan Seketika Akibat SIDL

$$\delta i, SIDL = \frac{\frac{5}{48L^2}}{(Ec \times I_g) \times [M_{lap} + 0,2 M_{tum}]} = 0,133 \text{ mm}$$

Lendutan Seketika Akibat LL

$$\delta i, LL = \frac{\frac{5}{48L^2}}{(Ec \times I_g) \times [M_{lap} + 0,2 M_{tum}]} = 0,272 \text{ mm}$$

Syarat Lendutan Seketika (SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\frac{L}{360} = \frac{2000}{360} = 5,556 \text{ mm}$$

Cek Lendutan Seketika

$$\delta_{i,LL} \leq \frac{L}{360}$$

$$\mathbf{0,272 \text{ mm} \leq 5,556 \text{ mm (OK)}}$$

2) Faktor Jangka Panjang

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{2}{(1+50 \times \rho')}\end{aligned}$$

$$= \frac{2}{(1+50 \times \frac{523,599}{1000 \times 85})}$$

$$= 1,529 \text{ mm}$$

Lendutan Jangka Panjang (SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\Delta_{LT} = (\delta_{i,DL} + \text{SIDL}) \times \lambda + \delta_{i,LL} = (0,075 + 0,042) \times 1,529 + 0,041 =$$

$$0,952 \text{ mm}$$

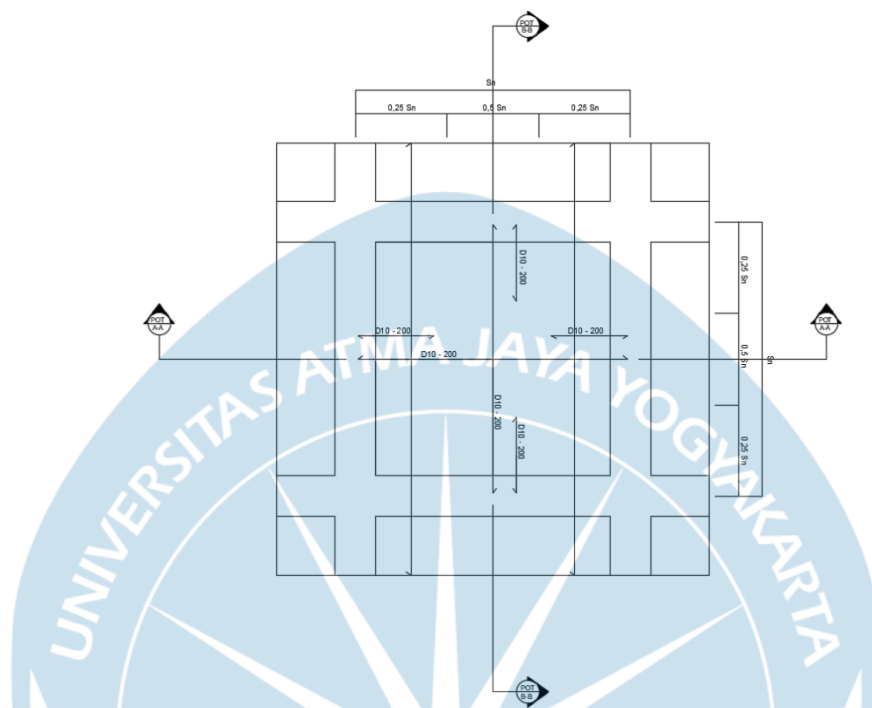
Syarat Lendutan Jangka Panjang

$$\frac{L}{240} = \frac{2000}{240} = 8,333 \text{ mm}$$

Cek Lendutan Jangka Panjang

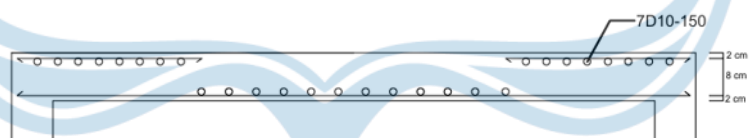
$$\Delta_{LT} \leq \frac{L}{240}$$

$$\mathbf{0,952 \text{ mm} \leq 8,333 \text{ mm (OK)}}$$

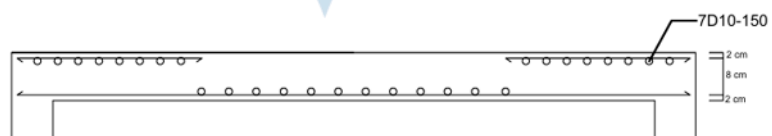


Gambar 2.10 Potongan Pelat P1

POTONGAN A - A



POTONGAN B - B



Gambar 2.11 Tampak Samping Potongan Pelat

2.8.4 Rekap Pelat Lantai

Berikut adalah rekap pelat lantai Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah yang telah dihitung menggunakan excel :

Tabel 2.12 Rekap Pelat Lantai

Jenis Plat	P1	P2	P3	P4	P5
M11 (+)	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200
M11 (-)	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200
M22 (+)	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200
M22 (-)	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200	5D10-200
Tulangan minimum	7D10-150	7D10-150	7D10-150	7D10-150	7D10-150

2.9 Perhitungan Beban Rencana

Beban rencana adalah komponen utama yang harus dipertimbangkan untuk memastikan keamanan, stabilitas, dan ketahanan bangunan. Beban rencana ini terdiri dari dua beban utama yaitu beban gravitasi dan beban gempa.

2.9.1 Beban Gravitasi

Berdasarkan SNI 8900:2020 beban gravitasi merupakan masa jenis minimum material yang untuk elevasi beban hidup dan beban mati. Beban gravitasi dalam desain struktur Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah meliputi beban sendiri bangunan (DL), beban mati tambahan (SIDL), dan beban hidup (LL). Beban – beban tersebut diuraikan sebagai berikut :

1. Beban sendiri bangunan (DL)

Beban sendiri bangunan terdiri dari bahan konstruksi pada gedung yang dalam pemeliharaannya tetap. Beban sendiri bangunan atau sering disebut *self weight* terdiri dari balok, kolom, pelat lantai, dan komponen bangunan lainnya yang merupakan bagian dari struktur utama. Rincian beban sendiri bangunan pada setiap lantai diuraikan sebagai berikut :

Tabel 2.13 Data Beban Sendiri Bangunan (DL)

Lantai	Uraian	W (Kn)
Lantai 6	Balok (B1, B2, dan B3)	332,8
	Kolom (K1 & K3)	350,22
	Dinding	741,38
W. Lt 6		1559,96
Lantai 5, 4 & 3	Pelat lantai	3072,86
	Balok (B1, B2, B3, & BA1)	1123,14
	Kolom (K1 & K3)	1265,29
	Dinding	8062,54
W. Lt 5, 4, & 3		13523,82
Lantai 2	Pelat lantai	3096,58
	Balok (B1, B2, B3, & BA1)	1171,68
	Kolom	1407,64
	Dinding	8062,54
W. Lt 2		13738,44
Lantai 1	Pelat lantai	2846,91
	Balok (B1, B2, B3, & BA1)	1111,37
	Kolom (K1, K2, & K3)	140,81
	Dinding	7980,16
W. Lt 1		13346,08
Total berat lantai seismik W.Lt 1 - 6		414821,09

2. Beban mati tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan atau *Super Imposed Dead Load* adalah beban tambahan akibat komponen non-struktural seperti item arsitektural dan

MEP yang melekat pada struktur bangunan utama. Rincian perhitungan beban mati tambahan diuraikan sebagai berikut :

Beban pasir (tebal 4 cm)	= 0,68 kN/m ²	
Beban spesi (tebal 2 cm)	= 0,42 kN/m ²	
Beban plafond dan rangka	= 0,11 kN/m ²	
Beban penutup lantai (tebal 1 cm)	= 0,24 kN/m ²	
Beban instalasi ME	= 0,2 kN/m ²	+
Total Beban Mati (SIDL)	= 1,65 kN/m ²	

3. Beban hidup (LL)

Beban hidup / *live load* merupakan beban yang timbul akibat aktivitas didalam bangunan. Beban tersebut dapat berupa benda-benda yang dapat dipindahkan atau orang yang dapat berpindah tempat. Rincian beban hidup tiap lantai dapat diuraikan sebagai berikut :

Beban hidup = 2,55 kN/m² (SNI 1727:2019, Fasilitas perkantoran)

2.9.2 Beban Gempa

Perhitungan pembebanan struktur akibat beban gempa berdasarkan SNI Gempa 1726:2019 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung. Tata cara perhitungan beban gempa rencana sebagai berikut:

1. Menyusun kurva respon desain

Data grafik respon spektra diperoleh dari website <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>, berdasarkan nama kota atau koordinat lokasi yang diambil. Data grafik respon spektra Kota Palangkaraya Kalimantan Tengah, dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Lanjutan Gambar 2.6.

2. Menentukan kategori risiko bangunan (I-IV)

Berdasarkan fungsi operasional/jenis pemanfaatan dari suatu bangunan kategori risiko bangunan dalam SNI 1726:2019 dibedakan menjadi 4 jenis kategori. Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah termasuk dalam

kategori bangunan umum sehingga ditetapkan sebagai kategori risiko bangunan II.

Tabel 2.14 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Lanjutan Tabel 2.14

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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)

3. Menentukan kategori desain seismik (KDS: A-F)

Struktur yang didesain harus ditetapkan termasuk dalam kategori desain seismik (KDS). Dalam tabel 2.12 dan 2.13 diberikan informasi kategori desain seismik yang didasarkan pada hubungan SDS dan SD1 dengan KDS.

Tabel 2.15 Kategori Desain Seismik berdasarkan Nilai SDS

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

Nilai SDS Gedung sebesar 0,0779 termasuk dalam kategori risiko II. Oleh karena itu, Kategori Desain Seismik (KDS) berdasarkan nilai SDS tersebut adalah A.

Tabel 2.16 Kategori Desain Seismik berdasarkan Nilai SD_1

Nilai SD_1	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD_1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD_1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD_1$	D	D

Nilai SD_1 gedung sebesar 0,1095g termasuk dalam kategori risiko II. Oleh karena itu, Kategori Desain Seismik (KDS) berdasarkan nilai SD_1 adalah B. Berdasarkan nilai dari SDS dan SD_1 , dipilih KDS tertinggi, sehingga KDS untuk Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah ditetapkan sebagai B.

4. Menentukan faktor keutamaan gempa (I_e)

Kategori risiko bangunan merupakan penentuan faktor keutamaan gempa. Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah termasuk dalam kategori risiko bangunan II, sehingga faktor keutamaannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.17 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Tabel 2.18 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismikTabel 12 – Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (lanjutan)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI

Sistem pemikul gaya seismik Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah

termasuk kedalam dinding geser beton bertulang khusus maka, analisis faktor keutamaan gempa Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah sesuai dengan Tabel 2.17 adalah sebagai berikut :

- Faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,0$
- Koefisien modifikasi respons, $R = 6,5$
- Faktor kuat lebih sistem $\Omega_0 = 2,5$
- Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5$

5. Menentukan periode fundamental alami struktur (T)

Periode fundamental alami dari suatu struktur akan menentukan nilai koefisien respons seismik (C_s), yang pada gilirannya akan menentukan nilai gaya geser dasar seismik. Jika tidak tersedia periode struktur yang lebih akurat (T_c), maka dapat digunakan periode struktur yang diestimasi (T_a). Namun, jika periode struktur yang lebih akurat (T_c) dapat diperoleh melalui pemodelan struktur, maka periode tersebut harus digunakan.

Tabel 2.19 Nilai Parameter periode pendekatan C_t dan α

Tipe struktur	C_t	α
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

Data :

Digunakan rumus pendekatan : $T_a = C_t h_n^x$

$h_n = 22,6$ m (Tinggi bangunan)

$C_t = 0,0488$ (Koefisien sesuai tabel 18 SNI 1726:2019)

$\alpha = 0,75$ (Koefisien sesuai tabel 18 SNI 1726:2019)

$$\text{Maka } T_a = C_t h n^x = 0,0488 \times 22,6^{0,75} = 0,5058 \text{ detik}$$

Tabel 2.20 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

$$S_{D1} = 0,1095g \text{ detik} \geq 0,1 \text{ detik maka } C_u = 1,7$$

$$T_{\max} = C_n \times T_a = 1,7 \times 0,5058 = 0,860 \text{ detik}$$

Sebagai alternatif, periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut, khusus untuk struktur dengan tinggi maksimal 12 lantai. Struktur tersebut harus menggunakan sistem pemikul gaya seismik berupa rangka pemikul momen yang sepenuhnya terbuat dari beton atau baja, dengan rata-rata tinggi setiap lantai minimal 3 meter.

$$T_a = 0,1N \text{ dengan } N = \text{jumlah tingkat} = 5, \text{ sehingga}$$

$$T = 0,1 \times 5 = 0,5 \text{ detik}$$

Digunakan nilai $T = 0,5058$ detik

6. Bentuk dan jumlah ragam

Variasi Bentuk dan Jumlah Ragam membahas berbagai bentuk dan jumlah ragam yang terdapat pada Gedung Kejati Kalimantan Tengah. Penjelasan ini mencakup proses identifikasi, deskripsi, serta pengelompokan ragam berdasarkan karakteristik yang ada.

Tabel 2.21 Jumlah Ragam

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	1.257	0.0016	0.7509	0	0.0016	0.7509	0	0.28
Modal	2	1.193	0.7503	0.0014	0	0.7519	0.7523	0	0.0004
Modal	3	1.063	0.0094	0.0015	0	0.7613	0.7538	0	0.0003
Modal	4	0.432	0.0006	0.139	0	0.7619	0.8928	0	0.4069
Modal	5	0.408	0.1359	0.0005	0	0.8978	0.8932	0	0.0013
Modal	6	0.37	0.0012	0.0004	0	0.899	0.8937	0	0.0012
Modal	7	0.217	0.0001	0.0596	0	0.8991	0.9532	0	0.1634
Modal	8	0.209	7.344E-06	0.0017	0	0.8991	0.9549	0	0.0046
Modal	9	0.209	0	0	0	0.8991	0.9549	0	0
Modal	10	0.205	0.0584	0.0001	0	0.9575	0.955	0	0.0002
Modal	11	0.195	0	0	0	0.9575	0.955	0	5.651E-07
Modal	12	0.195	0	0.0004	0	0.9575	0.9554	0	0.0012
Modal	13	0.186	0.0002	0.0001	0	0.9577	0.9555	0	0.0003
Modal	14	0.185	0	0	0	0.9577	0.9555	0	0
Modal	15	0.184	0.0001	5.029E-07	0	0.9578	0.9555	0	1.473E-06

7. Menentukan koefisien respons seismik (Cs)

a. Koefisien respons seismik

Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh gempa terhadap respons dinamis bangunan.

$$Cs = SDS / (R/I_e) = 0,079 / (6,5/1) = 0,0120$$

b. Batas atas

Batas atas mencakup metode perhitungan dan aplikasinya dalam menentukan kapasitas maksimum suatu sistem atau material sebelum mencapai kondisi kegagalan.

$$Cs_{max} = SD1 [T \times (R/I_e)]$$

$$Cs_{max X} = 0,1095 / [0,860 \times (6,5/1)] = 0,0196$$

$$Cs_{max Y} = 0,1095 / [0,860 \times (6,5/1)] = 0,0196$$

c. Batas bawah

Pembahasan ini meliputi pendekatan yang digunakan untuk menentukan batas bawah dan implikasinya terhadap kestabilan struktur

$$Cs_{min 1} = 0,044 SDS I_e \geq 0,01$$

d. Batas bawah (digunakan jika $S1 \geq 0,6g$)

