

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

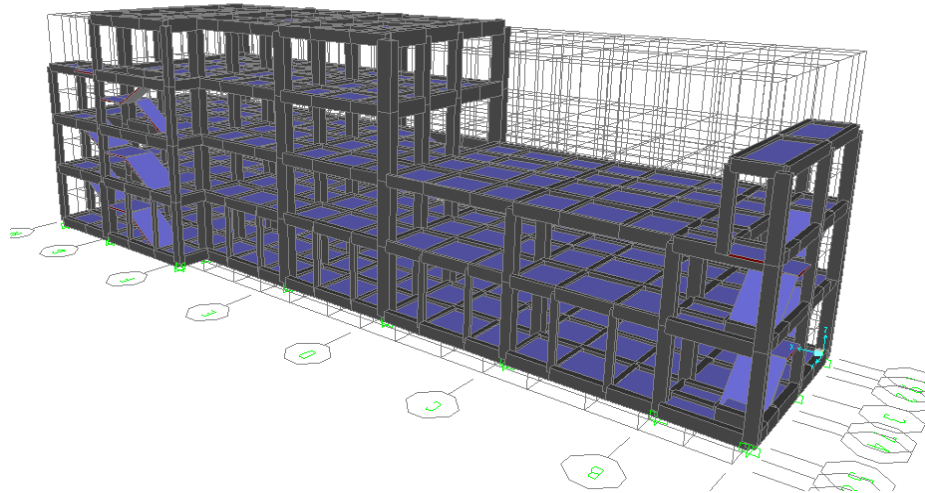
4.1.1. Pemodelan Struktur

Perencanaan sebuah bangunan tahan gempa dapat dilakukan dengan bermacam metode salah satunya yaitu dengan analisis statik. Analisis statik yang dikenal dengan nama statik ekuivalen digunakan pada gedung yang beraturan. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen mengacu pada SNI 03-1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung. Pembebanan yang diberikan meliputi beban mati, beban hidup, beban mati tambahan, serta beban angin yang terdapat pada SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain dan beban gempa statik ekuivalen. Data pemodelan yang digunakan dijelaskan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Informasi pemodelan struktur gedung.

Spesifikasi	Keterangan
Nama Gedung	Gedung Upacara Dan Parkir SMA Muhammadiyah 3 Yogyakarta
Lokasi	Jl. K.P Tendean 58 Yogyakarta
Fungsi Bangunan	Fasilitas Pendidikan (kategori resiko IV)
Jumlah Lantai	3 Lantai dan 1 <i>Basement</i>
Ketinggian Lantai	4 meter
Struktur Bangunan	Beton Bertulang
Mutu Beton ($f'c$)	25 Mpa
Mutu Baja (f_y)	400 Mpa

Komponen utama struktur atas sebuah gedung terdiri balok, kolom, dan pelat lantai. Ketiga komponen tersebut dimodelkan pada *software* SAP2000 versi 14 sesuai dengan data yang telah ada. Pemodelan diawali dengan menggambarkan elemen struktur pada *grid-grid* arah tiga dimensi, sumbu x y, dan z. Pemodelan dilanjutkan dengan memasukan material struktur. Setelah struktur gedung dimodelkan dalam *software* SAP2000 versi 14, model struktur tersebut diberikan beban yang mengacu pada SNI 1727-2013.



Gambar 4.1 Pemodelan 3D pada *software* SAP2000 versi 14

4.1.2. Pembebanan Struktur Portal

a. Data-data :

Berat dinding bata	: 250 kg/m ² (PPURG 1987)
Beban hidup pelat lantai	: 400 kg/m ² (PPURG 1987)
Beban hidup pelat bordes	: 250 kg/m ² (PPURG 1987)
Beban hidup pelat tangga	: 250 kg/m ² (PPURG 1987)
Beban hidup pelat Atap	: 100 kg/m ² (PPURG 1987)

b. Beban mati :

1) Beban mati balok induk :

$$h \text{ balok induk} = 0,7 \text{ m}$$

$$b \text{ balok induk} = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} t' &= t - h \\ &= 4 - 0,7 \\ &= 3,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\ &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,3 \text{ m} \\ &= 825 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2) Beban mati balok sloof :

$$h \text{ sloof} = 0,7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 b \text{ sloof} &= 0,4 \text{ m} \\
 t' &= t - \left(\frac{1}{2} h \text{ induk} + \frac{1}{2} h \text{ sloof}\right) \\
 &= 4 - \left(\frac{1}{2} 0,7 + \frac{1}{2} 0,7\right) \\
 &= 3,3 \text{ m} \\
 \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,3 \text{ m} \\
 &= 825 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

3) Beban mati balok bordes :

$$\begin{aligned}
 h \text{ bordes} &= 0,5 \\
 b \text{ bordes} &= 0,2 \\
 t' &= \frac{1}{2} t - \left(\frac{1}{2} h \text{ induk} + \frac{1}{2} h \text{ bordes}\right) \\
 &= 2 - \left(\frac{1}{2} 0,7 + \frac{1}{2} 0,5\right) \\
 &= 1,4 \text{ m} \\
 \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m} \\
 &= 350 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

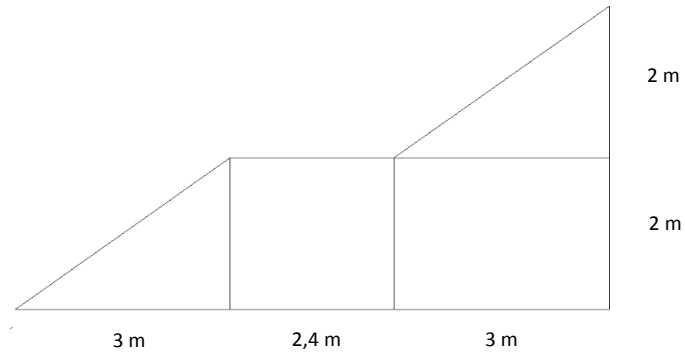
4) Beban mati pelat lantai :

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat} &= 0,12 \text{ m} \\
 \text{BJ beton} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Tebal spasi} &= 0,02 \text{ m} \\
 \text{BJ spasi} &= 2100 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Tebal pasir} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{BJ pasir} &= 1600 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Beban plafon} &= 18 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban pelat} &= 0,12 \times 2400 \\
 &= 288 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban spasi} &= 0,02 \times 2100 \\
 &= 42 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban keramik} &= 24 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban pasir} &= 0,05 \times 1600 \\
 &= 80 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

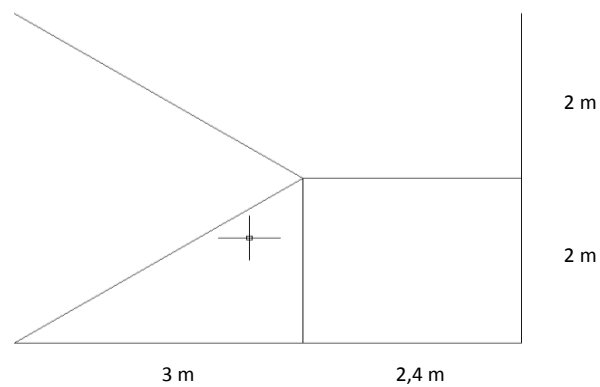
Total beban mati	= 452 kg/m ²
5) Beban mati pelat atap :	
Tebal pelat	= 0,12 m
BJ beton	= 2400 kg/m ³
Tebal spasi	= 0,02 m
BJ spasi	= 2100 kg/m ³
Tebal pasir	= 0,05 m
BJ pasir	= 1600 kg/m ³
Beban plafon	= 18 kg/m ²
Beban pelat	= 0,12 × 2400 = 288 kg/m ²
Beban spasi	= 0,02 × 2100 = 42 kg/m ²
Beban pasir	= 0,05 × 1600 = 80 kg/m ²
Total beban mati	= 428 kg/m ²
6) Beban mati pelat bordes :	
Tebal pelat	= 0,12 m
BJ beton	= 2400 kg/m ³
Tebal spasi	= 0,02 m
BJ spasi	= 2100 kg/m ³
Tebal pasir	= 0,05 m
BJ pasir	= 1600 kg/m ³
Beban pelat	= 0,12 × 2400 = 288 kg/m ²
Beban spasi	= 0,02 × 2100 = 42 kg/m ²
Beban keramik	= 24 kg/m ²
Beban pasir	= 0,05 × 1600 = 80 kg/m ²
Total beban mati	= 434 kg/m ²

7) Beban mati pelat tangga :

Desain anak tangga :



Gambar 4.2 Sketsa tangga depan dan samping.



Gambar 4.3 Sketsa tangga belakang.

Lebar ruang tangga	= 8,4 m dan 5,4 m
Lebar tangga	= 3 m
Tinggi elevasi antar tangga	= 2 m
Tinggi bordes	= 2 m
Lebar bordes	= 2,4m
Sisi miring tangga	$= \sqrt{a^2 + b^2} = c^2$ $= \sqrt{3^2 + 2^2} = 3,6 \text{ m}$
Sudut miring tangga (α)	$= \cos^{-1} \times \frac{\text{Lebar tangga}}{\text{Panjang sisi miring}}$ $= \cos^{-1} \times \frac{3}{3,6}$

$$\begin{aligned}
 &= 33,5^\circ \\
 \tan \alpha &= \frac{\text{uptrede}}{\text{antrede}} \\
 \tan(33,5^\circ) &= \frac{\text{uptrede}}{\text{antrede}} \\
 \text{Uptrede} &= 33,5^\circ \times \text{antrede} \\
 \text{Tinggi uptrede \& antrede :} \\
 (2 \times \text{uptrede}) + \text{antrede} &= 61 - 65 \text{ cm (range)} \\
 (2 \times 33,5^\circ \text{antrede}) + \text{antrede} &= 61 - 65 \text{ cm} \\
 1,3237\text{antrede} + \text{antrede} &= 61 - 65 \text{ cm} \\
 2,3237\text{antrede} &= 65 \text{ cm} \\
 \text{antrede} &= 27,9 \approx 28 \text{ cm} \\
 \text{uptrede} &= \text{antrede} \times \tan \alpha \\
 &= \text{antrede} \times \tan 33,5^\circ \\
 &= 18,5 \approx 18 \text{ cm} \\
 \text{Jumlah uptrede \& antrede} &= \text{uptrede} \\
 &= \frac{400}{18} \\
 &= 22 \text{ buah} \\
 \text{Cek :} \\
 2 \times \text{uptrede} + \text{antrede} &= 61 - 65 \text{ cm} \\
 2 \times 18 + 28 &= 61 - 65 \text{ cm} \\
 64 &= 61 - 65 \text{ cm (aman)} \\
 \text{Beban anak tangga :} \\
 90^\circ - 33,5^\circ &= 56,5^\circ \\
 \sin 56,5^\circ &= \frac{t}{\text{uptrede}} \\
 \sin 56,5^\circ &= \frac{t}{18} \\
 t &= 15 \text{ cm} \\
 \text{Pelat tangga} &= \text{BJ beton bertulang} \times t \times 0,5 \\
 &= 2400 \times 0,15 \times 0,5 \\
 &= 180 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban keramik} &= 24 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban spasi} &= 0,02 \times 2100
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 42 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Total beban mati} &= 246 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

8) Beban angin pada dinding :

$$\begin{aligned} \text{Angin datang} &= qzGCp \\ &= 17,07 \times 0,85 \times 0,8 \\ &= 11,61 \text{ N/m}^2 \\ \text{Angin pergi} &= qhGCp \\ &= 17,71 \times 0,85 \times (-0,3) \\ &= - 4,52 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

4.1.3. Pembebanan Gempa

Berikut adalah perhitungan daripada kurva respon spektrum gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 :

a. Data-data:

Lokasi : Yogyakarta.

Jenis tanah : Tanah keras.

Sumber : www.puskim.pu.go.id (lihat Lampiran 17-18)

b. Perhitungan :

a. Tanah keras (SC)

$$S_S = 1,221 \text{ gr}$$

$$S_1 = 0,447 \text{ gr}$$

1) Menentukan nilai F_a dan F_v :

$$\begin{aligned} S_S &= \frac{1,221-1,0}{1,25-1,0} = \frac{F_a-1,0}{1,0-1,0} \\ &= \frac{0,221}{0,25} = \frac{F_a-1,0}{0} \\ &= 0 = 0,25F_a - 0,25 \\ &= 0,25F_a = 0,25 - 0 \\ &= F_a = \frac{0,25}{0,25} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$S_1 = \frac{0,447-0,4}{0,5-0,4} = \frac{F_v-1,4}{1,3-1,4}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,047}{0,1} = \frac{F_v - 1,4}{-0,1} \\
&= -0,0047 = 0,1F_v - 0,14 \\
&= 0,1F_v = 0,14 - 0,0047 \\
&= F_v = \frac{0,1353}{0,1} \\
&= 1,353
\end{aligned}$$

- 2) Menghitung nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek 0,2 detik (S_{ms}) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{m1}) :

$$\begin{aligned}
S_{ms} &= F_a \times S_s \\
&= 1 \times 1,221 \\
&= 1,221
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
&= 1,353 \times 0,447 \\
&= 0,6048
\end{aligned}$$

- 3) Menghitung parameter percepatan spektral desain dengan periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) :

$$\begin{aligned}
S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
&= \frac{2}{3} \times 1,221 \\
&= 0,814
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
&= \frac{2}{3} \times 0,6048 \\
&= 0,4032
\end{aligned}$$

- 4) Menghitung nilai periode getar struktur T_0 dan T_s :

$$\begin{aligned}
T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
&= 0,2 \times \frac{0,4032}{0,814} \\
&= 0,099
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
&= \frac{0,4032}{0,814} \\
&= 0,495
\end{aligned}$$

5) Menghitung nilai respon spektrum desain (S_a) :

a) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($0 \leq T < T_0$) :

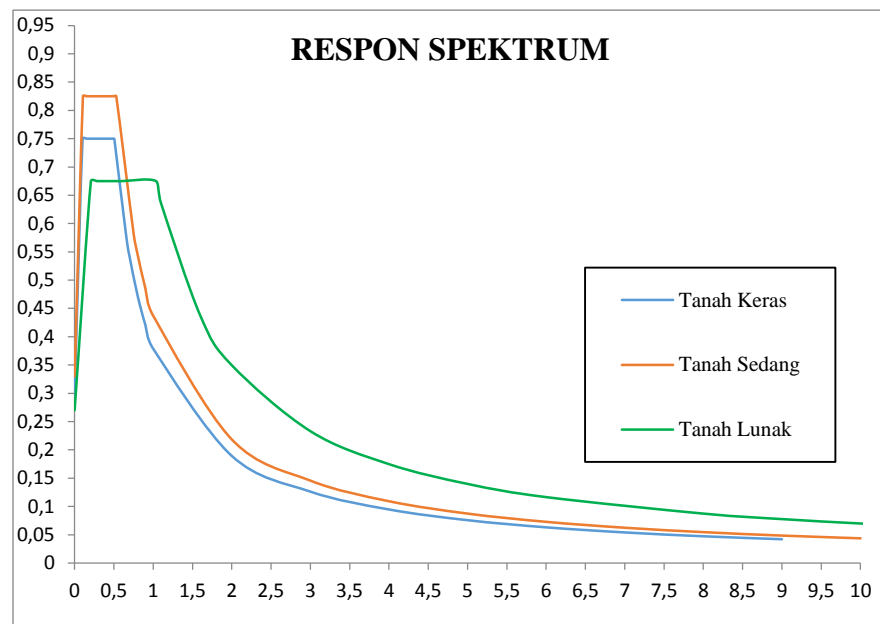
$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0}\right) \\ &= 0,814 \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{0,099}\right) \\ &= 0,3256 \end{aligned}$$

b) Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$) :

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \\ &= 0,814 \end{aligned}$$

c) Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_s ($T_0 \geq T_s$):

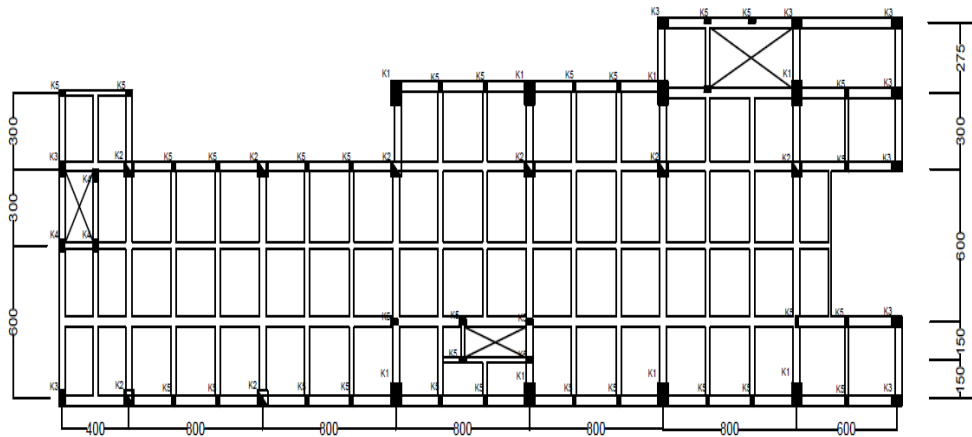
$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\ &= \frac{0,4032}{1} \\ &= 0,4032 \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Grafik respon spektrum kota Yogyakarta.

4.2 Analisis Struktur

4.2.1. Kolom



Gambar 4.5 Denah kolom pada bangunan.

a. Kolom K1

1) Data Kolom :

Lebar, b	= 600 mm
Panjang, h	= 900 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Tulangan yang digunakan	= 24D22
Sengkang yang digunakan	= 4P10-100

2) Hasil Analisis Struktur

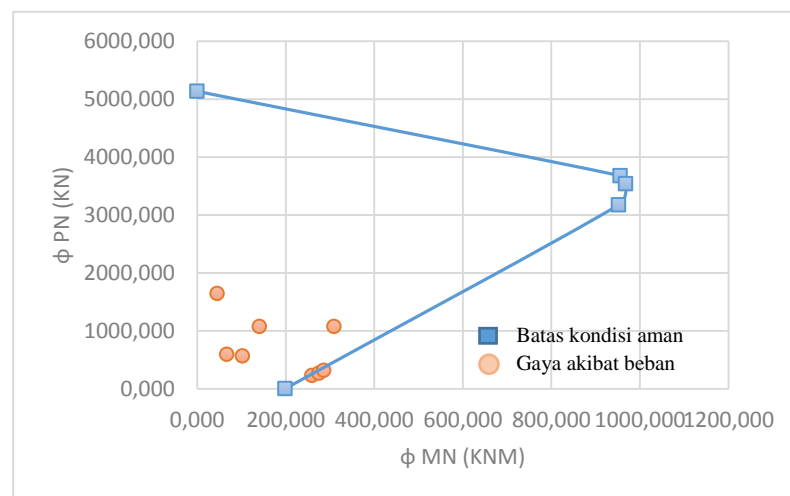
Hasil dari analisis struktur menggunakan *software* SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K1 didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.2 Hasil *running* awal kolom K1 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	229,618	259,302
2	P terkecil	1642,505	44,954
3	V2 terbesar	564,247	102,195
4	V2 terkecil	1070,748	140,309
5	M2 terbesar	264,355	274,773
6	M2 terkecil	314,785	285,783
7	M3 terbesar	590,601	66,960
8	M3 terkecil	1070,748	309,275

Tabel 4.3 Hasil analisis awal kolom K1.

Keadaan	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)	E
Sentris	6416,204	0	0
Ek. Kecil	5132,963	0	0
Patah Desak	3676,060	955,776	260
Seimbang	3536,950	968,073	
Patah Tarik	3173,574	952,072	300
Momen Murni	0	508,302	



Gambar 4.6 Diagram interaksi awal kolom K1.

Berdasarkan hasil dari diagram iterasi diatas diatas dapat disimpulkan bahwa struktur kolom tersebut dikategorikan tidak aman terhadap gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan, maka diperlukan adanya perkuatan terhadap kolom tersebut dengan cara melakukan penambahan tulangan pada kolom.