Penjelasan ini mencakup kriteria penerapan serta implikasinya terhadap

desain struktur.

$$Cs_{\min 2} = 0,5 S_1 / (R/I_e) = 0,5 \times 0,0391 / (6,5/1) = 0,0030$$

e. Koefisien respons seismik pakai

Penjelasan ini menguraikan tentang koefisien respons seismik pakai yang digunakan untuk menghitung besarnya respons struktur terhadap gempa.

$$Cs_{\text{pakai X}} = 0,012$$

$$Cs_{\text{pakai Y}} = 0,012$$

f. Berat seismik efektif

Berat Seismik Efektif adalah salah satu parameter kunci dalam menganalisis respons struktur terhadap gempa. Ulasan ini akan mencakup pengertian, cara perhitungan, serta dampak berat seismik efektif terhadap stabilitas dan keselamatan bangunan selama terjadi gempa.

$$W = 64852,960 \text{ kN}$$

g. Gaya geser dasar seismik

Gaya Geser Dasar Seismik adalah elemen utama dalam analisis struktur terhadap gempa. Memahami gaya geser ini sangat penting untuk merancang bangunan yang dapat menahan beban lateral akibat aktivitas seismik.

$$V = Cs \times W$$

$$VX = 0,012 \times 64852,960 = 777.44 \text{ kN}$$

$$VY = 0,012 \times 64852,960 = 777.44 \text{ kN}$$

h. Gaya geser statik (ETABS)

Bagian ini akan membahas analisis gaya geser statik yang dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS. Penjelasan mencakup metode perhitungan, dampaknya terhadap desain struktur, serta penerapan hasil analisis untuk merancang bangunan yang tahan gempa.

$$VX = 777,4373 \text{ kN}$$

$$VY = 777,4373 \text{ kN}$$

8. Penskalaan gaya

Penskalaan Gaya adalah teknik penting dalam analisis struktur yang digunakan untuk menyesuaikan gaya sesuai dengan ukuran dan kondisi desain. Metode ini memungkinkan insinyur memprediksi respons struktur secara akurat terhadap beban yang diberikan.

a. Faktor skala awal

Faktor Skala Awal adalah komponen penting dalam analisis data dan perancangan penelitian. Diskusi ini meliputi pemahaman tentang relevansi serta dampak faktor skala awal terhadap hasil yang dihasilkan.

$$SF = g / (R/I) = 9,81 / (6,5/1) = 1,509 \text{ m/s}^2 = 1508,72 \text{ mm/s}^2$$

b. Gaya geser dasar analisis struktur

Bagian ini akan mengulas gaya geser dasar yang muncul dalam analisis struktur, dengan penekanan pada perannya dalam menilai stabilitas dan kekuatan bangunan. Pemahaman mendalam tentang gaya geser dasar sangat penting untuk merancang struktur yang aman dan mampu menahan beban lateral.

$$V_{i,X} = 614,1817 \text{ kN (Input dari ETABS)}$$

$$V_{i,Y} = 612,2395 \text{ kN (Input dari ETABS)}$$

c. Penskalaan gaya gempa

Penskalaan gaya gempa bertujuan untuk mengukur kekuatan dan dampak gempa terhadap struktur bangunan. Penskalaan yang akurat sangat penting dalam merancang struktur yang aman dan tahan terhadap gempa.

$$F_x = V_x / V_{i,x} = 777,44 / 614,1817 = 1,266$$

$$F_y = V_y / V_{i,y} = 777,44 / 612,2395 = 1,270$$

d. Faktor skala baru

Faktor Skala Baru mencakup pemahaman mengenai bagaimana faktor skala dapat mempengaruhi perilaku serta keamanan bangunan di berbagai

kondisi.

$$SFX = SF \times f_x = 1508,72 \times 1,266 = 1909,75 \text{ mm/s}^2$$

$$SFY = SF \times f_y = 1508,72 \times 1,270 = 1915,81 \text{ mm/s}^2$$

2.10 Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur

Secara umum ketidakberaturan struktur dibagi menjadi dua yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

2.10.1 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

Ketidakberaturan horizontal pada struktur dibagi menjadi 5 tipe, yaitu ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang, serta ketidakberaturan sistem nonpararel. 5 tipe ini akan dijelaskan pada tabel 2.22.

Tabel 2.22 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(Sumber : SNI-1726-2019)

Perhitungan serta analisis ketidakberaturan horizontal pada struktur Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah diuraikan sebagai berikut :

1. Cek ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b

Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b merupakan pengecekan arah x dan y, yang didapatkan dari hasil *analysis story max over average drifts* ETABS. Hasil analisis tersebut diuraikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.23 Ketidakberaturan Arah X

Story Max Over Avg Drifts

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Max Over Avg Drifts

Filter: ([Story] = 'Story1' OR [Story] = 'Story2' OR [Story] = 'Story3' OR [Story] = 'Story4' OR [Story] = 'Story5') AND ([Output Case] = 'EX') AND ([Direction] = 'X')

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
▶	Story5	EX	LinRespSpec	Max		X	1,894	1,809	1,047
	Story4	EX	LinRespSpec	Max		X	2,05	1,961	1,045
	Story3	EX	LinRespSpec	Max		X	2,081	1,742	1,195
	Story2	EX	LinRespSpec	Max		X	2,123	1,943	1,092
	Story1	EX	LinRespSpec	Max		X	1,12	1,066	1,051

Tabel 2.24 Ketidakberaturan Arah Y

Story Max Over Avg Drifts

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Max Over Avg Drifts

Filter: ([Story] = 'Story1' OR [Story] = 'Story2' OR [Story] = 'Story3' OR [Story] = 'Story4' OR [Story] = 'Story5') AND ([Output Case] = 'EY') AND ([Direction] = 'Y')

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
▶	Story5	EY	LinRespSpec	Max		Y	2,403	2,272	1,058
	Story4	EY	LinRespSpec	Max		Y	2,671	2,45	1,09
	Story3	EY	LinRespSpec	Max		Y	2,689	2,371	1,134
	Story2	EY	LinRespSpec	Max		Y	2,433	2,239	1,086
	Story1	EY	LinRespSpec	Max		Y	1,394	1,171	1,191

Hasil dari pengecekan ketidakberaturan arah x dan y direkap dalam tabel, kemudian dilakukan analisis kembali apakah terjadi ketidakberaturan pada tipe 1a dan 1b :

Tabel 2.25 Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
5	1.047	OK	1.058	OK
4	1.045	OK	1.09	OK
3	1.195	OK	1.134	OK
2	1.092	OK	1.086	OK
1	1.051	OK	1.191	OK

Dari salah satu lantai diambil contoh hitungan yaitu lantai 1 dengan nilai

$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$ adalah 1.051, dengan ketentuan nilai $\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}} < 1.2$ dinyatakan aman. Pada arah x dan y, **tidak terjadi ketidakberaturan horizontal pada tipe 1a dan 1b.**

2. Cek ketidakberaturan sudut dalam

Tabel 2.26 Ketidakberaturan Sudut Dalam

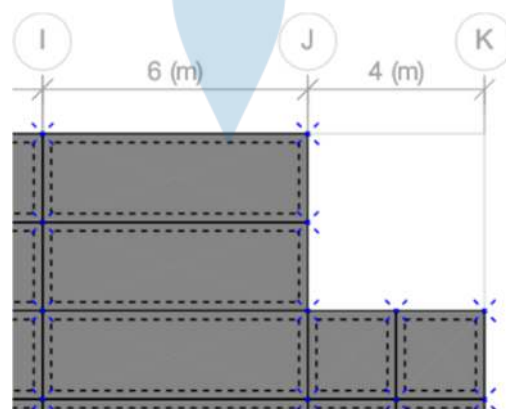
L_x	56	m
P_x	48	m
L_y	20	m
P_y	12	m
L_x/P_x	0.3571	
L_y/P_y	0.2500	
Cek	H.2	

Jika $P_x > 0,15L_x$ atau $P_y > 0,15L_y$ maka terjadi ketidakberaturan sudut pada gedung ini $P_x = L_x$ dan $P_y = L_y$

Pengecekan arah X $P_x/L_x = 0.3571$

Pengecekan arah Y $P_y/L_y = 0.2500$

Maka, terjadi ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2)



Gambar 2.12 Ketidakberaturan Sudut Dalam

3. Cek ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Jika luas bukaan $> 50\%$ luas total denah, maka terjadi ketidakberaturan diafragma.

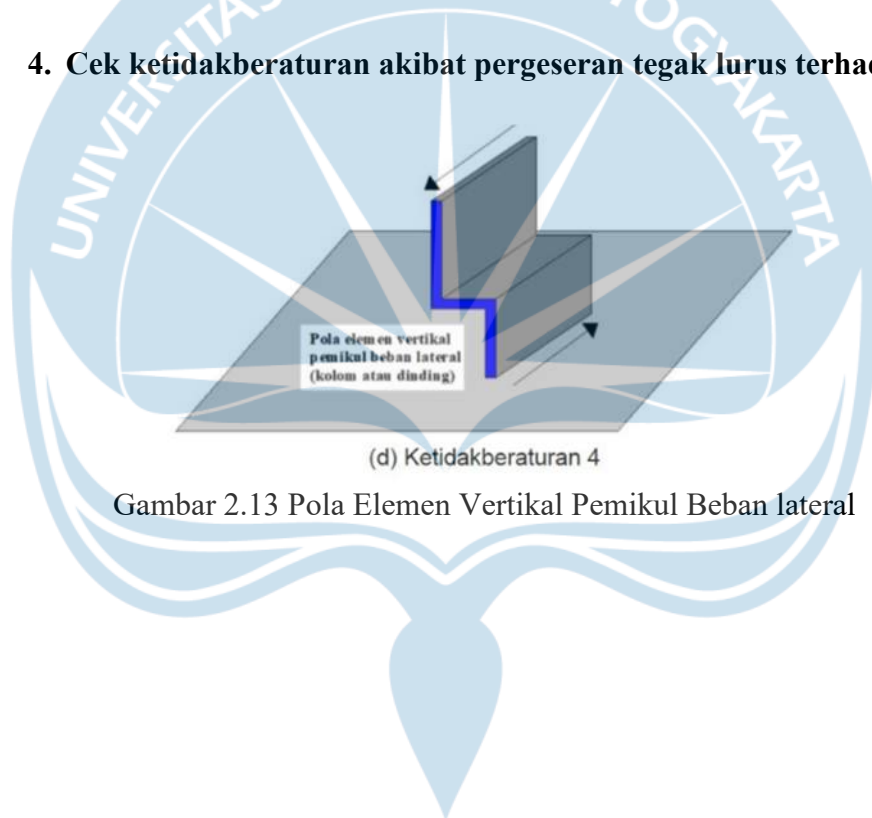
Total area = 1056 m^2

Void area = 96 m^2

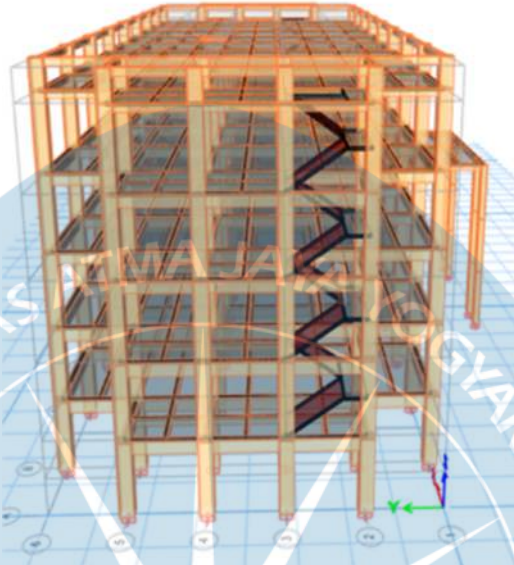
Persentase = 9.09% (No)

Maka, tidak terjadi ketidakberaturan tipe 3

4. Cek ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang



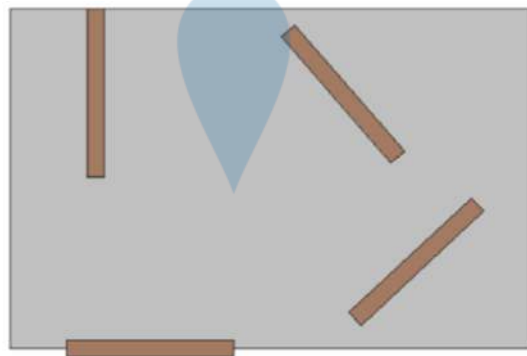
Gambar 2.13 Pola Elemen Vertikal Pemikul Beban lateral



Gambar 2.14 Tampak Samping Gedung Kajati

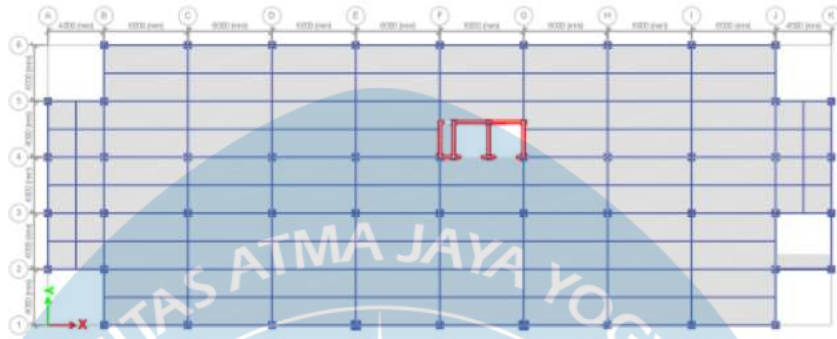
Maka, **tidak terjadi ketidakberaturan tipe 4** dikarenakan kolom menerus dari lantai dasar hingga lantai atas serta tidak memiliki struktur penahan beban lateral.

5. Cek ketidakberaturan sistem non-paralel



(e) Ketidakberaturan 5

Gambar 2.15 Sistem Non-Paralel



Gambar 2.16 Tampak Atas Bangunan

Semua kolom searah sumbu x dan y, serta tidak ada struktur dinding tambahan penahan beban lateral.

Maka, tidak terjadi ketidakberaturan tipe 5

2.10.2 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

Ketidakberaturan vertikal pada struktur dibagi menjadi 5 tipe, yaitu ketidakberaturan kekakuan tingkat tipe 1a dan 1b, ketidakberaturan berat (massa), ketidakberaturan geometri vertikal, ketidakberaturan lateral tingkat tipe 5a dan 5b. 5 tipe ini akan dijelaskan pada tabel 2.27.