3) Perhitungan Tulangan:

a) Luas penampang kolom :

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 600 \times 900 \\ &= 540000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Luas tulangan total :

$$\begin{aligned} A_{st} &= n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 26 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 2470,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c) Luas tulangan tekan :

$$\begin{aligned} A_{s'} &= n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

d) Kondisi sentris :

Kapasitas kuat tekan aksial nominal

$$\begin{aligned} P_o &= 0,65 \times 0,85 \times f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \\ &= 0,65 \times 0,85 \times 25(540000 - 2470,87) + 2470,87 \times 400 \\ &= 6856989,877 \text{ N} \\ &= 6856,990 \text{ kN} \end{aligned}$$

e) Eksentrisitas kecil :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times 0,85 \times P_o \\ &= 0,65 \times 0,85 \times 6856,990 \\ &= 5828,441 \text{ kN} \end{aligned}$$

f) Keadaan seimbang :

$$\begin{aligned} d &= h - t_s - P - \frac{D}{2} \\ &= 900 - 40 - 10 - \frac{22}{2} \\ &= 839 \text{ mm} \\ c_b &= \frac{600}{600 + f_y} d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \times 839 \\ &= 503,400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= ts + P + \frac{D}{2} \\
 &= 40 + 10 + \frac{22}{2} \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon'_s &= \frac{c_b - d'}{c_b} \times 0,003 \\
 &= \frac{503,400 - 61}{503,400} \times 0,003 \\
 &= 0,003
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{fy}{Es} \\
 &= \frac{400}{200000} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Kontrol, $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tekan sudah luluh

$$\begin{aligned}
 F'_s &= \frac{c_b - d'}{c_b} \times 600 \\
 &= \frac{503,400 - 61}{503,400} \times 600 \\
 &= 527,29 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_b &= \beta_1 c_b \\
 &= 0,85 \times 503,400 \\
 &= 427,890 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 f_c' a_b b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 427,890 \times 600 \\
 &= 5455597,500 \text{ N} \\
 &= 5455,598 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= A_s' (fy - 0,85 f_c') \\
 &= 760,27 (400 - 0,85 \times 25) \\
 &= 287951,202 \text{ N} \\
 &= 287,951 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s' fy \\
 &= 760,27 \times 400 \\
 &= 304106,880 \text{ N} \\
 &= 304,107 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{900}{2} \\
 &= 450 \text{ mm} \\
 Pn &= Cc + Cs - Ts \\
 &= 5455,598 + 287,951 - 304,107 \\
 &= 5439,442 \text{ kN} \\
 Mn &= Cc \left(d - \frac{a_b}{2} - d'' \right) + Cs(d - d' - d'') + Ts \times d'' \\
 &= 5455,598 \times \left(839 - \frac{427,890}{2} - 450 \right) + 287,951 \times \\
 &\quad (839 - 61 - 450) + 304,107 \times 450 \\
 &= 1518131,662 \text{ Nm} \\
 &= 1518,132 \text{ kNm} \\
 e_b &= \frac{Mn}{Pn} \\
 &= \frac{1518,132}{5439,442} \\
 &= 0,279 \text{ m} \\
 &= 279 \text{ mm} \\
 \phi Pn &= 0,65 \times 5439,442 \\
 &= 3535,637 \text{ kN} \\
 \phi Mn &= 0,65 \times 1518,132 \\
 &= 986,786 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

g) Keadaan momen murni :

Untuk momen murni eksentrisitas, $e = \infty$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A'_s f_y}{0,85 f'_c b} \\
 &= \frac{760,27 \times 400}{0,85 \times 25 \times 600} \\
 &= 23,85 \text{ mm} \\
 Mn &= A'_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 760,27 \times 400 \left(839 - \frac{23,85}{2} \right) \\
 &= 251518966,7 \text{ Nmm} \\
 &= 251,5189667 \text{ kNm} \\
 \phi Mn &= 0,9 \times 251,5189667
 \end{aligned}$$

$$= 226,36707 \text{ kNm}$$

h) Keadaan $e > e_b$:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85f'_c ab \\ &= 0,85 \times 25 \times a \times 600 \\ &= 12750a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= As'(fy - 0,85f'_c) \\ &= 760,27 \times (400 - 0,85 \times 25) \\ &= 139941,425 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= As'fy \\ &= 760,27 \times 400 \\ &= 304106,880 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk, $e = 300 \text{ mm}$ (asumsi)

$$\begin{aligned} e' &= e + d - d'' \\ &= 300 + 839 - 450 \\ &= 689 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 0,425f'_c b \\ &= 0,425 \times 25 \times 600 \\ &= 6375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 0,85f'_c b(e' - d) \\ &= 0,85 \times 25 \times 600 \times (689 - 839) \\ &= -1912500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= As'(fy - 0,85f'_c)(e' - d + d') - As'fy e' \\ &= 760,27(400 - 0,85 \times 25)(689 - 839 + 61) - \\ &\quad 760,27 \times 400 \times 689 \\ &= -235157297,3 \end{aligned}$$

Persamaan :

$$Aa^2 + Ba + C = 0$$

$$6375a^2 - 1912500a - 235157297,3 = 0$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\ &= \frac{-1912500 + \sqrt{-1912500^2 - 4 \times 6375 \times (-235157297,3)}}{2 \times 6375} \\ &= 393,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
 &= \frac{-1912500 - \sqrt{-1912500^2 - 4 \times 6375 \times (-235157297,3)}}{2 \times 6375} \\
 &= -93,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai a yang digunakan adalah 393,69 mm

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{0,85} \\
 &= \frac{393,69}{0,85} \\
 &= 463,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon'_s &= \frac{c - d'}{c} 0,003 \\
 &= \frac{463,17 - 61}{463,17} \times 0,003 \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
 &= \frac{400}{200000} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Kontrol, $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tekan sudah leleh

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{839 - 463,17}{463,17} \times 0,003 \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Kontrol, $\varepsilon_t > \varepsilon_y$ maka tulangan tarik sudah leleh

$$\begin{aligned}
 Pn &= Cc(a) + Cs - Ts \\
 &= 12750 \times 393,69 + 139941,425 - 304106,880 \\
 &= 5003459,919 \text{ N} \\
 &= 5003,459919 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= ePn \\
 &= 300 \times 5003459,919 \\
 &= 1501037976 \text{ Nmm} \\
 &= 1501,037976 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $\varepsilon_t = 0,002$, maka $\phi = 0,65$

$$\phi Pn = 0,65 \times 5003,459919$$

$$= 3252,248947 \text{ kN}$$

$$\phi Mn = 0,65 \times 1501,037976$$

$$= 975,6746841 \text{ kNm}$$

i) Keadaan $e < e_b$:

Untuk $e = 265 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} e' &= e + d - d'' \\ &= 265 + 839 - 450 \\ &= 654 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f'_c ab \\ &= 0,85 \times 25 \times a \times 600 \\ &= 12750a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= As'(fy - 0,85 f'_c) \\ &= 760,27 \times (400 - 0,85 \times 25) \\ &= 139941,425 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ts &= As'fy \quad \text{asumsi, } (fs < fy) \\ &= 760,27fs \end{aligned}$$

$$c = 520 \text{ mm} \quad \text{asumsi, } (c > cb)$$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 c \\ &= 0,85 \times 520 \\ &= 442 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pn_1 &= \frac{1}{e'} \left[Cca \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs(d - d') \right] \\ &= \frac{1}{654} \left[12750 \times 442 \times \left(839 - \frac{442}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. 139941,425 \times (839 - 61) \right] \\ &= 5667836,445 \text{ N} \\ &= 5667,836445 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fs &= 600 \left(\frac{839 - 600}{600} \right) \\ &= 368,07 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pn_2 &= Cc + Cs + Ts \\ &= 12750a + 139941,425 + 760,27fs \\ &= 5643614,39 \text{ N} \\ &= 5643,61439 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pn yang digunakan adalah Pn rata-rata

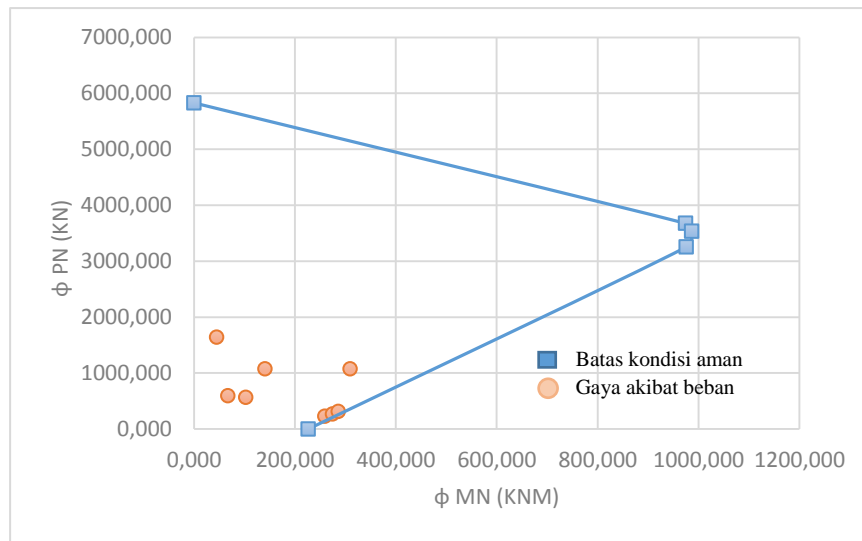
$$\begin{aligned}
 Pn &= \frac{Pn_1 + Pn_2}{2} \\
 &= \frac{5667,836445 + 5643,61439}{2} \\
 &= 5655,725418 \text{ kN} \\
 \phi Pn &= 0,65 \times 5655,725418 \\
 &= 3676,221522 \text{ kN} \\
 Mn &= ePn \\
 &= 265 \times 5655,725418 \\
 &= 1498767,236 \text{ kNmm} \\
 \phi Mn &= 0,65 \times 1498767,236 \\
 &= 974198,7032 \text{ kNmm} \\
 &= 974,1987032 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Hasil *running* rencana kolom K1 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	229,618	259,302
2	P terkecil	1642,505	44,954
3	V2 terbesar	564,247	102,195
4	V2 terkecil	1070,748	140,309
5	M2 terbesar	264,355	274,773
6	M2 terkecil	314,785	285,783
7	M3 terbesar	590,601	66,960
8	M3 terkecil	1070,748	309,275

Tabel 4.5 Hasil analisis rencana kolom K1.