Tabel 2.27 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

(Sumber : SNI-1726-2019)

. Perhitungan serta analisis ketidakberaturan vertikal pada struktur Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah diuraikan sebagai berikut :

1. Cek Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Analisis pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b didapatkan dari *story stiffness* pada ETABS, pengecekan ketidakberaturan ini dilihat dari arah x dan y. Hasil analisis tersebut diuraikan pada tabel di bawah ini

Tabel 2.28 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Story Stiffness

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None

Filter: ([Story] = 'Story1' OR [Story] = 'Story2' OR [Story] = 'Story3' OR [Story] = 'Story4' OR [Story] = 'Story5' OR [Story] = 'Story6') AND ([Output Case]

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Shear X kN	Drift X mm	Stiff X kN/m
►	Story6	Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	0	0,477	0
	Story5	Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	242,4845	1,392	174221,145
	Story4	Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	462,5685	1,605	288261,621
	Story3	Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	631,2078	1,449	435687,697
	Story2	Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	731,7497	1,562	468534,651
	Story1	Static Ex	LinStatic	Step By Step	1	777,4373	0,922	843252,049

Tabel 2.29 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Story Stiffness

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None

Filter: ([Story] = 'Story1' OR [Story] = 'Story2' OR [Story] = 'Story3' OR [Story] = 'Story4' OR [Story] = 'Story5' OR [Story] = 'Story6') AND ([Output Case] = 'Static Ey')

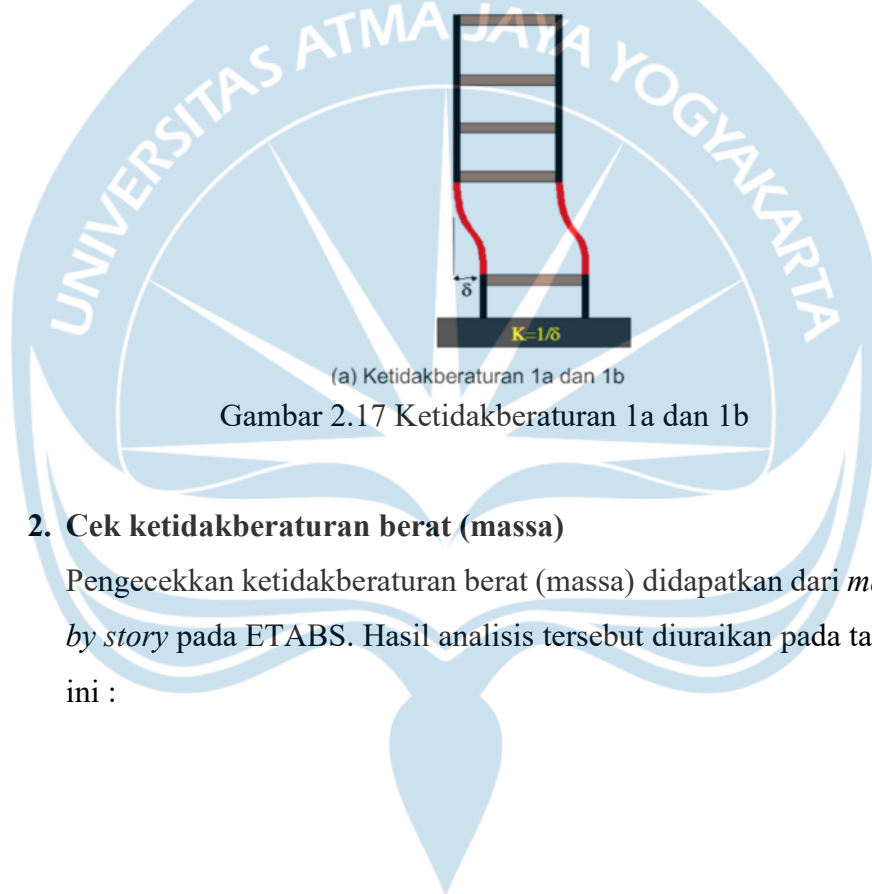
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Shear X kN	Drift X mm	Stiff X kN/m	Shear Y kN	Drift Y mm	Stiff Y kN/m
►	Story6	Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	0,009	0	0	0,541	0
	Story5	Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	0,017	0	242,4845	1,588	152718,679
	Story4	Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	0,011	0	462,5685	1,821	253957,778
	Story3	Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	0,014	0	631,2078	1,824	346057,976
	Story2	Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	0,017	0	731,7497	1,63	448803,619
	Story1	Static Ey	LinStatic	Step By Step	1	0	0,009	0	777,4373	0,875	888107,965

Hasil dari pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak arah x dan y direkap dalam tabel, kemudian dilakukan analisis kembali apakah terjadi ketidakberaturan pada tipe 1a dan 1b :

Tabel 2.30 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
6	0		0	
5	174221.145	OK	152718.679	OK
4	288261.621	OK	253957.778	OK
3	435687.697	OK	346057.976	OK
2	468534.651	OK	448803.619	OK
1	843252.049	OK	888107.965	OK

Dari salah satu lantai diambil contoh hitungan yaitu lantai 5 pada arah x dan y dengan nilai kekauannya adalah 174221.145 kN/m & 152718.679 kN/m, dengan ketentuan pada tipe 1a $K_x < 0,7 K (x+1)$ dan tipe 1b $K_x < 0,6 K (x+1)$. Hasil ini menunjukkan Pada arah x dan y, **tidak terjadi ketidakberaturan horizontal pada tipe 1a dan 1b.**

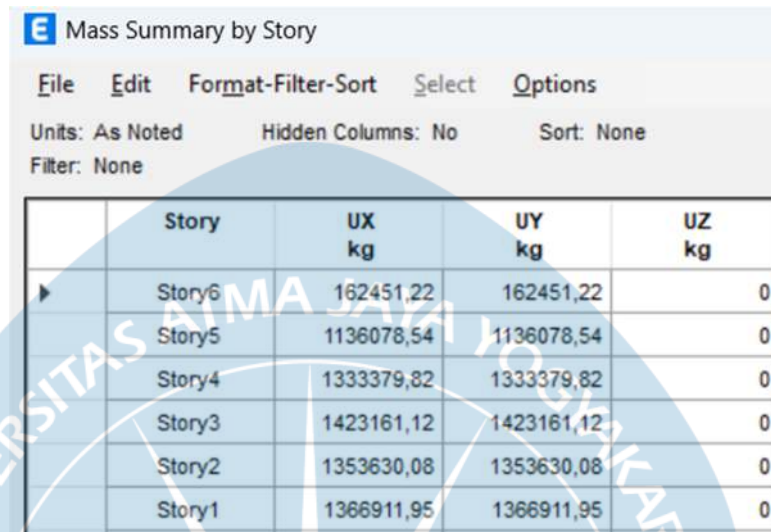


Gambar 2.17 Ketidakberaturan 1a dan 1b

2. Cek ketidakberaturan berat (massa)

Pengecekan ketidakberaturan berat (massa) didapatkan dari *mass summary by story* pada ETABS. Hasil analisis tersebut diuraikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.31 Hasil Analisis Ketidakberaturan Berat (Massa)



Mass Summary by Story

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None

Filter: None

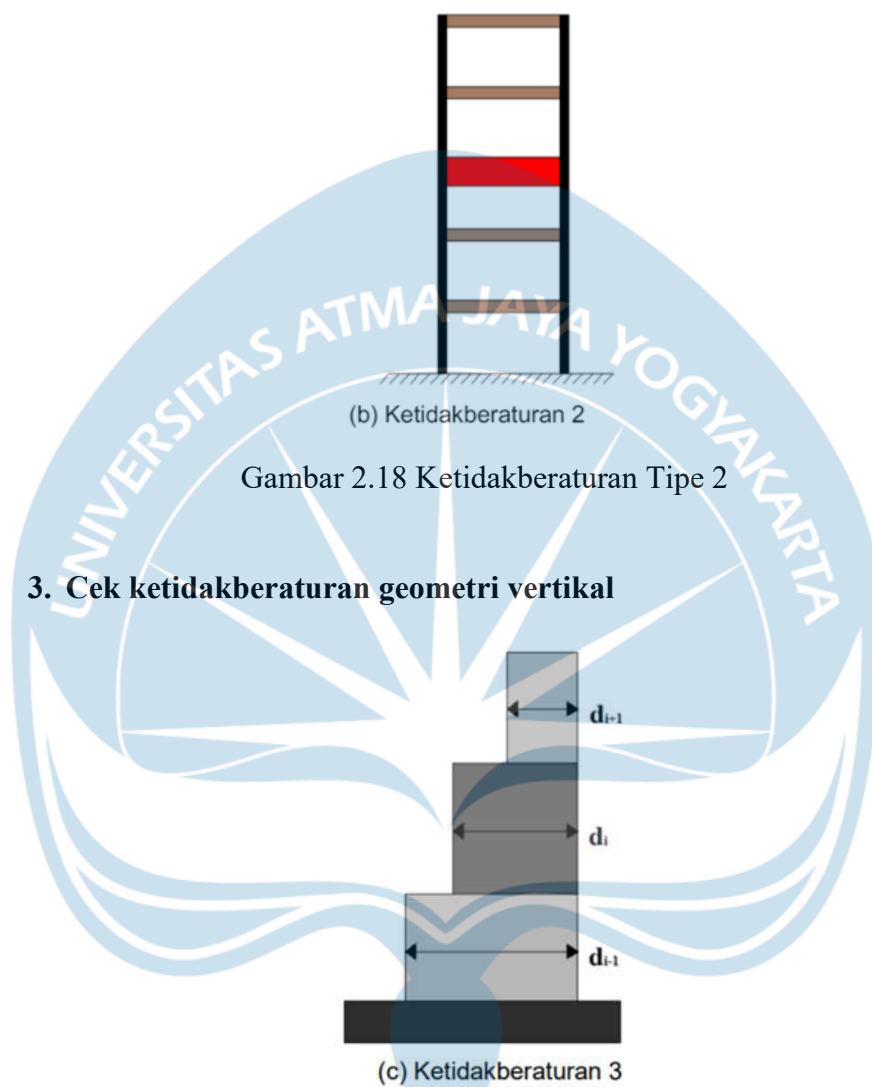
	Story	UX kg	UY kg	UZ kg
▶	Story6	162451,22	162451,22	0
	Story5	1136078,54	1136078,54	0
	Story4	1333379,82	1333379,82	0
	Story3	1423161,12	1423161,12	0
	Story2	1353630,08	1353630,08	0
	Story1	1366911,95	1366911,95	0

Hasil dari pengecekan ketidakberaturan berat (massa) direkap dalam tabel, kemudian dilakukan analisis kembali apakah terjadi ketidakberaturan.

Tabel 2.32 Ketidakberaturan berat (massa)

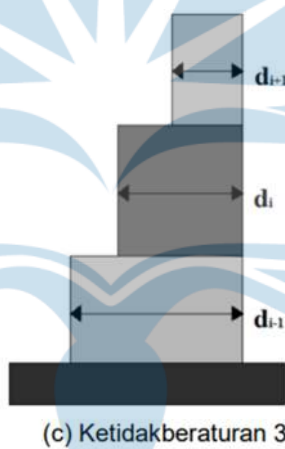
Lantai	Massa	Cek
	Kg	
6	162451.22	OK
5	1136078.54	OK
4	1333379.82	OK
3	1423161.12	OK
2	1353630.08	OK
1	1366911.95	OK

Dari salah satu lantai diambil contoh hitungan yaitu lantai 1 dengan nilai massanya adalah 1366911.95, dengan ketentuan $M_x > 1,5(x+1)$ atau $M_x > 1,5 M (x-1)$. Hasil ini menunjukkan, **tidak terjadi ketidakberaturan berat (massa).**



Gambar 2.18 Ketidakberaturan Tipe 2

3. Cek ketidakberaturan geometri vertikal



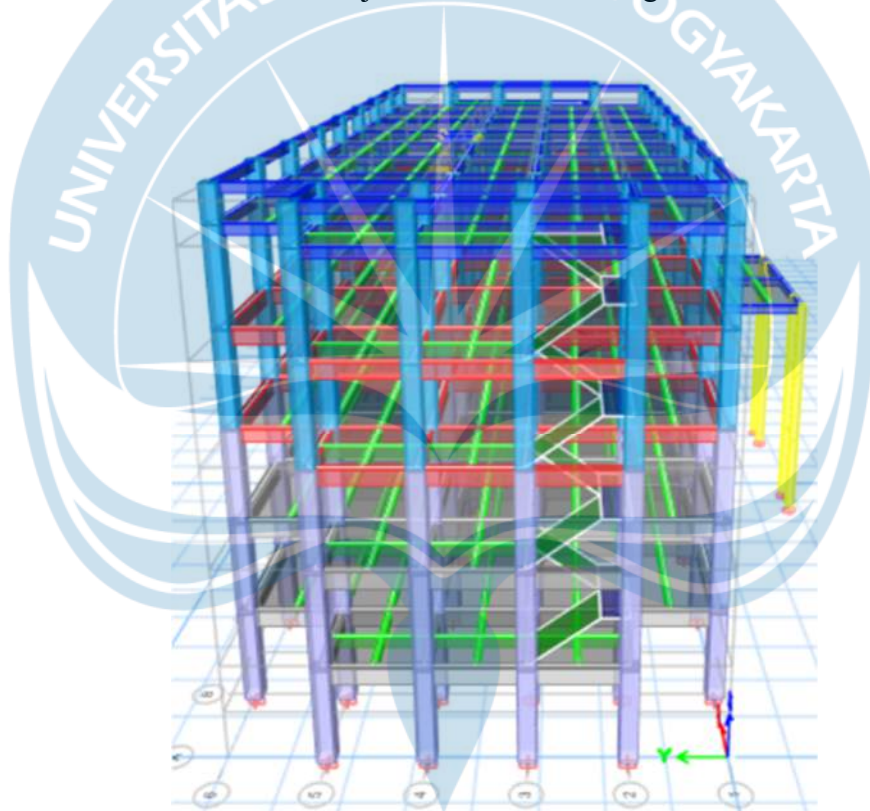
Gambar 2.19 Ketidakberaturan Tipe 3

Tabel 2.33 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Lantai	L	Cek
	mm	
6	650	OK
5	650	OK

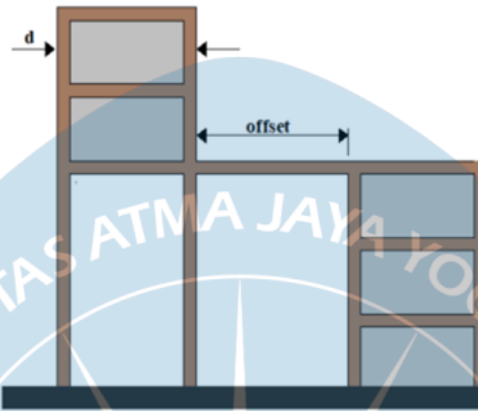
4	650	OK
3	700	OK
2	700	OK
1	700	OK

Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah tidak memiliki dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di Seberang tingkat yang lebih dari 130 %, maka tidak terjadi ketidakberaturan geometri vertikal.



Gambar 2.20 Tampak Kolom K1, K2, & K3

4. Cek ketidakberaturan akibat dikontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul lateral



(d) Ketidakberaturan 4

Gambar 2.21 Ketidakberaturan Tipe 4

Maka, tidak terjadi ketidakberaturan Tipe 4 dikarenakan tidak ada elemen shearwall pada bangunan, dan kolom menerus dari lantai dasar ke lantai atas.

5. Cek ketidakberaturan kuat lateral tingkat (5a) dan (5b)

Analisis pengecekan ketidakberaturan kuat lateral tingkat didapatkan dari *story forces* pada ETABS, pengecekan ketidakberaturan ini dilihat dari arah x dan y. Hasil analisis tersebut diuraikan pada tabel di bawah ini

Tabel 2.34 Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Arah X

E Story Forces								
File Edit Format-Filter-Sort Select Options								
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None								
Filter: ([Output Case] = 'EX') AND ([Location] = 'Top')								
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P kN	VX kN
▶	Story6	EX	LinRespSpec	Max		Top	0	46,2851
	Story5	EX	LinRespSpec	Max		Top	0	327,286
	Story4	EX	LinRespSpec	Max		Top	0	560,4961
	Story3	EX	LinRespSpec	Max		Top	0	742,0048
	Story2	EX	LinRespSpec	Max		Top	0	854,4354
	Story1	EX	LinRespSpec	Max		Top	0	902,8477

Tabel 2.35 Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Arah Y

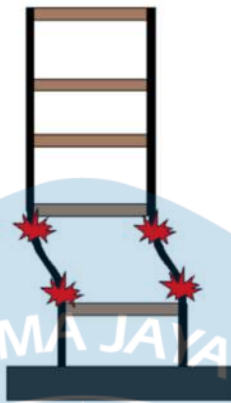
Story Forces									
File Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None									
Filter: ([Output Case] = 'EY') AND ([Location] = 'Top')									
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P kN	VX kN	VY kN
►	Story6	EY	LinRespSpec	Max		Top	0	1,5111	47,6406
	Story5	EY	LinRespSpec	Max		Top	0	10,5962	337,7397
	Story4	EY	LinRespSpec	Max		Top	0	17,3997	575,8793
	Story3	EY	LinRespSpec	Max		Top	0	22,9332	760,6748
	Story2	EY	LinRespSpec	Max		Top	0	26,6779	873,5344
	Story1	EY	LinRespSpec	Max		Top	0	28,4149	921,419

Hasil dari pengecekan ketidakberaturan kuat lateral tingkat arah x dan y direkap dalam tabel, kemudian dilakukan analisis kembali apakah terjadi ketidakberaturan pada tipe 5a dan 5b :

Tabel 2.36 Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	Kn		Kn	
6	46.2851	OK	47.6406	OK
5	327.286	OK	337.7397	OK
4	560.4961	OK	575.8793	OK
3	742.0048	OK	760.6748	OK
2	854.4354	OK	873.5344	OK
1	902.8477	OK	921.419	OK

Dari salah satu lantai diambil contoh hitungan yaitu lantai 1 dengan nilai kekuatannya adalah 902.8477 Kn, dengan ketentuan pada tipe 5a adalah $V_x < 0,8 V (x+1)$ dan 5b $V_x < 0,65 V (x+1)$. Hasil ini menunjukkan, **tidak terjadi ketidakberaturan pada tipe 5a dan 5b.**



(e) Ketidakberaturan 5a dan 5b

Gambar 2.22 Ketidakberaturan Tipe 5

2.11 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dan perilaku struktur akibat beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan struktur digunakan sebagai acuan untuk mendesain dimensi penampang elemen struktur yang diperlukan. Model struktur dikerjakan dengan beberapa idealisasi. Sebagai contoh, pelat lantai diidealisasikan sebagai elemen *shell*, sedangkan balok dan kolom diidealisasikan sebagai elemen *frame*.

2.11.1 Material Yang Digunakan

Berikut merupakan hasil *screen capture* pada bagian *material property* data yang digunakan dalam aplikasi ETABS 21 :

Material Property Data

General Data

Material Name: fc'25

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Dark Grey Swatch] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 23,536 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2400 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 23500 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 9791.67 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program-Default (Based on Concrete Slab Design Code) ☐ User Specified

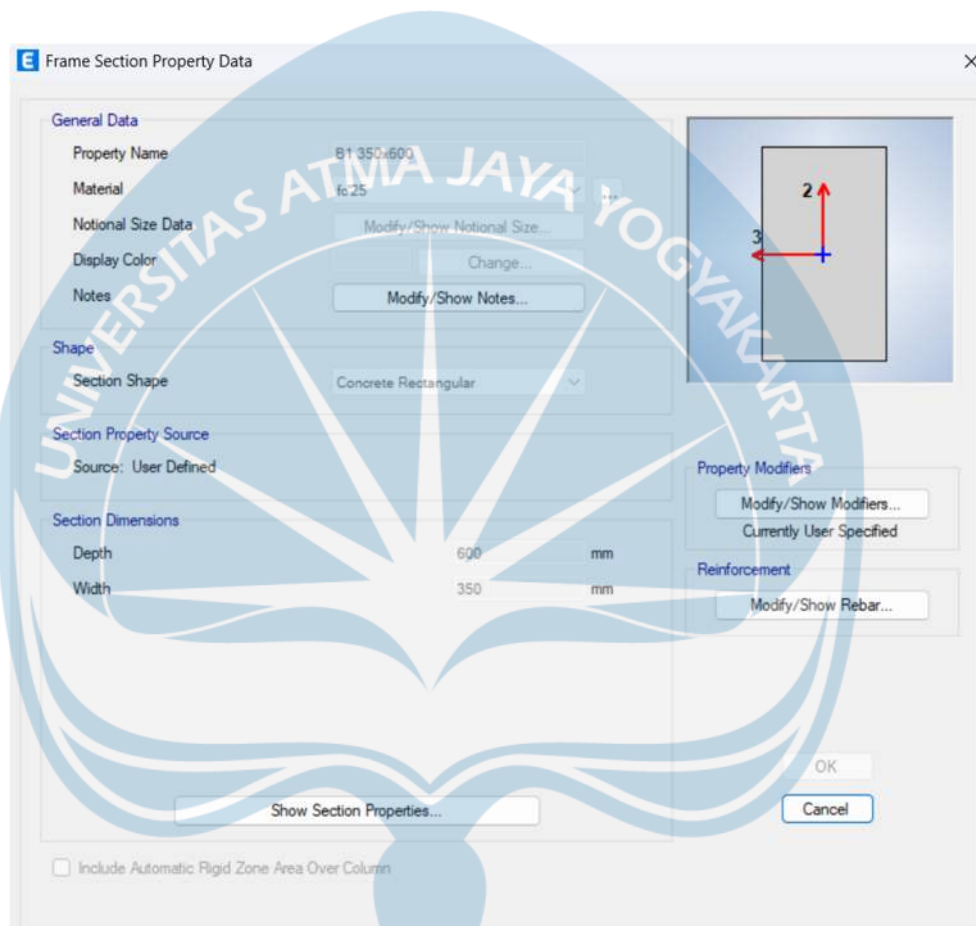
OK Cancel

Gambar 2.23 Data *Material Property*

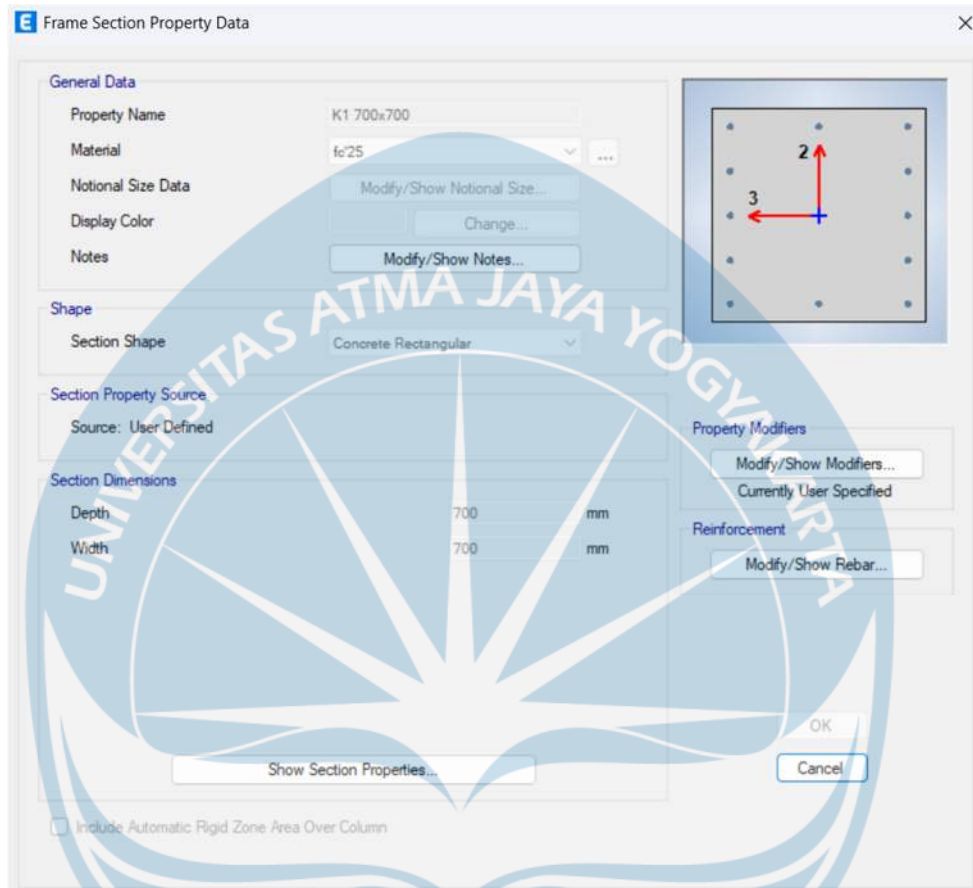
2.11.2 Dimensi Balok dan Kolom

Dimensi balok dan kolom yang digunakan dalam aplikasi ETABS 21 pada Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah terdapat K1 dimensi 700 x 700, K2 dimensi 650 x 650, dan K3 dimensi 400 x 400. Selanjutnya pada balok

adalah, B1 dimensi 350 x 600, B2 dimensi 350 x 700, B3 300 x 500, dan BA1 dimensi 200 x 400. Balok dan kolom tersebut diambil salah satu contoh agar melihat isi dari property data, diuraikan sebagai berikut :



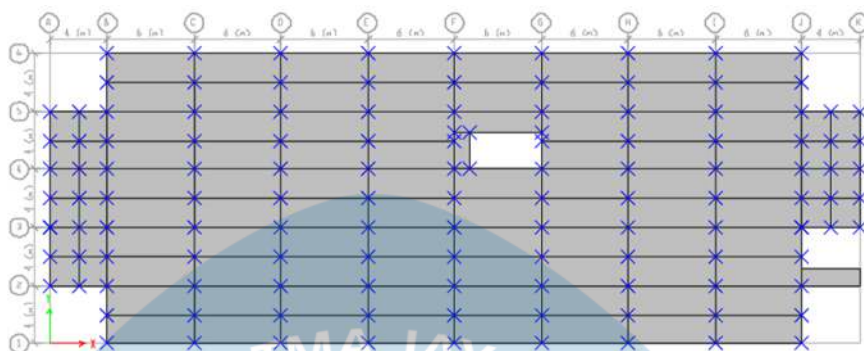
Gambar 2.24 Dimensi Balok Induk 1 (350 x 600)



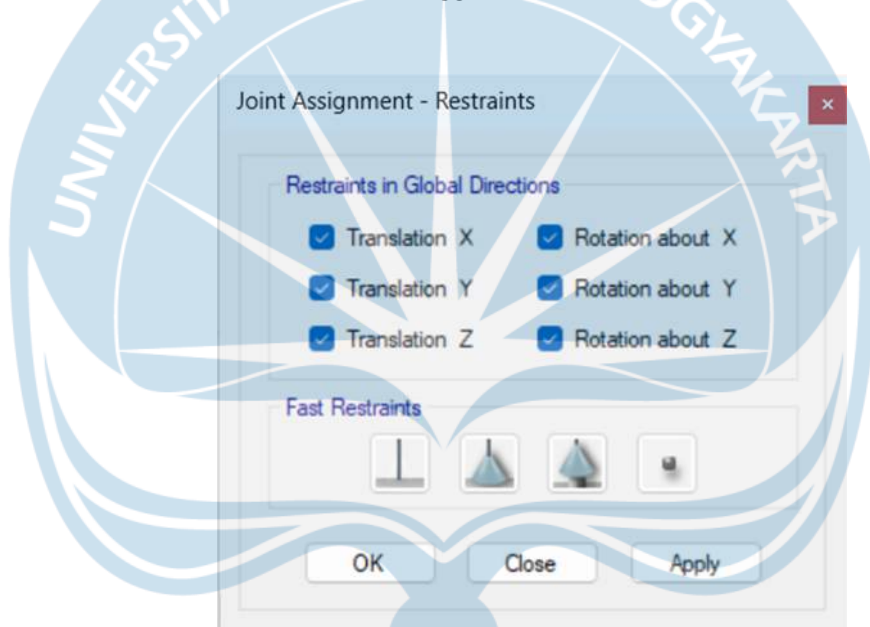
Gambar 2.25 Dimensi Kolom 1 (700 x 700)

2.11.3 Model 3 Dimensi

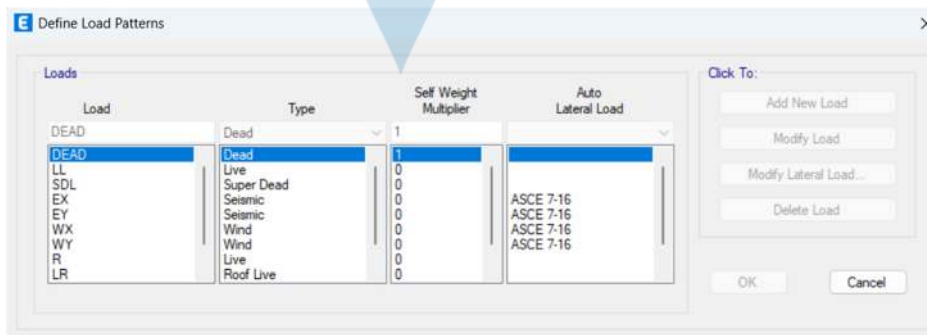
Setelah material dan section properties sudah lengkap, langkah selanjutnya adalah membuat model 3D. Model mengakomodasi semua ukuran balok dan kolom untuk terpasang, langkah pembuatan model 3D dimensi diuraikan sebagai berikut :



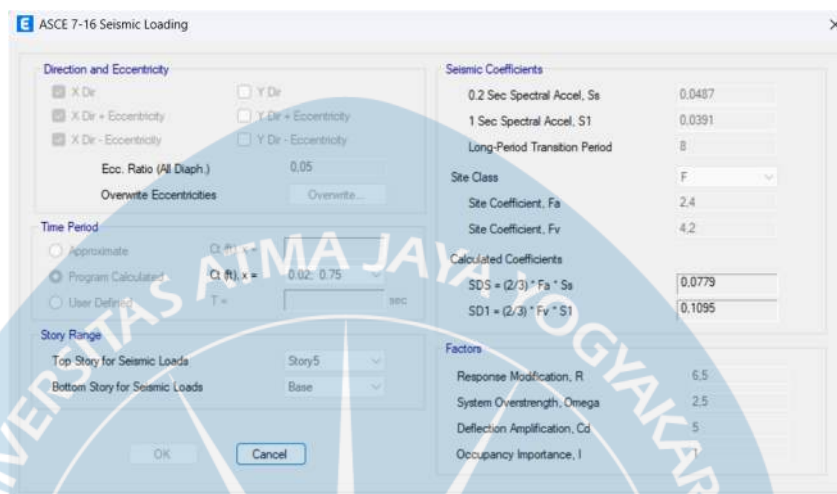
Gambar 2.26 Menggambar Kolom, Balok, dan Pelat