Keadaan	ϕPn (kN)	ϕMn (kNm)	e
Sentris	6856,990	0	0
Ek. Kecil	5828,441	0	0
Patah Desak	3676,222	974,199	265
Seimbang	3535,637	986,786	
Patah Tarik	3252,249	975,675	300
Momen Murni	0	226,367	



Gambar 4.7 Diagram interaksi rencana kolom K1.

b. Kolom K2

1) Data Kolom :

Lebar, b	= 600 mm
Panjang, h	= 600 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Tulangan yang digunakan	= 20D22
Sengkang yang digunakan	= 4P10-100

2) Hasil Analisis Struktur

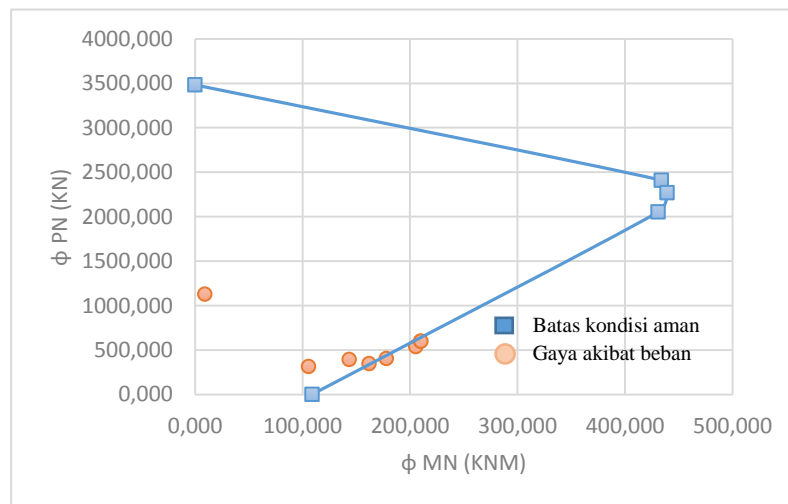
Berdasarkan dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K2 didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.6 Hasil *running* awal kolom K2 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	537,760	205,297
2	P terkecil	1128,098	8,995
3	V2 terbesar	344,881	161,819
4	V2 terkecil	314,602	105,703
5	M2 terbesar	596,504	209,929
6	M2 terkecil	598,918	210,131
7	M3 terbesar	403,713	178,075
8	M3 terkecil	392,101	143,453

Tabel 4.7 Hasil analisis awal kolom K2.

Keadaan	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kNm)	E
Sentris	4352,146	0	0
Ek. Kecil	3481,717	0	0
Patah Desak	2410,202	433,836	180
Seimbang	2270,279	439,272	
Patah Tarik	2051,977	430,915	210
Momen Murni	0	108,751	



Gambar 4.8 Diagram interaksi awal kolom K2.

3) Perhitungan Tulangan

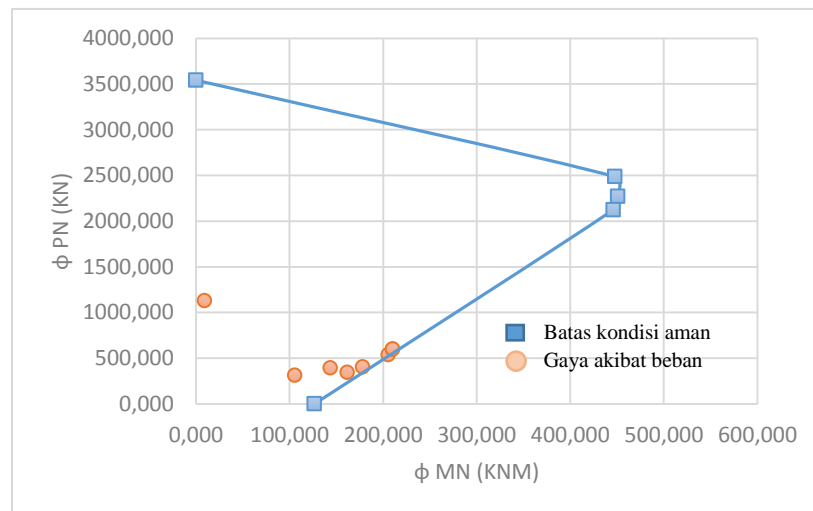
Dengan melakukan perhitungan yang sama (analog) seperti perhitungan beton sebelumnya dengan menggunakan tulangan utama 24D22 pada struktur kolom K2, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.8 Hasil *running* rencana kolom K2 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	537,760	205,297
2	P terkecil	1128,098	8,995
3	V2 terbesar	344,881	161,819
4	V2 terkecil	314,602	105,703
5	M2 terbesar	596,504	209,929
6	M2 terkecil	598,918	210,131
7	M3 terbesar	403,713	178,075
8	M3 terkecil	392,101	143,453

Tabel 4.9 Hasil analisis rencana kolom K2.

Keadaan	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)	e
Sentris	4426,975	0	0
Ek. Kecil	3541,580	0	0
Patah Desak	2486,144	447,506	180
Seimbang	2268,967	450,763	
Patah Tarik	2122,894	445,808	210
Momen Murni	0	126,520	



Gambar 4.9 Diagram interaksi kolom K2.

c. Kolom K3

1) Data Kolom :

Lebar, b	= 600 mm
Panjang, h	= 900 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa

Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Tulangan yang digunakan	= 18D19
Sengkang yang digunakan	= 4P10-100

2) Hasil Analisis Struktur

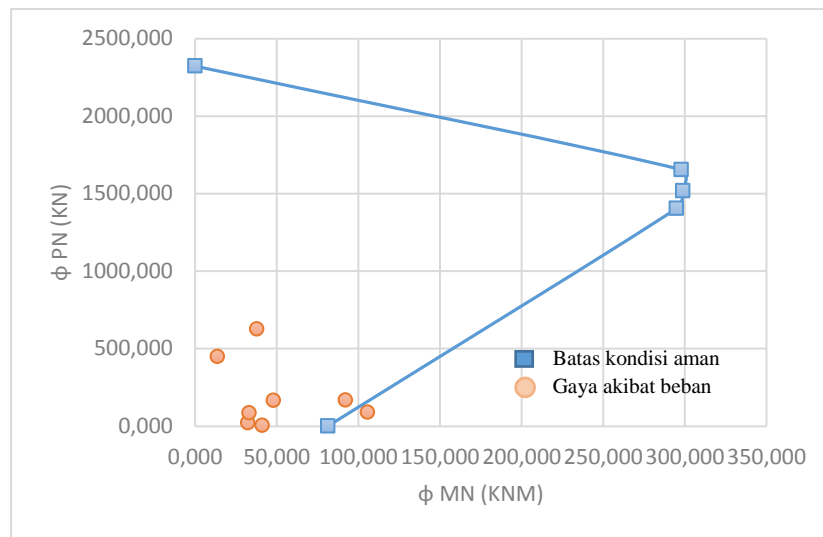
Berdasarkan dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K3, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.10 Hasil *running* awal kolom K3 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	166,401	47,908
2	P terkecil	624,920	37,691
3	V2 terbesar	4,049	41,023
4	V2 terkecil	448,798	13,709
5	M2 terbesar	89,375	105,609
6	M2 terkecil	167,468	92,009
7	M3 terbesar	21,433	32,295
8	M3 terkecil	84,044	33,126

Tabel 4.11 Hasil analisis awal kolom K3.

Keadaan	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kNm)	E
Sentris	2903,157	0	0
Ek. Kecil	2322,526	0	0
Patah Desak	1654,558	297,821	190
Seimbang	1517,122	298,736	
Patah Tarik	1403,902	294,819	220
Momen Murni	0	81,181	



Gambar 4.10 Diagram interaksi awal kolom K3.

3) Perhitungan Tulangan

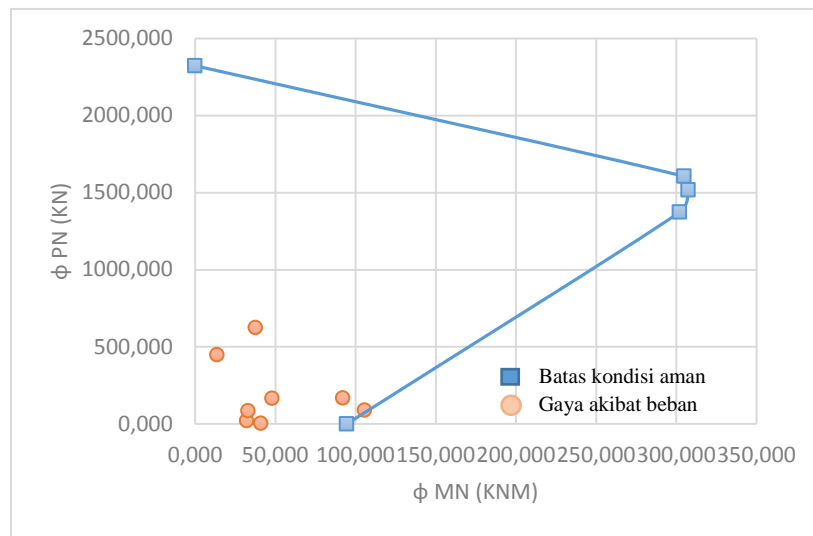
Dengan melakukan perhitungan yang sama (analog) seperti perhitungan beton sebelumnya dengan menggunakan tulangan utama 24D19 pada struktur kolom K3, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.112 dan Tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.12 Hasil *running* rencana kolom K3 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	166,401	47,908
2	P terkecil	624,920	37,691
3	V2 terbesar	4,049	41,023
4	V2 terkecil	448,798	13,709
5	M2 terbesar	89,375	105,609
6	M2 terkecil	167,468	92,009
7	M3 terbesar	21,433	32,295
8	M3 terkecil	84,044	33,126

Tabel 4.13 Hasil analisis rencana kolom K3.

Keadaan	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)	e
Sentris	2903,157	0	0
Ek. Kecil	2322,526	0	0
Patah Desak	1604,968	304,944	190
Seimbang	1516,144	307,361	
Patah Tarik	1372,772	302,010	220
Momen Murni	0	94,414	



Gambar 4.11 Diagram interaksi rencana kolom K3.

d. Kolom K4

1) Data Kolom :

Lebar, b	= 600 mm
Panjang, h	= 900 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Tulangan yang digunakan	= 12D19
Sengkang yang digunakan	= 2P10-100

2) Hasil Analisis Struktur

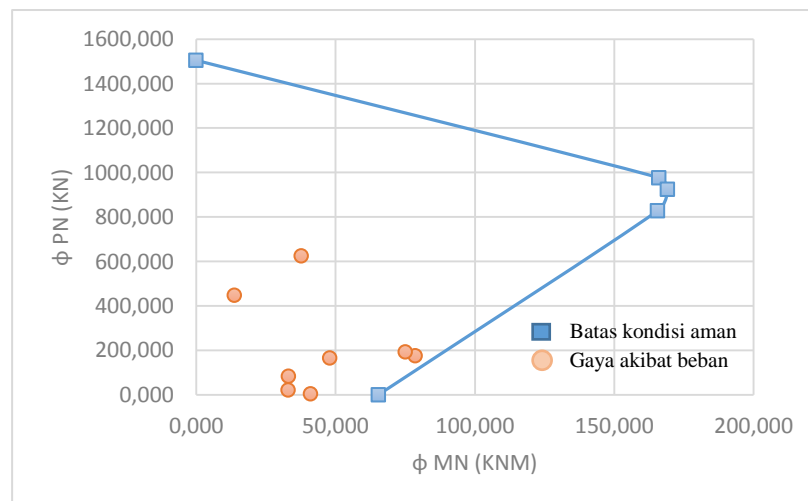
Berdasarkan dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K4 didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.14 Hasil *running* awal kolom K4 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	166,401	47,908
2	P terkecil	624,920	37,691
3	V2 terbesar	4,049	41,023
4	V2 terkecil	448,798	13,709
5	M2 terbesar	175,375	78,609
6	M2 terkecil	192,468	75,007
7	M3 terbesar	21,433	32,996
8	M3 terkecil	84,044	33,125

Tabel 4.15 Hasil analisis awal kolom K4.

Sentris	1824,938	0	0
Ek. Kecil	1459,950	0	0
Patah Desak	996,820	159,491	170
Seimbang	926,021	162,319	
Patah Tarik	837,537	159,132	200
Momen Murni	0	54,757	
Sentris	1824,938	0	0



Gambar 4.13 Diagram interaksi awal kolom K4.

3) Perhitungan Tulangan

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K4 yang masih dalam kategori aman, maka pada kolom K4 masih menggunakan desain awal struktur.

e. Kolom K5

1) Data Kolom :

Lebar, b	= 600 mm
Panjang, h	= 900 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Tulangan yang digunakan	= 6D19
Sengkang yang digunakan	= 2P10-100

2) Hasil Analisis Struktur

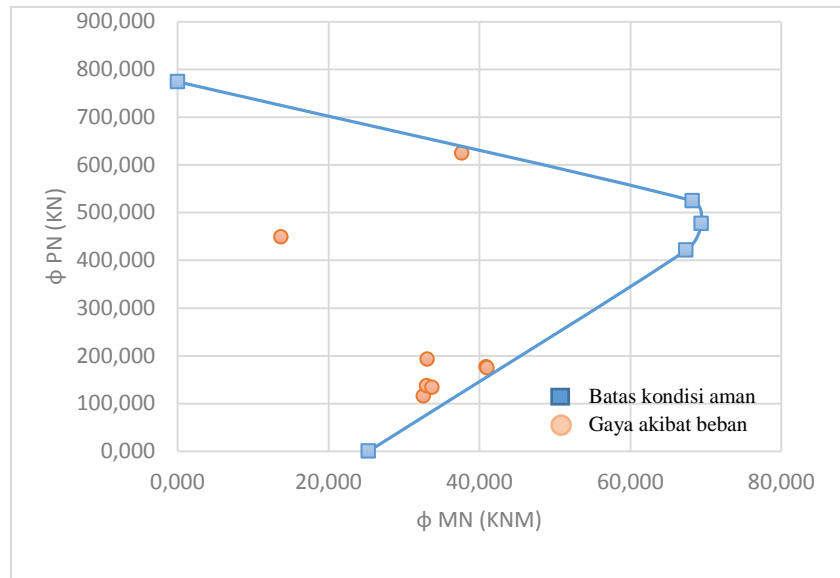
Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K5 didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.16 Hasil *running* awal kolom K5 pada program SAP2000 versi 14.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	176,401	40,908
2	P terkecil	624,920	37,691
3	V2 terbesar	174,350	41,023
4	V2 terkecil	448,798	13,709
5	M2 terbesar	115,375	32,609
6	M2 terkecil	192,468	33,098
7	M3 terbesar	137,433	32,996
8	M3 terkecil	134,044	33,742

Tabel 4.17 Hasil analisis awal kolom K5.

Keadaan	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)	E
Sentris	967,719	0	0
Ek. Kecil	774,175	0	0
Patah Desak	524,787	68,222	130
Seimbang	476,786	69,407	
Patah Tarik	421,123	67,380	160
Momen Murni	0	25,288	

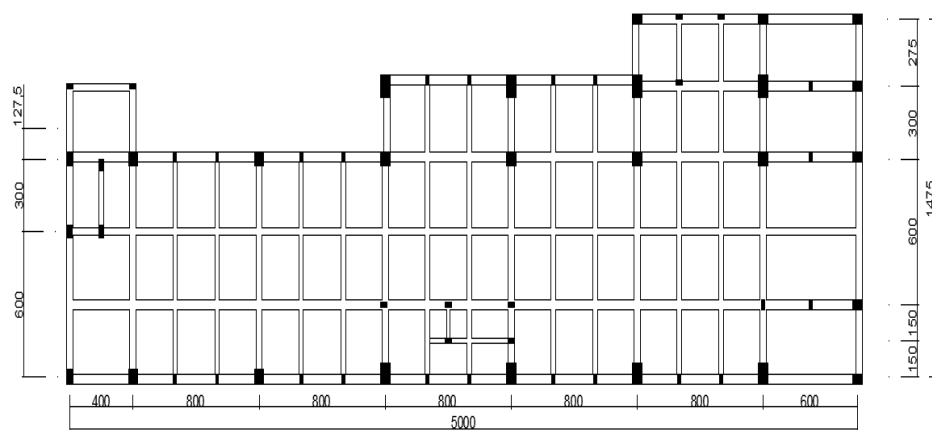


Gambar 4.14 Diagram interaksi awal kolom K5.

3) Perhitungan Tulangan

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur kolom K5 yang masih dalam kategori aman, maka pada kolom K5 masih menggunakan desain awal struktur.

4.2.2. Balok



Gambar 4.15 Denah balok pada *basement*.

a. Balok TB-1

1) Data balok TB-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 400 mm
Tinggi balok, h	= 700 mm
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok TB-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 159,155 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 269,359 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 157,670 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

a) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + P + \frac{D}{2} \\ &= 40 + 10 + \frac{22}{2} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Jumlah tulangan dalam satu baris :

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{b-2d_s}{25+D} \\ &= \frac{400-2 \times 61}{25+22} \\ &= 5,91 \approx 6 \end{aligned}$$

c) Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} x &= \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1} \\ &= \frac{400-6 \times 22-2 \times 61}{6-1} \end{aligned}$$

$$= 29,20 \text{ mm}$$

d) Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} y &= D+25 \\ &= 22+25 \\ &= 47 \text{ mm} \end{aligned}$$

e) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{25}{400} \times \frac{600}{600+400} \\ &= 0,0271 \end{aligned}$$

f) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned} R_{maks} &= 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right] \\ &= 0,75 \times 0,0271 \times 400 \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,0271 \frac{400}{0,85 \times 25} \right] \\ &= 6,5736 \end{aligned}$$

g) Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,00350 \end{aligned}$$

h) Rasio tulangan maksimum :

$$\begin{aligned} \rho_{maks} &= 0,75\rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0271 \\ &= 0,02032 \end{aligned}$$

i) Tulangan momen positif :

Momen positif nominal rencana,

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu^+}{\phi} \\ &= \frac{159,155}{0,8} \\ &= 198,9443 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 320 \text{ mm}$ (asumsi)

Tinggi efektif balok :

$$d = h - d'$$

$$= 700 - 320$$

$$= 380 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen,

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{198,9443 \times 10^6}{400 \times 380^2} \\ &= 3,444 \end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_c'}} \right] \\ &= 0,85 \frac{25}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,444}{0,85 \times 25}} \right] \\ &= 0,0095 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0095 \times 400 \times 380 \\ &= 1436,6419 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{\frac{\pi}{4} D^2} \\ &= \frac{1436,6419}{\frac{\pi}{4} 22^2} \\ &= 3,78 \approx 4 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$\begin{aligned} As &= n \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= 4 \frac{\pi}{4} 22^2 \\ &= 1520,5308 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah baris tulangan :

$$\begin{aligned} n_b &= \frac{n}{n_s} \\ &= \frac{4}{6} \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

Tabel 4.18 Tulangan momen positif balok TB-1.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	61,00	244,00
2	0		
3	0	0	0
n =	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	244

Letak titik berat tulangan :

$$\begin{aligned} d' &= \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n} \\ &= \frac{\Sigma[4 \times 244]}{4} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 700 - 61 \\ &= 639 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{Asfy}{0,85fc'b} \\ &= \frac{1520,5308 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 71,554 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned} Mn &= Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\ &= 1520,5308 \times 400 \left(639 - \frac{71,554}{2} \right) 10^{-6} \\ &= 366,888 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{71,554}{0,85} \\ &= 84,1816 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{639-84,1816}{84,1816} \times 0,003$$

$$= 0,0192$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\phi Mn = 0,9 \times 366,888$$

$$= 330,1988 \text{ kNm}$$

Kontrol momen balok,

$$\phi Mn \geq Mu^+$$

$$330,1988 > 159,155 \quad (\text{aman}).$$

j) Tulangan momen negatif :

Momen negatif nominal rencana,

$$Mn = \frac{Mu^-}{\phi}$$

$$= \frac{269,359}{0,8}$$

$$= 366,6990 \text{ kNm}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 340 \text{ mm}$ (asumsi).