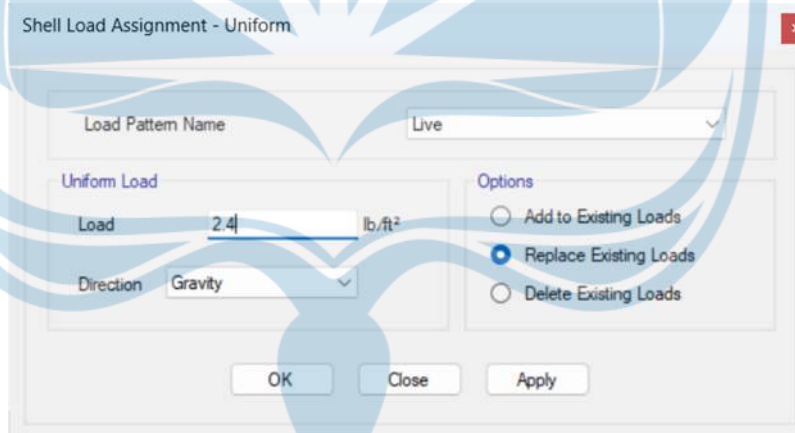
Gambar 2.27 Assign Perletakan



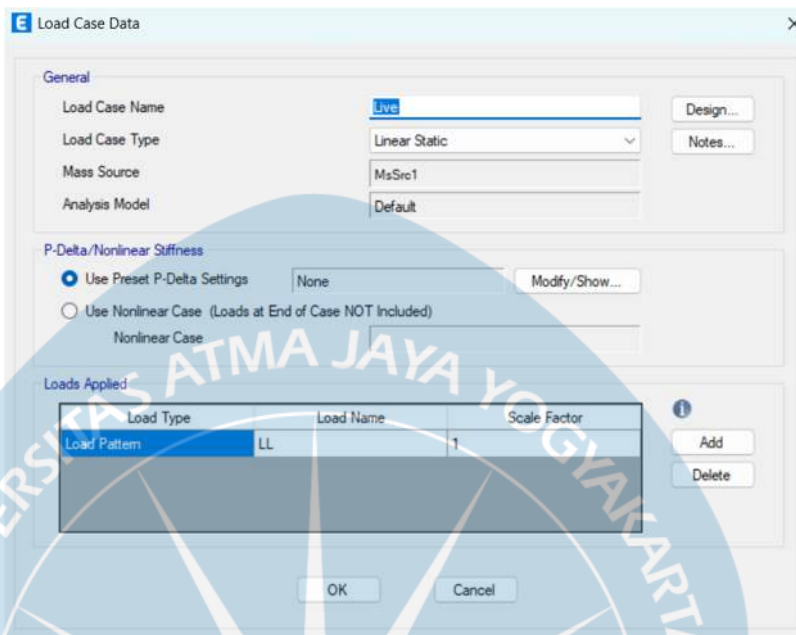
Gambar 2.28 Input Pembebanan (*Define Load Patterns*)



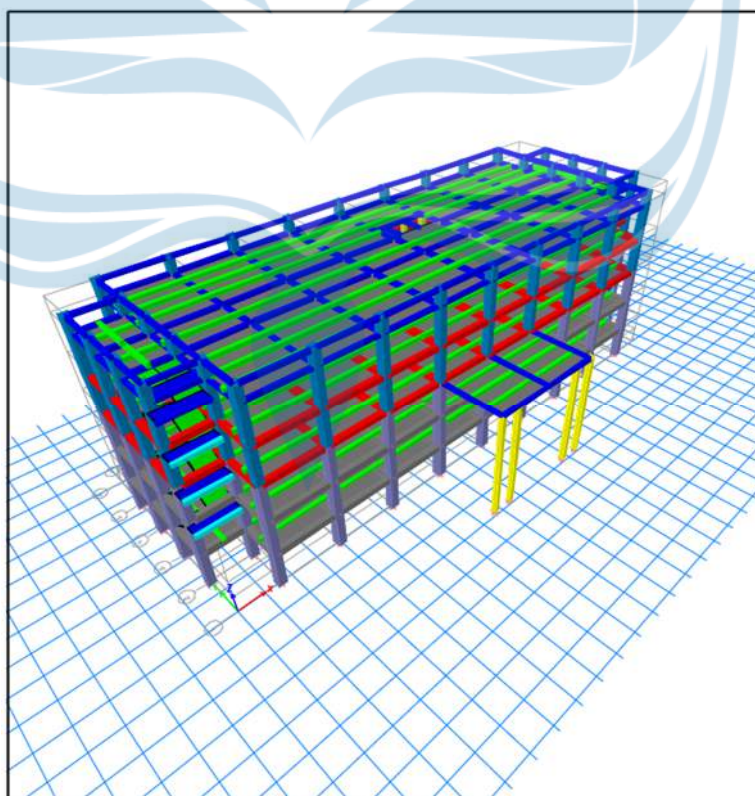
Gambar 2.29 Auto Lateral Load EX



Gambar 2.30 Assign Loads



Gambar 2.31 Load Case Data



Gambar 2.32 Permodelan Struktur Menggunakan ETABS 21

2.11.4 Pengambilan Gaya Dalam Struktur

Gaya dalam diperoleh dari permodelan struktur yang telah dirancang melalui aplikasi ETABS, gaya dalam terbesar yang digunakan untuk proses perencanaan diuraikan dalam tabel di bawah ini :

1. Gaya dalam pada balok anak

Tabel 2.37 Gaya Dalam Balok Anak

Gaya	BA	Satuan
$M_{u,tumpuan (-)}$	-88.8474	kN-m
$M_{u,tumpuan (+)}$	44.5351	kN-m
$M_{u,lapangan (-)}$	-15.7745	kN-m
$M_{u,lapangan (+)}$	75.7094	kN-m
$V_{u,tumpuan}$	104.5616	kN
$V_{u,lapangan}$	50.9141	kN
T_u	0.4921	kN-m

2. Gaya dalam pada balok induk

Tabel 2.38 Gaya Dalam Balok Induk

Gaya	B1	B2	B3	Satuan
$M_{u,tumpuan (-)}$	-368.4073	-413.2994	-211,0687	kN-m
$M_{u,tumpuan (+)}$	268.2787	221.7063	164,6962	kN-m
$M_{u,lapangan (-)}$	-179.5928	-221.6102	-49,3285	kN-m
$M_{u,lapangan (+)}$	293.5997	357.5549	155,6125	kN-m
$V_{u,tumpuan}$	223.0976	343.7688	88,7206	kN
$V_{u,lapangan}$	203.4681	224.2737	51,1954	kN
T_u	4.9469	6,3965	1,2963	kN-m

3. Gaya dalam pada kolom

Tabel 2.39 Gaya Dalam Kolom 1 (700 x 700)

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	369.9627	9.7285	15.8636
P min	-3063.2775	-35.0516	-137.1268
M2 Max	-967.7667	247.9745	26.9264
M2 Min	-2045.4501	-321.9736	-30.0983
M3 Max	-1016.0681	21.476	230.412
M3 Min	-2329.4821	-41.355	-274.8584
Geser			
Tumpuan		Lapangan	
V2 (kN)	-114.0791	V2 (kN)	-114.0791
V3 (kN)	-132.4394	V3 (kN)	-132.4394
Gaya tekan terkecil			
Nu (kN)		3.57	

Tabel 2.40 Gaya Dalam Kolom 2 (650 x 650)

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-6.93	12.99	0.29
P min	-1068.70	57.09	-28.95
M2 Max	-224.04	306.50	15.40
M2 Min	-489.37	-339.53	-4.26
M3 Max	-152.41	38.14	98.17
M3 Min	-329.64	-34.18	-100.84
Geser			
Tumpuan		Lapangan	

V2 (kN)	69.7356	V2 (kN)	69.7356
V3 (kN)	162.5133	V3 (kN)	162.5133
Gaya tekan terkecil			
Nu (kN)		-6.93080	

Tabel 2.41 Gaya Dalam Kolom 3 (400 x 400)

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-3.92	12.71	2.58
P min	-1272.14	-13.97	-1.36
M2 Max	-85.81	83.78	24.05
M2 Min	-230.99	-79.89	-30.85
M3 Max	-133.69	-7.91	100.67
M3 Min	-290.99	11.88	-115.78
Geser			
Tumpuan		Lapangan	
V2 (kN)	56.9624	V2 (kN)	56.9624
V3 (kN)	-43.0694	V3 (kN)	-43.0694
Gaya tekan terkecil			
Nu (kN)		-3.9158	

2.12 Pemeriksaan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ), atau *Story Drift*, dilakukan dengan menghitung selisih maksimum defleksi antara titik-titik di atas dan di bawah tingkat tertentu, baik pada salah satu sisi struktur maupun pada perbedaan simpangan pusat massa antara tingkat tersebut. Jika pusat massa tidak berada dalam garis vertikal yang sama, simpangan pada dasar tingkat dapat dihitung berdasarkan proyeksi vertikal pusat massa tingkat di atasnya. Prediksi perpindahan

antar lantai dilakukan dalam kondisi ultimit melalui analisis respons dinamik.

Tabel 2.42 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ)

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

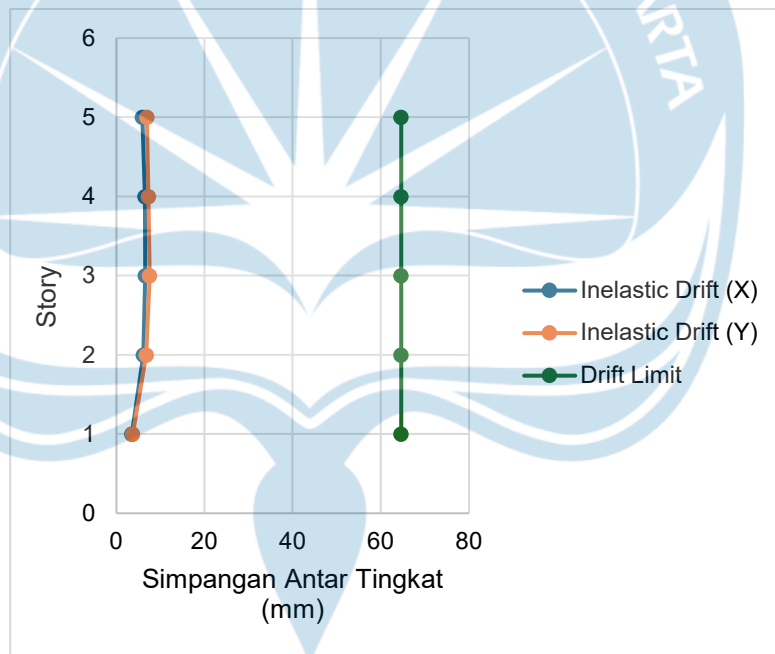
Perhitungan simpangan antar tingkat Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah diuraikan sebagai berikut :

1. Simpangan antar tingkat izin (tabel), $\Delta_a = 0.02 h$
2. Faktor redudansi, $\rho = 1.3$
3. Story drift inelastik izin, $\Delta_{max} = \Delta / \rho = 0.0154 h$
4. Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5$
5. Faktor keutamaan gempa, $I_e = 1.00$
6. Story drift inelastik $= \delta * C_d / I_e$

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ), atau *Story Drift*, dilakukan dengan menghitung selisih maksimum defleksi antara titik-titik di atas dan di bawah tingkat tertentu, baik pada salah satu sisi struktur maupun pada perbedaan simpangan pusat massa antara tingkat tersebut. Jika pusat massa tidak berada dalam garis vertikal yang sama, simpangan pada dasar tingkat dapat dihitung berdasarkan proyeksi vertikal pusat massa tingkat di atasnya. Prediksi perpindahan antar lantai dilakukan dalam kondisi ultimit melalui analisis respons dinamik.

Tabel 2.43 Simpangan Antar Tingkat Gempa Arah X dan Y

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic drift		Drift Limit (mm)	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
5	5.732	6.453	1.182	1.386	4200	5.910	6.930	64.615	OK
4	4.55	5.067	1.301	1.461	4200	6.505	7.305	64.615	OK
3	3.249	3.606	1.314	1.508	4200	6.570	7.540	64.615	OK
2	1.935	2.098	1.229	1.357	4200	6.145	6.785	64.615	OK
1	0.706	0.741	0.706	0.741	4200	3.530	3.705	64.615	OK



Gambar 2.33 Simpangan Antar Tingkat

2.13 Perencanaan Balok Anak

Balok anak berfungsi menyalurkan beban dari lantai atau pelat yang didukungnya ke balok induk, yang kemudian meneruskan beban tersebut ke kolom. Perencanaan penulangan balok anak diuraikan sebagai berikut :

2.13.1 Properti Material dan Penampang

Berikut merupakan properti material dan penampang dari Balok Anak dimensi 200 x 400 mm :

1. Panjang Balok, L = 6000
2. Lebar Balok, b = 200
3. Tinggi Balok, h = 400
4. Panjang Tumpuan = $2 \times h = 2 \times 400 = 800$
5. Diameter Tulangan Longitudinal, $d_b = 16$
6. Diameter Tulangan Pinggang, $d_{bt} = 10$
7. Diameter Tulangan Sengkang, $d_s = 10$
8. Selimut Bersih, $c_c = 40$
9. Tinggi Efektif Balok, $d = h - c_c - d_s - d_b/2 = 342$
10. Kuat Tekan Beton, $f_c' = 25$
11. Kuat Leleh Tul. Longitudinal, $f_y = 420$
12. Kuat Leleh Tul. Transversal, $f_{yv} = 280$
13. $\beta_1 = 0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7$
 $\leq 0.85 = 0.8500$
14. Panjang Kolom, $c_1 = 700$ (sisi tegak lurus lebar balok)
15. Lebar Kolom, $c_2 = 700$
16. $L_n = L - C_1 = 6000 - 700 = 5300$
17. $\Lambda = 1$ (Asumsi tidak menggunakan beton ringan)

2.13.2 Desain Lentur Balok Anak

1. Gaya dalam

- a. $M_{u,tumpuan (-)} = -88.8474$ (Input dari ETABS)
- b. $M_{u,tumpuan (+)} = 44.5351$ (Input dari ETABS)
- c. $M_{u,lapangan (-)} = -15.7745$ (Input dari ETABS)
- d. $M_{u,lapangan (+)} = 75.7094$ (Input dari ETABS)

2. Penulangan lentur

a. Tumpuan negatif

- 1) n = 5
- 2) d_b = 16
- 3) Jarak Bersih Antar Tulangan = 5.00
- 4) Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm
(TIDAK)
- 5) Jumlah Lapis = 2
- 6) As Pasang = $n \cdot \pi/4 \cdot d_b^2 = 1005.310 \text{ mm}^2$
- 7) As min,1 = $(f_c')^{0.5} / (4 \cdot f_y) \cdot b \cdot d = 203.571 \text{ mm}^2$
- 8) As min,2 = $1.4 / (4 \cdot f_y) \cdot b \cdot d = 228.000 \text{ mm}^2$
- 9) Cek As min = As Pasang $\geq$ As min (OK)
- 10) a = $As \cdot f_y / (0.85 \cdot f_c' \cdot b) = 99.348 \text{ mm}$
- 11) M_n = $As \cdot f_y \cdot (d - a/2) = 123.429 \text{ kN/m}$
- 12) C = $a / \beta_1 = 116.880 \text{ mm}$
- 13) ϵ_s = $(d - c) / c \cdot 0.003 = 0.006$
- 14) ϕ = $0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \cdot 0.25 \leq 0.9 = 0.900$
- 15) ϕM_n = $\phi \cdot M_n = 111.086 \text{ kN/m}$
- 16) M_u , tumpuan (-) = 88.847 kN/m (Input dari ETABS)
- 17) Cek Kapasitas = $\phi M_n > M_u$ (OK)
- 18) As Perlu = $M_u / [f_y \cdot (d - a/2)] = 723.649 \text{ mm}^2$

b. Tumpuan Positif

- 1) n = 3 mm
- 2) d_b = 16 mm
- 3) Jarak Bersih Antar Tulangan = 26.000 mm
- 4) Cek Jarak Bersih = Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)
- 5) Jumlah Lapis = 1
- 6) As Pasang = 603.186 mm²