Tinggi efektif balok :

$$d = h - d'$$

$$= 700 - 250$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen,

$$Rn = \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2}$$

$$= \frac{366,6990 \times 10^6}{400 \times 450^2}$$

$$= 4,1568$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f_c'}} \right]$$

$$= 0,85 \frac{25}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,1568}{0,85 \times 25}} \right]$$

$$= 0,01167$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,01167 \times 400 \times 360 \\ &= 2101,4587 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\frac{\pi}{4} D^2} \\ &= \frac{2101,4587}{\frac{\pi}{4} 22^2} \\ &= 5,5282 \approx 6 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$\begin{aligned} A_s &= n \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= 6 \frac{\pi}{4} 22^2 \\ &= 2280,7963 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah baris tulangan :

$$\begin{aligned} n_b &= \frac{n}{n_s} \\ &= \frac{6}{6} \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Tulangan momen negatif balok TB-1.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jml \times jarak $n_i \times y_i$
1	6	61,00	366,00
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	8	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	366

Letak titik berat tulangan :

$$\begin{aligned} d' &= \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n} \\ &= \frac{366}{6} \\ &= 61,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 700 - 61,00 \\ &= 639 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{Asfy}{0,85f'cb} \\ &= \frac{2280,7963 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 107,332 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned} Mn &= Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\ &= 2280,7963 \times 400 \left(639 - \frac{107,332}{2} \right) 10^{-6} \\ &= 534,011 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{107,332}{0,85} \\ &= 126,2725 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{639 - 126,2725}{126,2725} \times 0,003 \\ &= 0,0122 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times 534,011 \\ &= 480,610 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\begin{aligned} \phi Mn &\geq Mu^- \\ 480,610 &> 159,155 \quad (\text{aman}). \end{aligned}$$

k) Tulangan geser :

Kuat geser beton,

$$Vc = \frac{\sqrt{f'c}}{6} bd 10^{-3}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{6} 400 \times 639 \times 10^{-3}$$

$$= 126,667 \text{ kN}$$

Tahanan geser beton :

$$\phi V_c = 0,75 \times 126,667$$

$$= 95,00 \text{ kN}$$

$V_u > \phi V_c$, maka diperlukan tulangan geser.

Kuat geser sengkang :

$$V_s = 83,560 \text{ kN}$$

Luas tulangan geser sengkang :

$$A_v = n_s \frac{\pi}{4} P^2$$

$$= 2 \frac{\pi}{4} 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang yang diperlukan :

$$s = A_v f_y \frac{d}{V_s \times 10^3}$$

$$= 157,08 \times 240 \frac{639}{83,560 \times 10^3}$$

$$= 171,44 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum :

$$s_{maks} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{639}{2}$$

$$= 319,5 \approx 250 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang digunakan :

$$s = 170 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, 3P10 – 250

b. Balok TB-2

1) Data balok TB-2 :

Kuat tekan beton, f_c' = 25 MPa

Tegangan leleh baja, f_y = 400 MPa

Lebar balok, b = 300 mm

Tinggi balok, h = 600 mm

Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok TB-2, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 83,963 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 127,033 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 65,367 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.20, Tabel 4.21, Tabel 4.22, Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 berikut:

Tabel 4.20 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok TB-2.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, M_u^+	83,963	kNm
2	Faktor tahanan momen, R_n	2,8559	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0077	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3	
5	Luas tulangan yang digunakan, A_s	1140,3981	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, M_n	229,550	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕM_n	206,5948	kNm

Tabel 4.21 Hasil perhitungan penulangan balok TB-2.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	61,00	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	30,00	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	47,00	mm

Tabel 4.22 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok TB-2.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, M_u^+	127,033	kNm
2	Faktor tahanan momen, R_n	4,3208	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0122	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4	
5	Luas tulangan yang digunakan, A_s	1520,5308	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, M_n	298,813	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕM_n	268,932	kNm

Tabel 4.23 Tulangan momen positif dan negatif balok TB-2.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	3	61,00	183	4	61,00	244
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
n=	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	183	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	244

Tabel 4.24 Hasil perhitungan tulangan geser balok TB-2.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	24,03	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	70,004	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	52,503	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	24,036	kN
6	Jumlah sengkang, n_i	2	
7	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
8	Jarak sengkang yang digunakan, s	200	mm

c. Balok B1-1

1) Data balok B1-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 400 mm
Tinggi balok, h	= 900 mm
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok B1-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 358,984 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 520,694 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 209,751 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.25, Tabel 4.26, Tabel 4.27, Tabel 4.28 dan Tabel 4.29 berikut:

Tabel 4.25 Hasil perhitungan penulangan balok B1-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	61,00	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	6	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	29,20	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	47,00	mm

Tabel 4.26 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok B1-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^+	358,984	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	2,9184	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0079	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	6	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	2280,7963	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, Mn	716,475	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	644,8274	kNm

Tabel 4.27 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok B1-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^-	520,694	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	4,2330	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01192	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	8	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	3421,1944	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	72,75	mm
7	Momen nominal, Mn	919,247	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	827,322	kNm

Tabel 4.28 Tulangan momen positif dan negatif balok B1-1.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	6	61,00	366	6	61,00	366
2	0	0	0	2	108,00	216
3	0	0	0	0	0	0
n=	6	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	366	8	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	582

Tabel 4.29 Hasil perhitungan tulangan geser balok B1-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	209,751	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	206,667	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	155,00	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	24,036	kN
6	Tahanan geser sengkang, ϕV_s	54,751	
7	Jumlah sengkang, n_i	4	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang digunakan, s	250	mm

d. Balok B2-1

1) Data balok B2-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 400 mm
Tinggi balok, h	= 700 mm
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok B2-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 358,984 kNm
--------------------------------	---------------

Momen rencana negatif, Mu^-	= 574,273 kNm
Gaya geser rencana, Vu	= 273,155 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.30, Tabel 4.31, Tabel 4.32, Tabel 4.33 dan Tabel 4.34 berikut:

Tabel 4.30 Hasil perhitungan penulangan balok B2-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	61,00	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	6	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	29,20	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	47,00	mm

Tabel 4.31 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok B2-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^+	358,984	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	3,1162	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0085	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	6	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	2280,7963	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	Mm
7	Momen nominal, Mn	534,011	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	480,6101	kNm

Tabel 4.32 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok B2-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, M_u^-	574,273	kNm
2	Faktor tahanan momen, R_n	4,5216	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01286	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	8	
5	Luas tulangan yang digunakan, A_s	3041,0617	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	Mm
7	Momen nominal, M_n	690,255	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕM_n	621,229	kNm

Tabel 4.33 Tulangan momen positif dan negatif balok B2-1.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	6	61,00	366	6	61,00	366
2	0	0	0	2	108,00	216
3	0	0	0	0	0	0
n=	6	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	366	8	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	582

Tabel 4.34 Hasil perhitungan tulangan geser balok TB-2.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	273,155	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	200,00	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	150,00	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	164,207	kN
6	Tahanan geser sengkang, ϕV_s	123,155	
7	Jumlah sengkang, n_i	3	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang digunakan, s	200	Mm

e. Balok B3-1

1) Data balok B3-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 500 mm
Diameter tulangan, D	= 19 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok B3-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 57,335 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 68,909 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 73,858 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.35, Tabel 4.36, Tabel 4.37, Tabel 4.38 dan Tabel 4.39 berikut:

Tabel 4.35 Hasil perhitungan penulangan balok B3-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	59,50	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	43	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	44	mm

Tabel 4.36 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok B3-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^+	57,335	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	1,8938	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0050	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	567,0575	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	59,50	mm
7	Momen nominal, Mn	93,863	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	84,4765	kNm

Tabel 4.37 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok B3-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^-	68,909	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	2,2760	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00603	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	567,0575	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	59,50	mm
7	Momen nominal, Mn	93,863	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	84,476	kNm

Tabel 4.38 Tulangan momen positif dan negatif balok B3-1.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	59,50	119	2	59,50	119
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
n=	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	119	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	119

Tabel 4.39 Hasil perhitungan tulangan geser balok B3-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	73,858	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	72,50	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	54,375	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	25,977	kN
6	Tahanan geser sengkang, ϕV_s	19,483	
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang digunakan, s	220	mm

f. Balok B4-1

1) Data balok B4-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 500 mm
Diameter tulangan, D	= 19 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok B4-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 57,335 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 112,683 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 78,144 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.40, Tabel 4.41, Tabel 4.42, Tabel 4.43 dan Tabel 4.44 berikut:

Tabel 4.40 Hasil perhitungan penulangan balok B4-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	61,00	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	30	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	47	mm

Tabel 4.41 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok B4-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^+	57,335	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	1,9502	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0051	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	760,2654	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, Mn	156,660	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	140,9939	kNm

Tabel 4.42 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok B4-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^-	112,683	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	3,8328	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01065	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	1140,3981	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, Mn	229,550	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	206,595	kNm

Tabel 4.43 Tulangan momen positif dan negatif balok B4-1.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	61,00	122	3	61,00	183
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
n=	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	122	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	183

Tabel 4.44 Hasil perhitungan tulangan geser balok B4-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	78,144	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	87,50	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	65,625	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	16,692	kN
6	Tahanan geser sengkang, ϕV_s	12,519	
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang digunakan, s	250	mm

g. Balok B5-1

1) Data balok B5-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 500 mm
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok B5-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, Mu^+	= 49,092 kNm
Momen rencana negatif, Mu^-	= 149,002 kNm
Gaya geser rencana, Vu	= 74,209 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.45, Tabel 4.46, Tabel 4.47, Tabel 4.48 dan Tabel 4.49 berikut:

Tabel 4.45 Hasil perhitungan penulangan balok B5-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	61,00	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	34	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	47	mm

Tabel 4.46 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok B5-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^+	48,092	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	1,8786	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0049	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	760,2654	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, Mn	183,444	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	165,0994	kNm