- 7) $A_{s \min,1}$ = 203.571 mm²
 8) $A_{s \min,2}$ = 228.000 mm²
 9) $A_{s \min,3}$ = 335.103 mm²
 10) Cek $A_s \min$ = $A_s \text{ Pasang} \geq A_s \min$ (OK)
 11) a = $A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 59.609 \text{ mm}$
 12) M_n = $A_s * f_y * (d - a/2) = 79.091 \text{ kN/m}$
 13) c = $a / \beta_1 = 70.128 \text{ mm}$
 14) ϵ_s = $(d - c) / c * 0.003 = 0.012$
 15) ϕ = $0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 = 0.900$
 16) ϕM_n = $\phi * M_n = 71.182 \text{ kN/m}$
 17) M_u = 44.535 kN/m
 18) Cek $\phi M_n > M_u$ = $\phi M_n > M_u = \text{OK}$
 19) $A_s \text{ Perlu}$ = $M_u / [f_y * (d - a/2)] = 339.646 \text{ mm}^2$

c. Lapangan negatif

- 1) n = 3 mm
 2) d_b = 16 mm
 3) Jarak Bersih Antar Tulangan = $(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1) = 26.000 \text{ mm}$
 4) Cek Jarak Bersih = Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)
 5) Jumlah Lapis = 1
 6) $A_s \text{ Pasang}$ = $n * \pi/4 * d_b^2 = 603.186 \text{ mm}^2$
 7) $A_{s \min,1}$ = $(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 203.571 \text{ mm}^2$
 8) $A_{s \min,2}$ = $1.4 / (4 * f_y) * b * d = 228.000 \text{ mm}^2$
 9) $A_{s \min,3}$ = $1/5 * A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 201.062 \text{ mm}^2$
 10) Cek $A_s \min$ = $A_s \text{ Pasang} \geq A_s \min = \text{OK}$
 11) a = $A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 59.609 \text{ mm}$
 12) M_n = $A_s * f_y * (d - a/2) = 79.091 \text{ kN/m}$
 13) c = $a / \beta_1 = 70.128 \text{ mm}$
 14) ϵ_s = $(d - c) / c * 0.003 = 0.012$

- 15) ϕ $= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 = 0.900$
- 16) ϕM_n $= \phi * M_n = 71.182 \text{ kN/m}$
- 17) M_u $= 15.775 \text{ kN/m}$
- 18) Cek $\phi M_n > M_u$ $= \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$
- 19) As Perlu $= M_u / [f_y * (d - a/2)] = 120.304 \text{ mm}^2$

d. Lapangan positif

- 1) n $= 5 \text{ mm}$
- 2) d_b $= 16 \text{ mm}$
- 3) Jarak Bersih Antar Tulangan $= 5.000$
- 4) Cek Jarak Bersih $= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (TIDAK)}$
- 5) Jumlah Lapis $= 2$
- 6) As Pasang $= n * \pi/4 * d_b^2 = 1005.310 \text{ mm}^2$
- 7) As min,1 $= (f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 203.571 \text{ mm}^2$
- 8) As min,2 $= 1.4 / (4 * f_y) * b * d = 228.000 \text{ mm}^2$
- 9) As min,3 $= 1/5 * \text{As Tumpuan Negatif} = 201.062 \text{ mm}^2$
- 10) Cek As min $= \text{As Pasang} \geq \text{As min (OK)}$
- 11) a $= \text{As} * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 99.348 \text{ mm}$
- 12) M_n $= \text{As} * f_y * (d - a/2) = 123.429 \text{ kN/m}$
- 13) c $= a / \beta_1 = 116.880 \text{ mm}$
- 14) ϵ_s $= (d - c) / c * 0.003 = 0.006$
- 15) ϕ $= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 = 0.900$
- 16) ϕM_n $= \phi * M_n = 111.086 \text{ kN/m}$
- 17) M_u $= 75.709 \text{ kN/m}$
- 18) Cek $\phi M_n > M_u$ $= \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$
- 19) As Perlu $= M_u / [f_y * (d - a/2)] = 616.642 \text{ mm}^2$

2.13.3 Desain Geser Balok Anak

1. Gaya dalam

- a. $V_{u,tumpuan} = 104.5616 \text{ kN}$ (Input load case gempa *2)
- b. $V_{u,lapangan} = 50.9141 \text{ kN}$ (Input dari ETABS)

2. Tumpuan

a. Gaya desain

- 1) $V_{g,tumpuan} = 94.015 \text{ kN}$ (Input [Kombinasi 1.2 D + L])
- 2) $M_{n+} \text{ Tumpuan} = 7909100 \text{ Nmm}$
- 3) $M_{n-} \text{ Tumpuan} = 123428770$
- 4) $V_{sway} = (M_{n+} + M_{n-}) / L_n = 37160 \text{ N}$
- 5) $V_e = V_g + V_{sway} = 131175 \text{ N}$

b. Penulangan geser

- 1) Jumlah Kaki = 2
- 2) $A_v = n * \pi / 4 * d_s^2 = 157.080 \text{ mm}^2$
- 3) Spasi = 90 mm
- 4) Spasi Max 1 = $d/4 = 90.00 \text{ mm}$
- 5) Spasi Max 2 = $8 d_b = 128.000 \text{ mm}$
- 6) Spasi Max 3 = 300 mm
- 7) Cek Spasi = OK
- 8) $V_s = A_v * f_{yv} * d / s = 167133 \text{ N}$
- 9) Batas $V_s = 0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d = 225720 \text{ N}$
- 10) $V_c = 0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d = 58140 \text{ N}$
- 11) $\phi = 0.75$
- 12) $V_n = V_c + V_s = 225273 \text{ N}$
- 13) $V_u = 130837$
- 14) $\phi V_n / V_u = 1.291$
- 15) Cek Kapasitas = $\phi V_n / V_u \geq 1$ (OK)

3. Lapangan

a. Penulangan geser

- 1) Jumlah Kaki = 2
- 2) $A_v = n * \pi / 4 * d_s^2 = 157.080 \text{ mm}^2$
- 3) Spasi = 150
- 4) Spasi Max = $d/2 = 171.00 \text{ mm}$
- 5) Cek Spasi = OK
- 6) $V_s = A_v * f_{yv} * d / s = 100280 \text{ N}$
- 7) Batas $V_s = 0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d = 225720 \text{ N}$
- 8) $V_c = 0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d = 58140 \text{ N}$
- 9) $\Phi = 0.75$
- 10) $V_n = V_c + V_s = 158420$
- 11) $V_u = 50914.1 \text{ N}$
- 12) $\phi V_n / V_u = 2.334$
- 13) Cek Kapasitas = $\phi V_n / V_u \geq 1 \text{ (OK)}$

2.13.4 Desain Torsi Balok Anak

1. Parameter geometri penampang untuk perhitungan torsi

- a. $A_{cp} = b * h = 80000 \text{ mm}^2$
- b. $P_{cp} = 2 * (b + h) = 1200 \text{ mm}$
- c. $x_o = b - 2c_c - d_s = 110 \text{ mm}$
- d. $y_o = h - 2c_c - d_s = 310 \text{ mm}$
- e. $A_{oh} = x_o * y_o = 34100 \text{ mm}^2$
- f. $A_o = 0.85 A_{oh} = 28985 \text{ mm}^2$
- g. $Ph = 2 * (x_o + y_o) = 840 \text{ mm}$

2. Gaya dalam

$$T_u = 0.4921 \text{ kN/m}$$

3. Pengecekan kebutuhan tulangan torsi

$$a. T_{cr} = 0.33 * (f_c')^{0.5} * A_{cp}^2 / P_{cp} = 8800000 \text{ N/mm}$$

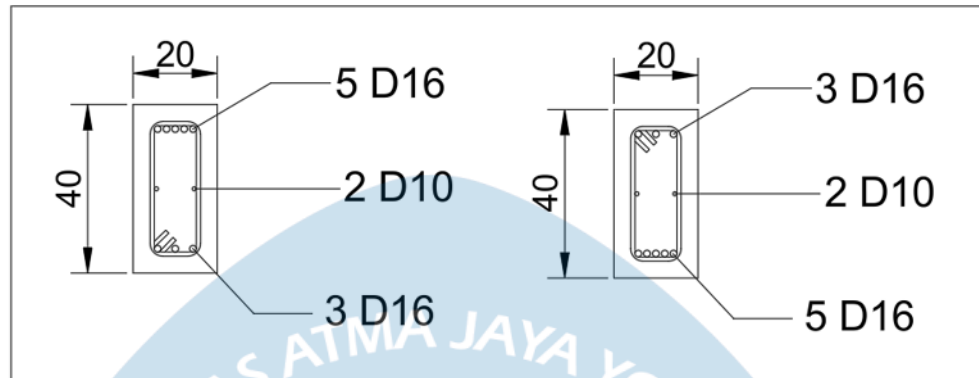
- b. Φ = 0.75
- c. $\phi T_{cr} / 4$ = 1650000 N/mm
- d. Perlu Tulangan Torsi = $T_u > \phi T_{cr} / 4$ (TIDAK)

2.13.5 Rekap Balok Anak

Rekap balok anak dimensi 200 x 400 mm dilakukan setelah melakukan perhitungan desain lentur, desain geser, dan desain torsi. Hasil rekap balok anak diuraikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.44 Rekap Balok Anak Dimensi 200 x 400 mm

Kesimpulan	
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D16
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	3 D16
Longitudinal Lapangan Atas	3 D16
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	5 D16
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-90
Sengkang Lapangan	2D10-150



Gambar 2.34. Sketsa Penulangan Balok Anak Dimensi 200 x 400 mm

2.14 Perencanaan Balok Induk

Balok merupakan komponen dari struktur rangkai pemikul momen yang menyalurkan beban dari pelat ke kolom. Berikut diambil salah satu balok induk untuk dilakukan perhitungan dengan parameter desain serta gaya dalam, yaitu balok induk I dengan dimensi 350 x 600 mm.

2.14.1 Properti Material dan Penampang

Berikut merupakan properti material dan penampang dari Balok Induk I dimensi 350 x 600 mm :

1. Panjang Balok, L = 6000
2. Lebar Balok, b = 350
3. Tinggi Balok, h = 600
4. Panjang Tumpuan = $2 \cdot h = 2 \times 600 = 1200$
5. Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 19
6. Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt} = 10
7. Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 10
8. Selimut Bersih, c_c = 40
9. Tinggi Efektif Balok, d = $h - c_c - d_s - d_b/2 = 540.5$
10. Kuat Tekan Beton, f_c' = 25
11. Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y = 420

12. Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 280
13. β_1 = $0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7$
 $\leq 0.85 = 0.8500$
14. Panjang Kolom, c_1 = 700 (sisi tegak lurus lebar balok)
15. Lebar Kolom, c_2 = 700 (sisi yang ditempel balok)
16. L_n = $L - C_1 = 5300$
17. Λ = 1 (Asumsi tidak menggunakan beton ringan)

2.14.2 Desain Lentur Balok Induk

1. Gaya dalam

- a. $M_{u,tumpuan (-)}$ = -368.407 (Input dari ETABS)
- b. $M_{u,tumpuan (+)}$ = 268.2787 (Input dari ETABS)
- c. $M_{u,lapangan (-)}$ = -179.593 (Input dari ETABS)
- d. $M_{u,lapangan (+)}$ = 293.5997 (Input dari ETABS)

2. Penulangan lentur

a. Tumpuan negatif

- 1) n = 8
- 2) d_b = 19
- 3) Jarak Bersih Antar Tulangan = 14.00
- 4) Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm
(TIDAK)
- 5) Jumlah Lapis = 2
- 6) A_s Pasang = $n * \pi / 4 * d_b^2 = 2268.230 \text{ mm}^2$
- 7) $A_{s \text{ min},1}$ = $(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 563.021 \text{ mm}^2$
- 8) $A_{s \text{ min},2}$ = $1.4 / (4 * f_y) * b * d = 630.583 \text{ mm}^2$
- 9) Cek $A_s \text{ min}$ = $A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min (OK)}$
- 10) a = $A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 128.088 \text{ mm}$
- 11) M_n = $A_s * f_y * (d - a/2) = 453.899 \text{ kN/m}$

- 12) C $= a / \beta_1 = 150.692 \text{ mm}$
 13) ϵ_s $= (d - c) / c * 0.003 = 0.008$
 14) ϕ $= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 *$
 $0.25 \leq 0.9 = 0.900$
 15) ϕM_n $= \phi * M_n = 408.509 \text{ kN/m}$
 16) $M_u, \text{tumpuan (-)}$ $= 368.407 \text{ kN/m}$
 17) Cek Kapasitas $= \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$
 18) As Perlu $= M_u / [f_y * (d - a/2)] = 1841.010 \text{ mm}^2$

b. Tumpuan Positif

- 1) n $= 6 \text{ mm}$
 2) d_b $= 19 \text{ mm}$
 3) Jarak Bersih Antar Tulangan $= 27.200 \text{ mm}$
 4) Cek Jarak Bersih $= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (IYA)}$
 5) Jumlah Lapis $= 1$
 6) As Pasang $= 1701.172 \text{ mm}^2$
 7) As min,1 $= 563.021 \text{ mm}^2$
 8) As min,2 $= 630.583 \text{ mm}^2$
 9) As min,3 $= 756.077 \text{ mm}^2$
 10) Cek As min $= \text{As Pasang} \geq \text{As min (OK)}$
 11) a $= \text{As} * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 96.066 \text{ mm}$
 12) M_n $= \text{As} * f_y * (d - a/2) = 351.864 \text{ kN/m}$
 13) c $= a / \beta_1 = 113.019 \text{ mm}$
 14) ϵ_s $= (d - c) / c * 0.003 = 0.011$
 15) ϕ $= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 *$
 $0.25 \leq 0.9 = 0.900$
 16) ϕM_n $= \phi * M_n = 316.677 \text{ kN/m}$
 17) M_u $= 268.279 \text{ kN/m}$
 18) Cek $\phi M_n > M_u$ $= \phi M_n > M_u = \text{OK}$

$$19) \text{ As Perlu} = Mu / [fy * (d - a/2)] = 1297.059 \text{ mm}^2$$

c. Lapangan negatif

$$\begin{aligned}
 1) \text{ n} &= 6 \text{ mm} \\
 2) \text{ db} &= 19 \text{ mm} \\
 3) \text{ Jarak Bersih Antar Tulangan} &= (b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1) = 27.200 \text{ mm} \\
 4) \text{ Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (IYA)} \\
 5) \text{ Jumlah Lapis} &= 1 \\
 6) \text{ As Pasang} &= n * \pi / 4 * d_b^2 = 1701.172 \text{ mm}^2 \\
 7) \text{ As min,1} &= (f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 563.021 \text{ mm}^2 \\
 8) \text{ As min,2} &= 1.4 / (4 * f_y) * b * d = 630.583 \text{ mm}^2 \\
 9) \text{ As min,3} &= 1/5 * \text{As Tumpuan Negatif} = 453.646 \text{ mm}^2 \\
 10) \text{ Cek As min} &= \text{As Pasang} \geq \text{As min} = \text{OK} \\
 11) \text{ a} &= As * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 96.066 \text{ mm} \\
 12) \text{ Mn} &= As * f_y * (d - a/2) = 351.864 \text{ kN/m} \\
 13) \text{ c} &= a / \beta_1 = 113.019 \text{ mm} \\
 14) \epsilon_s &= (d - c) / c * 0.003 = 0.011 \\
 15) \phi &= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * \\
 &\quad 0.25 \leq 0.9 = 0.900 \\
 16) \phi Mn &= \phi * Mn = 316.677 \text{ kN/m} \\
 17) \text{ Mu} &= 179.593 \text{ kN/m} \\
 18) \text{ Cek } \phi Mn > \text{Mu} &= \phi Mn > Mu \text{ (OK)} \\
 19) \text{ As Perlu} &= Mu / [fy * (d - a/2)] = 862.286 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

d. Lapangan positif

$$\begin{aligned}
 1) \text{ n} &= 8 \text{ mm} \\
 2) \text{ db} &= 19 \text{ mm} \\
 3) \text{ Jarak Bersih Antar Tulangan} &= 14.000 \\
 4) \text{ Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (TIDAK)} \\
 5) \text{ Jumlah Lapis} &= 2 \\
 6) \text{ As Pasang} &= n * \pi / 4 * d_b^2 = 2268.230 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

7) $A_{s \min,1}$	$= (f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 563.021 \text{ mm}^2$
8) $A_{s \min,2}$	$= 1.4 / (4 * f_y) * b * d = 630.583 \text{ mm}^2$
9) $A_{s \min,3}$	$= 1/5 * A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 453.646 \text{ mm}^2$
10) Cek $A_s \min$	$= A_s \text{ Pasang} \geq A_s \min \text{ (OK)}$
11) a	$= A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 128.088 \text{ mm}$
12) M_n	$= A_s * f_y * (d - a/2) = 453.899 \text{ kN/m}$
13) c	$= a / \beta_1 = 150.692 \text{ mm}$
14) ϵ_s	$= (d - c) / c * 0.003 = 0.008$
15) ϕ	$= 0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 *$ $0.25 \leq 0.9 = 0.900$
16) ϕM_n	$= \phi * M_n = 408.509 \text{ kN/m}$
17) M_u	$= 293.600 \text{ kN/m}$
18) Cek $\phi M_n > M_u$	$= \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$
19) $A_s \text{ Perlu}$	$= M_u / [f_y * (d - a/2)] = 1467.181 \text{ mm}^2$

2.14.3 Desain Geser Balok Induk

1. Gaya dalam

c. $V_{u,\text{tumpuan}} = 223.0976 \text{ kN}$
d. $V_{u,\text{lapangan}} = 203.4681 \text{ kN}$

2. Tumpuan

a. Gaya desain

1) $V_{g,\text{tumpuan}} = 295.3149 \text{ kN}$
2) $M_n^+ \text{ Tumpuan} = 351863863 \text{ Nmm}$
3) $M_n^- \text{ Tumpuan} = 453898800 \text{ Nmm}$
4) $V_{\text{sway}} = (M_n^+ + M_n^-) / L_n = 152031 \text{ N}$
5) $V_e = V_g + V_{\text{sway}} = 447346 \text{ N}$

b. Penulangan geser

1) Jumlah Kaki = 4

- 2) $A_v = n * \pi / 4 * d_s^2 = 314.159 \text{ mm}^2$
- 3) Spasi = 100 mm
- 4) Spasi Max 1 = $d/4 = 135.13 \text{ mm}$
- 5) Spasi Max 2 = $8 d_b = 152.00 \text{ mm}$
- 6) Spasi Max 3 = 300 mm
- 7) Cek Spasi = OK
- 8) $V_s = A_v * f_{yv} * d / s = 475449 \text{ N}$
- 9) Batas $V_s = 0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d = 624278 \text{ N}$
- 10) $V_c = 0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d = 160799 \text{ N}$
- 11) $\phi = 0.75$
- 12) $V_n = V_c + V_s = 636247 \text{ N}$
- 13) $V_u = 447346$
- 14) $\phi V_n / V_u = 1.067$
- 15) Cek Kapasitas = $\phi V_n / V_u \geq 1 \text{ (OK)}$

4. Lapangan

a. Penulangan geser

- 1) Jumlah Kaki = 2
- 2) $A_v = n * \pi / 4 * d_s^2 = 157.080 \text{ mm}^2$
- 3) Spasi = 150
- 4) Spasi Max = $d/2 = 270.25 \text{ mm}$
- 5) Cek Spasi = OK
- 6) $V_s = A_v * f_{yv} * d / s = 158483 \text{ N}$
- 7) Batas $V_s = 0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d = 624278 \text{ N}$
- 8) $V_c = 0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d = 160799 \text{ N}$
- 9) $\Phi = 0.75$
- 10) $V_n = V_c + V_s = 319282$
- 11) $V_u = 203468.1 \text{ N}$
- 12) $\phi V_n / V_u = 1.177$

$$13) \text{ Cek Kapasitas} = \phi V_n / V_u \geq 1 \text{ (OK)}$$

2.14.4 Desain Torsi Balok Induk

1. Parameter geometri penampang untuk perhitungan torsi

- a. $A_{cp} = b * h = 210000 \text{ mm}^2$
- b. $P_{cp} = 2 * (b + h) = 1900 \text{ mm}$
- c. $x_o = b - 2c_c - d_s = 260 \text{ mm}$
- d. $y_o = h - 2c_c - d_s = 510 \text{ mm}$
- e. $A_{oh} = x_o * y_o = 132600 \text{ mm}^2$
- f. $A_o = 0.85 A_{oh} = 112710 \text{ mm}^2$
- g. $Ph = 2 * (x_o + y_o) = 1540 \text{ mm}$

2. Gaya dalam

$$T_u = 4.9469 \text{ kN/m}$$

3. Pengecekan kebutuhan tulangan torsi

- e. $T_{cr} = 0.33 * (f'_c)^{0.5} * A_{cp}^2 / P_{cp} = 38297268 \text{ N/mm}$
- f. $\Phi = 0.75$
- g. $\phi T_{cr} / 4 = 7180757 \text{ N/mm}$
- h. $\text{Perlu Tulangan Torsi} = T_u > \phi T_{cr} / 4 \text{ (TIDAK)}$

2.14.4 Rekap Balok Induk

Rekap balok induk dilakukan setelah melakukan perhitungan desain lentur, desain geser, dan desain torsi. Hasil rekap balok induk diuraikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.45 Rekap Balok Induk 1 Dimensi 350 x 600 mm

Kesimpulan	
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK

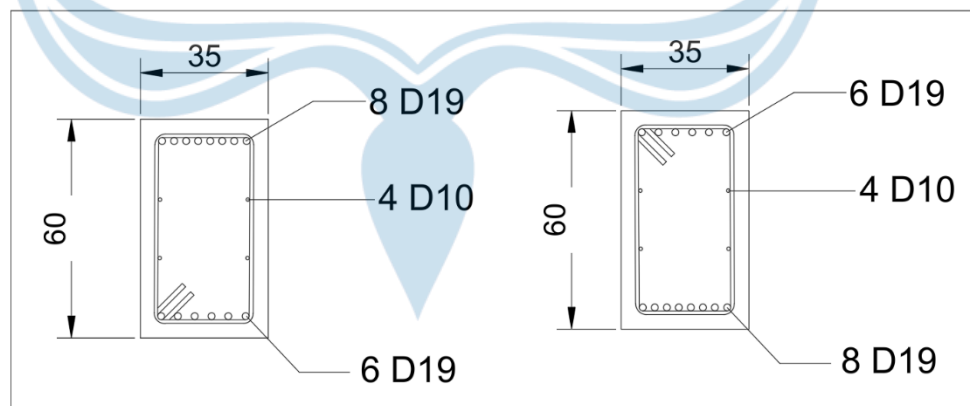
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	8 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	6 D19
Longitudinal Lapangan Atas	6 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	8 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	4D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-150

Tabel 2.46 Rekap Balok Induk 2 Dimensi 350 x 700 mm

Kesimpulan	
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	8 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	5 D19
Longitudinal Lapangan Atas	5 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	8 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	3D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-150

Tabel 2.47 Rekap Balok Induk 3 Dimensi 300 x 500 mm

Kesimpulan	
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	6 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	4 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	6 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-150



Gambar 2.35 Sketsa Penulangan Balok Induk I Dimensi 350 x 600 mm

2.15 Perencanaan Kolom

Elemen kolom merupakan elemen vertikal yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial. Berikut diambil salah satu kolom untuk dilakukan perhitungan

dengan parameter desain serta gaya dalam, yaitu Kolom 1 Dimensi 700 x 700.

2.15.1 Properti Material dan Penampang

Berikut merupakan properti material dan penampang dari Kolom 1 dimensi 700 x 700 mm :

1. Panjang/Tinggi Kolom, L = 4200
2. Sisi Pendek Kolom, b = 700
3. Sisi Panjang Kolom, h = 700
4. Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 22
5. Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 13
6. Selimut Bersih, cc = 40
7. Kuat Tekan Beton, f_c' = 25
8. Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y = 420
9. Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 420
10. Tinggi Balok, hb = 700
11. L_n = $L - hb = 4200 - 700 = 3500$

2.15.2 Desain longitudinal

1. Syarat gaya dan geometri :

- a. Syarat Gaya Aksial = $P_u > 0.1 A_g f_c' ? = \text{OK}$
- b. Syarat Sisi Terpendek = $b \geq 300 \text{ mm} ? = \text{OK}$
- c. Syarat Rasio Dimensi Penampang = $b/h \geq 0.4 ? = \text{OK}$

2. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur

- a. Jumlah Tulangan, n = 20
- b. Luas Tulangan Longitudinal, A_s = $n * \pi/4 * d_b^2 = 7602,7 \text{ mm}^2$
- c. Rasio Tulangan, ρ = $A_s / (b * h) = 1,55\%$
- d. Cek ρ_{min} dan ρ_{max} = $1\% \leq \rho \leq 6\% = \text{OK}$

3. Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)

- a. Momen Nominal Kolom, M_{nc} = Input (M_n dari kondisi P_{max} dan P_{min}) = 1370,229 kN/m

- b. M_n - Tumpuan Balok = 549,164 kN/m (Input dari SP Column)
- c. M_n^+ Tumpuan Balok = 357,527 kN/m (Input dari SP Column)
- d. Cek SCWB = $2 * M_{nc} \geq 1.2 * (M_n^- + M_n^+) = OK$

2.15.3 Desain Transversal

1. Panjang zona sendi plastis

- a. $l_{o1} = 5700$
- b. $l_{o2} = L_n / 6 = 3500/6 = 585.3$
- c. $l_{o3} = 450 \text{ mm}$
- d. $l_o = \text{Max} (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3}) = 700$

2. Tulangan transversal zona sendi plastis/tumpuan

- a. Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1 = 3$
- b. Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2 = 3$
- c. Spasi, $s = 100$
- d. Spasi Kaki Terbesar, $x_i \text{ max} = 300$
- e. $A_{sh1} = n * \pi/4 * d_s^2 = 398.197 \text{ mm}^2$
- f. $A_{sh2} = n * \pi/4 * d_s^2 = 398.197 \text{ mm}^2$
- g. $A_{sh} / s, 1 = 398.197/100 = 3.982$
- h. $A_{sh} / s, 2 = 398.197/100 = 3.982$

3. Confinement/kekangan zona sendi plastis

Lebar Penampang Inti Beton, $b_c = b - 2c_c = 620$

Panjang Penampang Inti Beton, $h_c = h - 2c_c = 620$

Luas Penampang Kolom, $A_g = b * h = 490000 \text{ mm}^2$

Luas Penampang Inti Beton, $A_{ch} = b_c * h_c = 384400 \text{ mm}^2$

a. Sisi pendek/sumbu lemah

1) $A_{sh}/s \text{ min}, 1 = 0.3 (b_c * f'_c / f_{yv}) * (A_g / A_{ch} - 1) = 3,041 \text{ mm}^2$

2) $A_{sh}/s \text{ min}, 2 = 0.09 * b_c * f'_c / f_{yv} = 3.321 \text{ mm}^2$

3) Cek $A_{sh}/s \text{ 1} = A_{sh}/s \text{ 1} \geq A_{sh}/s \text{ min} ? = OK$

b. Sisi panjang/sumbu kuat

$$1) A_{sh/s \text{ min}, 1} = 0.3 (h_c * f_c' / f_{yv}) * (A_g / A_{ch} - 1) = 3.041 \text{ mm}^2$$

$$2) A_{sh/s \text{ min}, 2} = 0.09 * h_c * f_c' / f_{yv} = 3.321 \text{ mm}^2$$

$$3) \text{Cek } A_{sh/s \text{ 2}} = A_{sh/s \text{ 2}} \geq A_{sh/s \text{ min}} ? = \text{OK}$$

c. Cek spasi

$$1) s_{max,1} = b / 2 = 700/2 = 350 \text{ mm}$$

$$2) s_{max,2} = 8 * d_b = 176 \text{ mm}$$

$$3) h_x = x_{i \text{ max}} = 300 \text{ mm}$$

$$4) s_{max,3} = s_o = \min (b/2; 8d_b; 24 d_s; 300 \text{ mm}) = 176 \text{ mm}$$

$$5) s_{max} = \min (s_{max,1}, s_{max,2}, s_{max,3}) = 176,000 \text{ mm}$$

$$6) \text{Cek Spasi} = \text{OK}$$

4. Kuat geser zona sendi plastis

a. Gaya geser desain

$$1) M_{pr} \text{ Kolom} = 1504,826 \text{ kN/m}$$

$$2) V_u \text{ 1} = 2 * M_{pr} \text{ Kolom} / L_n = 859900 \text{ N}$$

b. Gaya geser hasil analisis struktur

$$1) V_u \text{ 2, Sumbu Lemah} = 114079 \text{ N}$$

$$2) V_u \text{ 2, Sumbu Kuat} = 132439 \text{ N}$$

c. Tahanan geser beton sumbu lemah

$$1) V_u = \max (V_{u1}, V_{u2}) = 859900 \text{ N}$$

$$2) \phi = 0,75$$

$$3) V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 \\ = 378617 \text{ N}$$

$$4) V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c = 767917 \text{ N}$$

$$5) A_{s/s} \text{ Perlu} = V_s / (f_{yv} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 2,8478$$

$$6) A_{s/s} \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} h / f_{yv} = 0,5167$$

$$7) A_{s/s} \text{ Min 2} = 0.35 h / f_{yv} = 0,5833$$

$$8) \text{Cek } A_{s/s} = A_{sh/s \text{ 1}} \geq \max (A_{s/s} \text{ Perlu}, A_{s/s} \text{ Min}) ? = \text{OK}$$

d. Tahanan geser beton sumbu kuat

- 1) $V_u = 859900 \text{ N}$
- 2) $\Phi = 0,75$
- 3) $V_c = 0.17 (1 + N_u/(14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2$
 $= 378617$
- 4) $V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c = 767917 \text{ N}$
- 5) $A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_{yv} * d)$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2 = 2,8748$
- 6) $A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yv} = 0,5167$
- 7) $A_s/s \text{ Min 2} = 0.35 b / f_{yv} = 0,5833$
- 8) $\text{Cek } A_s/s = A_{sh}/s \geq \text{Max } (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) ? = \text{OK}$

5. Tulang transversal luar zona sendi plastis/tumpuan

- a. Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1 = 2$
- b. Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2 = 2$
- c. Spasi, $s = 150 \text{ mm}$
- d. $A_v \text{ Sumbu Lemah} = n * \pi/4 * d_s^2 = 265,465 \text{ mm}^2$
- e. $A_v \text{ Sumbu Kuat} = n * \pi/4 * d_s^2 = 265,465 \text{ mm}^2$

6. Confinement/kekangan luar zona sendi plastis

- a. $\text{Spasi max 1} = d/4 = 175,0$
- b. $\text{Spasi max 2} = 300 \text{ mm}$
- c. $\text{Cek Spasi} = \text{OK}$