Tabel 4.47 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok B5-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, M_u^-	149,002	kNm
2	Faktor tahanan momen, R_n	5,8204	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01740	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3	
5	Luas tulangan yang digunakan, A_s	1140,3981	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, M_n	259,859	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕM_n	233,873	kNm

Tabel 4.48 Tulangan momen positif dan negatif balok B5-1.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	61,00	122	2	61,00	122
2	0	0	0	2	108,00	216
3	0	0	0	0	0	0
n=	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	122	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	338

Tabel 4.49 Hasil perhitungan tulangan geser balok B5-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	74,209	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	66,667	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	50,00	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	32,279	kN
6	Tahanan geser sengkang, ϕV_s	24,209	
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang digunakan, s	250	mm

h. Balok BA-1

1) Data balok BA-1 :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 400 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 600 mm
Diameter tulangan, D	= 22 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

2) Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan hasil dari analisis struktur menggunakan SAP2000 versi 14 pada struktur balok BA-1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Momen rencana positif, M_u^+	= 134,235 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 207,215 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 75,233 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

3) Perhitungan Tulangan

Dengan melakukan perhitungan seperti dengan perhitungan balok sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.50, Tabel 4.51, Tabel 4.52, Tabel 4.53 dan Tabel 4.54 berikut:

Tabel 4.50 Hasil perhitungan penulangan balok BA-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	61,00	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0271	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	6,5736	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	30	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	47	mm

Tabel 4.51 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok BA-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^+	134,325	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	3,8734	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0051	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	1520,5308	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, Mn	298,813	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	268,9316	kNm

Tabel 4.52 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok BA-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen rencana positif, Mu^-	207,215	kNm
2	Faktor tahanan momen, Rn	3,7474	
3	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01038	
4	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4	
5	Luas tulangan yang digunakan, As	1520,5308	mm ²
6	Letak titik berat tulangan, d'	61,00	mm
7	Momen nominal, Mn	298,813	kNm
8	Nilai ϕ	0,9	
9	Tahanan momen balok, ϕMn	268,932	kNm

Tabel 4.53 Tulangan momen positif dan negatif balok BA-1.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	61,00	244	4	61,00	244
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	244	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	244

Tabel 4.54 Hasil perhitungan tulangan geser balok BA-1.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	75,233	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Kuat geser beton, V_c	95,00	kN
4	Tahanan geser beton, ϕV_c	71,25	kN
5	Kuat geser sengkang, V_s	5,311	kN
6	Tahanan geser sengkang, ϕV_s	3,983	
7	Jumlah sengkang, n_i	3	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang digunakan, s	250	mm

4.2.3. Pelat

a. Pelat Lantai

1) Data pelat lantai :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 3 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 3 m
Koefisien momen pelat :	
L_y/L_x	= 1
Lapangan x, C_{tx}	= 21
Lapangan y, C_{ty}	= 21
Tumpuan x, C_{tx}	= 52
Tumpuan y, C_{ty}	= 52
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 150 mm
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

- Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80
- 2) Beban pelat lantai :
- Beban mati (*dead load*), Q_D = 5,400 kNm
- Beban hidup (*live load*), Q_L = 4,0 kNm
- Beban rencana terfaktor, Q_U = 12,880 kNm
- Momen rencana (maksimum) pelat, M_u = 6,028 kNm

3) Perhitungan :

- a) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + \frac{D}{2} \\ &= 40 + \frac{10}{2} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

- b) Tebal efektif pelat :

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 150 - 45 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

- c) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{25}{240} \times \frac{600}{600+240} \\ &= 0,0387 \end{aligned}$$

- d) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned} R_{maks} &= 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right] \\ &= 0,75 \times 0,387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{240}{0,85 \times 18} \right] \\ &= 5,3807 \end{aligned}$$

- e) Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{240} \\ &= 0,0058 \end{aligned}$$

- f) Momen nominal rencana :

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

$$= \frac{6,028}{0,80}$$

$$= 7,535 \text{ kNm}$$

g) Faktor tahanan momen :

$$Rn = \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2}$$

$$= \frac{7,535 \times 10^6}{1000 \times 105^2}$$

$$= 0,68343$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

h) Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f_c'}} \right]$$

$$= 0,85 \frac{25}{240} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,68343}{0,85 \times 18}} \right]$$

$$= 0,0029$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0058$

i) Luas tulangan yang diperlukan :

$$As = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 105$$

$$= 609 \text{ mm}^2$$

j) Jarak tulangan yang diperlukan :

$$s = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{b}{As}$$

$$= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{609}$$

$$= 129 \approx 120 \text{ mm}$$

k) Jarak tulangan maksimum :

$$s_{maks} = 2h$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, P10 – 120

l) Luas tulangan terpakai :

$$As = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{b}{s}$$

$$= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{120}$$

$$= 654 \text{ mm}^2$$

m) Kontrol lendutan pelat,

$$\text{Modulus elastisitas beton, } Ec = 4700\sqrt{fc'} = 19940 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja, } Es = 200000 \text{ MPa}$$

Beban merata pada pelat :

$$\begin{aligned} Q &= Q_D + Q_L \\ &= 9,400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen inersia pelat :

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12}bh^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1000 \times 150^3 \\ &= 281250000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Modulus keruntuhan lentur beton :

$$\begin{aligned} f_r &= 0,7\sqrt{fc'} \\ &= 0,7\sqrt{25} \\ &= 2,97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perbandingan modulus elastisitas :

$$\begin{aligned} n &= \frac{Es}{Ec} \\ &= \frac{200000}{19940} \\ &= 10,53 \end{aligned}$$

Jarak garis netral ke sisi atas beton :

$$\begin{aligned} c &= \frac{nAs}{b} \\ &= \frac{10,53 \times 654}{1000} \\ &= 6,893 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen inersia penampang retak :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3}bc^3 + nAs(d - c)^2 \\ &= \frac{1}{3}1000 \times 6,893^3 + 10,53 \times 654(105 - 6,893)^2 \\ &= 66452272 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{150}{2} \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen retak :

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\ &= \frac{2,97 \times 281250000}{75} \\ &= 11136932 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen maksimum akibat beban :

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{8} Q L x^2 \\ &= \frac{1}{8} 9,400 \times 3000^2 \\ &= 10575000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Inersia efektif untuk lendutan :

$$\begin{aligned} I_e &= I_g \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 + I_{cr} \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \\ &= 317343361 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan elastis akibat beban :

$$\begin{aligned} \delta_e &= \frac{5}{382} \times \frac{Q L x^4}{E_c \times I_e} \\ &= 1,567 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio tulangan *slab* lantai :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= 0,0062 \end{aligned}$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun), $\zeta = 2,0$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\zeta}{1 + 50\rho} \\ &= 1,5248 \end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut :

$$\begin{aligned} \delta_g &= \lambda Q \frac{5}{382} \times \frac{L x^4}{E_c \times I_e} \\ &= 2,389 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan total :

$$\begin{aligned} \delta_{tot} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 1,567 + 2,389 \\ &= 3,956 \end{aligned}$$

Kontrol lendutan :

$$\delta_{tot} < Lx/240$$

$$\delta_{tot} < 12,500 \quad (\text{aman}).$$

b. Pelat Tangga

1) Data pelat tangga :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 2,4 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 3,6 m
Koefisien momen pelat :	
L_y/L_x	= 1,5
Lapangan x, C_{tx}	= 36
Lapangan y, C_{ty}	= 17
Tumpuan x, C_{tx}	= 76
Tumpuan y, C_{ty}	= 57
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 120 mm
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80

2) Beban pelat tangga :

Beban mati (<i>dead load</i>), Q_D	= 4,680 kNm
Beban hidup (<i>live load</i>), Q_L	= 2,5 kNm
Beban rencana terfaktor, Q_U	= 9,616 kNm
Momen rencana (maksimum) pelat, M_u	= 4,210 kNm

3) Perhitungan :

Dengan cara melakukan perhitungan yang sama pada perhitungan pelat sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.55 dan Tabel 4.56 berikut:

Tabel 4.55 Hasil perhitungan penulangan pelat tangga.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	45	mm
2	Tebal efektif pelat, d	75	mm
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Rasio tulangan minimum, ρ	0,0058	
6	Momen nominal rencana, Mn	5,562	kNm
7	Faktor tahanan momen, Rn	0,93544	
8	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0040	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	435	mm ²
10	Jarak tulangan yang diperlukan, s	180	mm
11	Jarak tulangan maksimum, s_{maks}	240	mm
12	Luas tulangan terpakai, As	436	mm ²

Tabel 4.56 Hasil perhitungan kontrol lendutan pelat tangga

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Modulus elastisitas beton, E_c	19940	MPa
2	Modulus elastisitas baja, E_s	200000	MPa
3	Beban merata pada pelat, Q	7,180	N/mm
4	Momen inersia pelat, I_g	144000000	mm ³
5	Modulus keruntuhan lentur beton, f_r	2,96984848	MPa
6	Perbandingan modulus elastisitas, n	10,53	
7	Jarak garis netral ke sisi atas beton, c	4,595	mm
8	Momen inersia penampang retak, I_{cr}	22809911	mm ⁴
9	Momen retak, M_{cr}	7127636	Nmm
10	Momen maksimum akibat beban, M_a	5169600	Nmm
11	Inersia efektif untuk lendutan, I_e	340448227	mm ⁴
12	Lendutan elastis akibat beban, δ_e	0,457	mm
13	Rasio tulangan <i>slab</i> lantai, ρ	0,0058	
14	Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati, λ	1,5493	
15	Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut, δ_g	0,708	mm
16	Lendutan total, δ_{tot}	1,165	mm

c. Pelat Bordes

1) Data pelat bordes :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 2,4 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 2,5 m
Koefisien momen pelat :	
L_y/L_x	= 1
Lapangan x, C_{tx}	= 21
Lapangan y, C_{ty}	= 21
Tumpuan x, C_{tx}	= 52
Tumpuan y, C_{ty}	= 52
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 120 mm
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80

2) Beban pelat bordes :

Beban mati (<i>dead load</i>), Q_D	= 4,680 kNm
Beban hidup (<i>live load</i>), Q_L	= 2,5 kNm
Beban rencana terfaktor, Q_U	= 9,616 kNm
Momen rencana (maksimum) pelat, M_u	= 2,880 kNm

3) Perhitungan :

Dengan cara melakukan perhitungan yang sama pada perhitungan pelat sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.57 dan Tabel 4.58 berikut:

Tabel 4.57 Hasil perhitungan penulangan pelat bordes.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	45	mm
2	Tebal efektif pelat, d	75	mm
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Rasio tulangan minimum, ρ	0,0058	
6	Momen nominal rencana, M_n	3,600	kNm
7	Faktor tahanan momen, R_n	0,64004	
8	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0027	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	435	mm ²
10	Jarak tulangan yang diperlukan, s	180	mm
11	Jarak tulangan maksimum, s_{maks}	240	mm
12	Luas tulangan terpakai, A_s	436	mm ²

Tabel 4.58 Hasil perhitungan kontrol lendutan pelat bordes.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Modulus elastisitas beton, E_c	19940	MPa
2	Modulus elastisitas baja, E_s	200000	MPa
3	Beban merata pada pelat, Q	7,180	N/mm
4	Momen inersia pelat, I_g	144000000	mm ³
5	Modulus keruntuhan lentur beton, f_r	2,96984848	MPa
6	Perbandingan modulus elastisitas, n	10,03	
7	Jarak garis netral ke sisi atas beton, c	4,376	mm
8	Momen inersia penampang retak, I_{cr}	21855914	mm ⁴
9	Momen retak, M_{cr}	7127636	Nmm
10	Momen maksimum akibat beban, M_a	5169600	Nmm
11	Inersia efektif untuk lendutan, I_e	341994650	mm ⁴
12	Lendutan elastis akibat beban, δ_e	0,455	mm
13	Rasio tulangan <i>slab</i> lantai, ρ	0,0058	
14	Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati, λ	1,5493	
15	Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut, δ_g	0,705	mm
16	Lendutan total, δ_{tot}	1,160	mm

d. Pelat Atap

1) Data pelat atap :

Kuat tekan beton, f_c'	= 25 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 3,0 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 3,0 m
Koefisien momen pelat :	
L_y/L_x	= 1
Lapangan x, C_{tx}	= 21
Lapangan y, C_{ty}	= 21
Tumpuan x, C_{tx}	= 52
Tumpuan y, C_{ty}	= 52
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 120 mm
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80

2) Beban pelat atap :

Beban mati (<i>dead load</i>), Q_D	= 4,680 kNm
Beban hidup (<i>live load</i>), Q_L	= 2,5 kNm
Beban rencana terfaktor, Q_U	= 9,616 kNm
Momen rencana (maksimum) pelat, M_u	= 4,500 kNm

3) Perhitungan :

Dengan melakukan cara perhitungan yang sama pada perhitungan pelat sebelumnya, maka didapatkan hasil seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.59 dan Tabel 4.60 berikut:

Tabel 4.59 Hasil perhitungan penulangan pelat atap.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	45	mm
2	Tebal efektif pelat, d	75	mm
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Rasio tulangan minimum, ρ	0,0058	
6	Momen nominal rencana, M_n	5,625	kNm
7	Faktor tahanan momen, R_n	1,00006	
8	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0043	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	435	mm ²
10	Jarak tulangan yang diperlukan, s	180	mm
11	Jarak tulangan maksimum, s_{maks}	240	mm
12	Luas tulangan terpakai, A_s	436	mm ²

Tabel 4.60 Hasil perhitungan kontrol lendutan pelat atap.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Modulus elastisitas beton, E_c	19940	MPa
2	Modulus elastisitas baja, E_s	200000	MPa
3	Beban merata pada pelat, Q	7,180	N/mm
4	Momen inersia pelat, I_g	144000000	mm ³
5	Modulus keruntuhan lentur beton, f_r	2,96984848	MPa
6	Perbandingan modulus elastisitas, n	10,03	
7	Jarak garis netral ke sisi atas beton, c	4,376	mm
8	Momen inersia penampang retak, I_{cr}	21855914	mm ⁴
9	Momen retak, M_{cr}	7127636	Nmm
10	Momen maksimum akibat beban, M_a	8077500	Nmm
11	Inersia efektif untuk lendutan, I_e	105778362	mm ⁴
12	Lendutan elastis akibat beban, δ_e	3,590	mm
13	Rasio tulangan <i>slab</i> lantai, ρ	0,0058	
14	Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati, λ	1,5493	
15	Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut, δ_g	5,562	mm
16	Lendutan total, δ_{tot}	9,153	mm

4.3 Pembahasan

4.3.1. Evaluasi Struktur Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang berfungsi menopang struktur secara vertikal dan menerima gaya-gaya berupa beban lateral dan gaya dari balok, kemudian gaya tersebut didistribusikan kepada pondasi untuk diteruskan ke tanah lapisan keras. Kolom yang digunakan pada struktur Gedung Upacara dan Parkir SMA Muhammadiyah 3 Yogyakarta berbentuk persegi. Berdasarkan data yang didapat dari analisis perhitungan yang dilakukan sebelumnya dari *software* SAP2000 versi 14 diketahui ada beberapa frame kolom pada struktur gedung ini yang dinyatakan tidak aman terhadap gaya-gaya yang bekerja terhadap struktur, hal itu disebabkan karena kesalahan dalam operasional dari produk konstruksi tersebut, dimana pihak pemilik merubah dari fungsi awalnya yang diperuntukan untuk gedung parkir dan perkantoran menjadi gedung parkir, perkantoran dan gedung sarana olahraga yang menyebabkan perubahan pada beban hidup yang diterima struktur meningkat dimana beban hidup yang digunakan untuk bangunan sekolah dan kantor sebesar 250 kg/m^2 menjadi 400 kg/m^2 berdasarkan fungsi dari bangunan itu sendiri seperti yang tertera pada PPURG 1987. Oleh karena itu perlu dilakukan perkuatan terhadap beberapa struktur kolom pada bangunan ini. Pada penelitian ini sistem perkuatan yang digunakan adalah dengan cara penambahan tulangan terhadap struktur kolom. Adapun perbandingan jumlah tulangan berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.62. Untuk detail kolom sendiri dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3.2. Evaluasi Struktur Balok

Balok merupakan elemen struktur melintang secara horizontal yang berfungsi menerima gaya-gaya berupa beban lateral, beban searah sumbu gravitasi dan beban dari elemen pelat, kemudian gaya tersebut didistribusikan kepada elemen kolom. Kombinasi kekuatan yang diberikan beton dan tulangan besi, diharapkan dapat memperkuat elemen struktur balok. Penulangan balok dilakukan dari 20 perhitungan gaya-gaya dalam yang bekerja pada balok. Hasil analisis *software* SAP2000 versi 14 menunjukkan bahwa semua tipe balok dapat dikatakan sangat aman atau boros yang menunjukkan bahwa perlu adanya

pengurangan jumlah dan jarak tulangan yang digunakan sehingga memenuhi kebutuhan jumlah tulangan hasil perencanaan.

Perbandingan tulangan lentur dan tulangan geser hasil evaluasi berdasarkan analisis perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan hasil sebagai berikut yang dapat dilihat pada Tabel 4.61. Untuk detail balok sendiri dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 4.61 Penulangan pada balok.

No	Tipe Kolom	Penulangan	Desain awal		Desain rencana	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1	TB-1 400x700	Tul. Atas	8D22	8D22	6D22	4D22
		Tul. Bawah	8D22	8D22	4D22	6D22
		Sengkang	4P10-100	4P10-150	3P10-250	3P10-250
2	TB-2 300x600	Tul. Atas	4D22	4D22	4D22	3D22
		Tul. Bawah	4D22	4D22	3D22	4D22
		Sengkang	3P10-100	3P10-150	2P10-200	2P10-200
3	B1-1 400x900	Tul. Atas	10D22	4D22	8D22	4D22
		Tul. Bawah	5D22	6D22	5D22	6D22
		Sengkang	4P10-60	4P10-150	4P10-250	3P10-250
4	B2-1 400x700	Tul. Atas	8D22	4D22	8D22	4D22
		Tul. Bawah	6D22	6D22	6D22	6D22
		Sengkang	4P10-60	4P10-150	3P10-200	3P10-250
5	B3-1 200x500	Tul. Atas	3D19	3D19	2D19	2D19
		Tul. Bawah	3D19	3D19	2D19	2D19
		Sengkang	3P10-60	3P10-150	2P10-220	2P10-250
6	B4-1 300x600	Tul. Atas	4D22	3D22	3D22	2D22
		Tul. Bawah	3D22	4D22	2D22	3D22
		Sengkang	4P10-100	4P10-150	2P10-250	2P10-250
7	B5-1 200x700	Tul. Atas	3D22	3D22	4D22	2D22
		Tul. Bawah	3D22	3D22	2D22	4D22
		Sengkang	4P10-100	4P10-150	2P10-250	2P10-250
8	BA-1 300x600	Tul. Atas	4D22	4D22	4D22	4D22
		Tul. Bawah	4D22	4D22	4D22	4D22
		Sengkang	3P10-150	3P10-150	3P10-250	3P10-250

Tabel 4.62 Penulangan pada kolom.

No	Tipe Kolom	Penulangan	Desain awal		Desain rencana	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1	K1 600x900	Tul. Utama	24D22	24D22	26D22	26D22
		Sengkang	4P10-100	4P10-150	4P10-100	4P10-150
2	K2 600x600	Tul. Utama	20D22	20D22	24D22	24D22
		Sengkang	4P10-100	4P10-150	4P10-100	4P10-150
3	K3 400x600	Tul. Utama	18D19	18D19	22D22	22D22
		Sengkang	4P10-100	4P10-150	4P10-100	4P10-150
4	K4 300x500	Tul. Utama	12D19	12D19	12D19	12D19
		Sengkang	3P10-100	3P10-150	3P10-100	3P10-150
5	K5 200x400	Tul. Utama	6D19	6D19	6D19	6D19
		Sengkang	2P10-100	2P10-150	2P10-100	2P10-150

Tabel 4.63 Desain struktur pelat.

No.	Komponen	Tulangan
1	Pelat Lantai	2P10-120
2	Pelat Bordes	2P10-180
3	Pelat Tangga	2P10-180
4	Pelat Atap	2P10-180