7. Kuat geser luar zona sendi plastis

- a. Tahanan geser beton sumbu lemah
 - 1) $V_u = 114079 \text{ N}$
 - 2) $\phi = 0,75$
 - 3) $V_c = 378617 \text{ N}$
 - 4) $V_s \text{ Perlu} = \text{Max } (V_u/\phi - V_c; 0) = 0$
 - 5) $A_v/s \text{ Perlu} = V_s / (f_{yv} * d)$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 0$
 - 6) $A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yv} = 0$
 - 7) $A_s/s \text{ Min 2} = 0.35 b / f_{yv} = 0$
 - 8) $\text{Cek } A_s/s = A_v/s \geq A_v/s \text{ Perlu} ? = 0$

b. Tahanan geser beton sumbu kuat

1) $V_u = 132439 \text{ N}$

2) $\phi = 0,75$

3) $V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2$
 $= 378617 \text{ N}$

4) $V_s \text{ Perlu} = \text{Max} (V_u / \phi - V_c; 0) = 0$

5) $A_v / s \text{ Perlu} = V_s / (f_{yv} * d)$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2 = 0$

6) $A_s / s \text{ Min 1} = 0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yv} = 0$

7) $A_s / s \text{ Min 2} = 0.35 b / f_{yv} = 0$

8) Cek $A_s / s = A_v / s \geq A_v / s \text{ Perlu} ? = \text{OK}$

2.15.4 Rekap Kolom

Rekap kolom dilakukan setelah perencanaan tulangan selesai dilakukan. Berikut rekap kolom Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah :

Tabel 2.48 Rekap Kolom 1 Dimensi 700 x 700

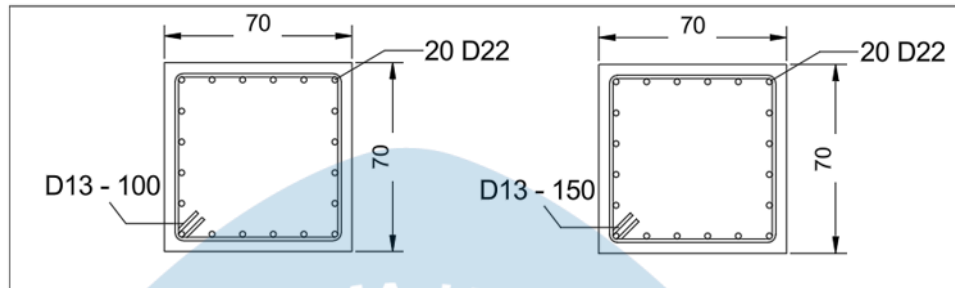
Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	20-D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	3D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-150
Sumbu Kuat	2D13-150

Tabel 2.49 Rekap Kolom 2 Dimensi 650 x 650

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16-D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	3D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-150
Sumbu Kuat	2D13-150

Tabel 2.50 Rekap Kolom 3 Dimensi 400 x 400

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16-D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	3D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-100
Sumbu Kuat	2D13-100



Gambar 2.36 Sketsa Penulangan Kolom 1 Dimensi 700 x 700

2.16 Hubungan Balok – Kolom

Hubungan balok dan kolom (HBK) merupakan daerah pertemuan antara elemen struktur balok dan kolom yang berfungsi sebagai komponen struktur yang menahan beban gempa. Perhitungan Hubungan balok dan kolom Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah diuraikan sebagai berikut :

2.16.1 Properti Material dan Penampang

Berikut merupakan properti material dan penampang dari hubungan balok – kolom :

1. Lebar Y Kolom, b = 700 mm
2. Lebar X Kolom, h = 700 mm
3. Panjang Kolom, L = 4200 mm
4. Kuat Tekan Beton, f_c' = 25 MPa
5. Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y = 420 MPa
6. Faktor Beton Ringan, λ = 1
7. Tinggi Balok Terbesar, h_b = 700 mm
8. Panjang Bersih Kolom, L_n = $L - h_b = 4200 - 700 = 3500$

2.16.2 Data Lebar dan Eksentrisitas Balok

1. Lebar Balok 1, bb_1 = 350 mm
2. Lebar Balok 2, bb_2 = 350 mm

3. Lebar Balok 3, bb_3 = 350 mm
4. Lebar Balok 4, bb_4 = 350 mm
5. x_{1a} = $(h-bb_1)/2 = 175$ mm
6. x_{1b} = $(h-bb_1)/2 = 175$ mm
7. Cek Lebar Sisi Kolom 1 = $bb_1+x_{1a}+x_{1b} = 700$ mm
8. x_{2a} = $(h-bb_2)/2 = 175$ mm
9. x_{2b} = $(h-bb_2)/2 = 175$ mm
10. Cek Lebar Sisi Kolom 1 = $bb_2+x_{2a}+x_{2b} = 700$ mm
11. x_{3a} = $(b-bb_3)/2 = 175$ mm
12. x_{3b} = $(b-bb_3)/2 = 175$ mm
13. Cek Lebar Sisi Kolom 1 = $bb_3+x_{3a}+x_{3b} = 700$ mm
14. x_{4a} = $(b-bb_4)/2 = 175$ mm
15. x_{4b} = $(b-bb_4)/2 = 175$ mm
16. Cek Lebar Sisi Kolom 1 = $bb_4+x_{4a}+x_{4b} = 700$ mm

2.16.3 Dimensi Joint

1. x terkecil sisi 1, x_1 = MIN (x_{1a}, x_{1b}) = 175 mm
2. x terkecil sisi 2, x_2 = MIN (x_{2a}, x_{2b}) = 175 mm
3. x terkecil sisi 3, x_3 = MIN (x_{3a}, x_{3b}) = 175 mm
4. x terkecil sisi 4, x_4 = MIN (x_{4a}, x_{4b}) = 175 mm
5. Lebar Joint Sisi 1, b_{j1} = MIN (bb_1+h, bb_1+2*x_1) = 700 mm
6. Lebar Joint Sisi 2, b_{j2} = MIN (bb_2+h, bb_2+2*x_2) = 700 mm
7. Lebar Joint Sisi 3, b_{j3} = MIN (bb_3+h, bb_3+2*x_3) = 700 mm
8. Lebar Joint Sisi 4, b_{j4} = MIN (bb_4+h, bb_4+2*x_4) = 700 mm
9. Lebar Efektif Joint Y, b_j = MIN (b_{j1}, b_{j2}) = 700 m
10. Lebar Efektif Joint X, h_j = MIN (b_{j3}, b_{j4}) = 700 m
11. Luas Efektif Joint Gempa X, A_{jX} = $b_j * h = 490000$ mm²
12. Luas Efektif Joint Gempa Y, A_{jY} = $b * h_j = 490000$ mm²
13. Cek Tinggi Joint = $h_j \geq 1/2 h_b$? = OK

2.16.4 Data dan Gaya Tulangan Balok

1. Diameter Tulangan Utama Balok, db = 19
2. Cek Dimensi Kolom = $b \geq 20 * db$? = OK
3. Tulangan Atas Balok 1, As-1 = 2268,230 mm²
4. Tulangan Bawah Balok 1, As+1 = 1417,644 mm²
5. Tulangan Atas Balok 2, As-2 = 2268,230 mm²
6. Tulangan Bawah Balok 2, As+2 = 1417,644 mm²
7. Tulangan Atas Balok 3, As-3 = 2268,230 mm²
8. Tulangan Bawah Balok 3, As+3 = 1417,644 mm²
9. Tulangan Atas Balok 4, As-4 = 2268,230
10. Tulangan Bawah Balok 4, As+4 = 1417,644 mm²
11. Tegangan Probable Tulangan, f_{pr} = 1.25 * f_y = 525 MPa
12. Gaya Tulangan Atas Balok 1, F_s-1 = A_s * f_{pr} = 1190821 N
13. Gaya Tulangan Bawah Balok 1, F_s+1 = A_s * f_{pr} = 744263 N
14. Gaya Tulangan Atas Balok 2, F_s-2 = A_s * f_{pr} = 1190821 N
15. Gaya Tulangan Bawah Balok 2, F_s+2 = A_s * f_{pr} = 744263 N
16. Gaya Tulangan Atas Balok 3, F_s-3 = A_s * f_{pr} = 1190821 N
17. Gaya Tulangan Bawah Balok 3, F_s+3 = A_s * f_{pr} = 744263 N
18. Gaya Tulangan Atas Balok 4, F_s-4 = A_s * f_{pr} = 1190821 N
19. Gaya Tulangan Bawah Balok 4, F_s+4 = A_s * f_{pr} = 744263 N

2.16.5 Gaya Geser Akibat Balok

1. Geser Ketika Arah Gempa X- = F_s-3 + C4 = F_s-3 + F_s+4 = 1190821 + 744263
= 1935084 N
2. Geser Ketika Arah Gempa X+ = F_s-4 + C3 = F_s-4 + F_s+3 = 1190821 + 744263
= 1935084 N
3. Geser Ketika Arah Gempa Y- = F_s-1 + C2 = F_s-1 + F_s+2 = 1190821 + 744263
= 1935084 N

$$4. \text{ Geser Ketika Arah Gempa } Y+ = F_s^{-2} + C1 = F_s^{-2} + F_s^{+1} = 1190821 + 744263 \\ = 1935084 \text{ N}$$

2.16.6 Gaya Geser Kolom (Beam Hinging)

1. Mpr- Balok 1 = 686455570 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
2. Mpr+ Balok 1 = 446909361 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
3. Mpr- Balok 2 = 686455570 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
4. Mpr+ Balok 2 = 446909361 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
5. Mpr- Balok 3 = 686455570 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
6. Mpr+ Balok 3 = 446909361 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
7. Mpr- Balok 4 = 686455570 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
8. Mpr+ Balok 4 = 446909361 Nmm (Input Excel
Desain Balok)
9. Ve Balok 1 = 425707 N
10. Ve Balok 2 = 425707 N
11. Ve Balok 3 = 425707 N
12. Ve Balok 4 = 425707 N
13. Geser Kolom Ketika Arah Gempa X- = $[(M_{pr}^{+4} + M_{pr}^{-3}) + (V_{e3} + V_{e4}) * h/2] / L_n$
= 408960 N
14. Geser Kolom Ketika Arah Gempa X+ = $[(M_{pr}^{+3} + M_{pr}^{-4}) + (V_{e3} + V_{e4}) * h/2] / L_n$
= 408960 N
15. Geser Kolom Ketika Arah Gempa Y- = $[(M_{pr}^{+2} + M_{pr}^{-1}) + (V_{e1} + V_{e2}) * h/2] / L_n$

$$= 408960 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 16. \text{ Geser Kolom Ketika Arah Gempa Y+} &= [(M_{pr}^+1 + M_{pr}^2) + (V_{e1} + V_{e2}) * h/2] / L_n \\ &= 408960 \text{ N} \end{aligned}$$

2.16.7 Gaya Geser Total Joint

1. Geser Joint Ketika Arah Gempa X- $= F_s + C - V_{col} = 1526124 \text{ N}$
2. Geser Joint Ketika Arah Gempa X+ $= F_s + C - V_{col} = 1526124 \text{ N}$
3. Geser Joint Ketika Arah Gempa Y- $= F_s + C - V_{col} = 1526124 \text{ N}$
4. Geser Joint Ketika Arah Gempa Y+ $= F_s + C - V_{col} = 1526124 \text{ N}$

2.16.8 Kuat Geser Joint

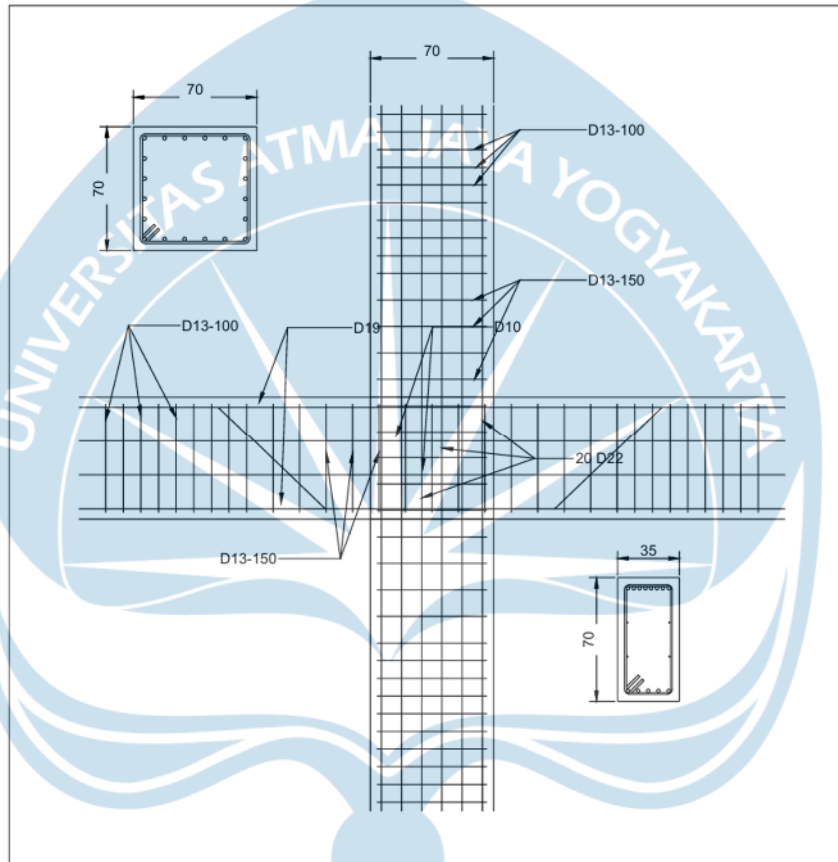
1. Konfigurasi Joint $= 3$
2. Faktor Pengali Kuat Geser, $c = 1$
3. Kuat Geser Nominal Joint Gempa X, $V_{nX} = c * \lambda * \sqrt{f'_c} * A_{jX} = 2450000 \text{ N}$
4. Kuat Geser Nominal Joint Gempa Y, $V_{nY} = c * \lambda * \sqrt{f'_c} * A_{jX} = 2450000 \text{ N}$
5. Faktor Reduksi, $\Phi = 0,85$
6. Kuat Geser Joint Gempa X, $\Phi V_{nX} = \Phi * V_{nX} = 2082500 \text{ N}$
7. Kuat Geser Joint Gempa X, $\Phi V_{nY} = \Phi * V_{nX} = 2082500 \text{ N}$
8. Gaya Geser Joint Gempa X, $V_{uX} = \text{MAX (Geser Joint Gempa X)}$
 $= 1526124 \text{ N}$
9. Gaya Geser Joint Gempa Y, $V_{uY} = \text{MAX (Geser Joint Gempa X)}$
 $= 1526124 \text{ N}$
10. Faktor Keamanan Gempa X, $S_{FX} = \Phi V_{nX} / V_{uX} = 1,365$
11. Faktor Keamanan Gempa Y, $S_{FY} = \Phi V_{nX} / V_{uX} = 1,365$
12. Cek Kuat Geser Joint $= SF \geq 1 ? = \text{OK}$

2.16.9 Tulangan Transversal

Confinement boleh direduksi sebesar 50 %, spasi max 150 mm, maka digunakan tumpuan kolom sebagai tulangan transversal

2.16.10 Panjang Penyaluran Tarik

1. $l_{dh} \text{ hitung} = f_y * d_b / (5.4 * \lambda * \sqrt{f_c'}) = 295,556 \text{ mm}$
2. $l_{dh} \text{ pakai} = \text{MAX}(l_{dh}, 8 d_b, 150) = 295,556 \text{ mm}$



Gambar 2.37 Sketsa Penulangan Hubungan Balok - Kolom