

4.2. Perencanaan Sistem Flat-Slab dengan *Drop Panel*

4.2.1. Pembebanan *Flat Slab*

Beban rencana yang bekerja pada struktur ini disesuaikan dengan Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung (SKBI- 1.3.53.1987). Beban yang bekerja pada pelat antara lain :

1) Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah beban akibat berat sendiri pelat beton dengan nilai massa jenis 2400 kg/m^3 atau 24 kN/m^3 ditambah dengan beban mati tambahan (*ADL*).

Beban mati tambahan (*ADL*) lantai :

- | | |
|-------------------------|---|
| 1) Spesi (2 cm) | $= 21 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 2 \text{ cm} = 42 \text{ kg/m}^2$ |
| 2) Keramik (1 cm) | $= 24 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 1 \text{ cm} = 24 \text{ kg/m}^2$ |
| 3) Pasir (5 cm) | $= 16 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 5 \text{ cm} = 80 \text{ kg/m}^2$ |
| 4) Mekanikal/Elektrikal | $= 20 \text{ kg/m}^2$ |

Beban mati tambahan pada pelat lantai adalah 166 kg/m^2 atau $1,63 \text{ kN/m}^2$

2) Beban hidup (*Life load*)

- 1) Pada pelat lantai sebesar 250 kg/m^2 atau $2,45 \text{ kN/m}^2$

4.2.2. Perencanaan *Flat Slab*

a. Penentuan tebal *flat slab*

Perencanaan pelat didasarkan pada panel terbesar yaitu $8 \text{ m} \times 6 \text{ m}$

Dimensi kolom $60 \times 60 \text{ cm}$

Bentang tepi ke tepi kolom terpanjang, $L_n = 7,6 \text{ m}$

Berdasarkan Tabel 2. 9, tebal pelat dengan penebalan mutu baja ($f_y = 420$

Mpa) maka tebal minimum didapat sebagai berikut:

$$\text{Panel eskterior tanpa balok pinggir, } h_{\min} = \frac{L_n}{33} = \frac{7,6}{33} = 0,2303\text{m}$$

$$\text{Panel interior, } h_{\min} = \frac{L_n}{36} = \frac{7,6}{36} = 0,211\text{m}$$

Direncanakan tebal pelat $h = 0,24 \text{ m}$ atau 240 mm

b. Pembebanan terfaktor pada *flat slab*

$$\text{Berat sendiri } \textit{flat slab} = 0,24 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban mati tambahan} = 166 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_D = 742 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_D = 7,27 \text{ kN/m}^2$$

Beban hidup, $Q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

$$Q_L = 2,45 \text{ kN/m}^2$$

c. Perencanaan penulangan lentur *flat slab*

Perencanaan *flat slab* direncanakan dengan metode langsung dengan syarat :

- 1) Minimal terdapat tiga bentang yang menerus dalam setiap arah (syarat terpenuhi)
- 2) Panel pelat harus berbentuk persegi dengan rasio bentang yang panjang terhadap bentang yang pendek tidak lebih 2 ;

$$L_y/L_x \leq 2$$

$$8/6 \leq 2$$

$$1,33 \leq 2 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

- 3) Hanya memikul beban gravitasi dan didistribusikan merata pada panel dengan beban tak hidup terfaktor tidak boleh melebihi 2 kali beban mati tak terfaktor

$$Q_{LL} < 2 Q_{DL}$$

$$2,45 < 2 (7,27)$$

$$2,45 < 14,54 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

Berikut adalah perhitungan perencanaan penulangan lentur *flat slab* :

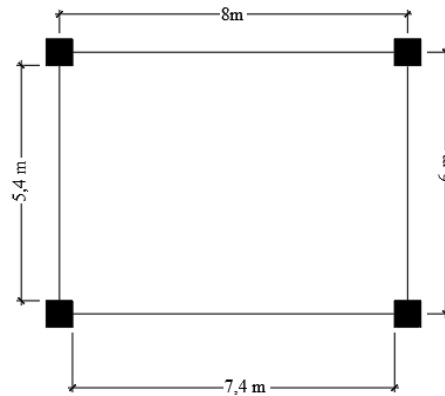
- 1) Perhitungan Momen Statis Total

Beban rencana Q_u dapat dihitung dengan persamaan 2. 11

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$$

$$Q_u = 1,2 \times 7,27 + 1,6 \times 2,45 = 12,64 \text{ kN/m}^2$$

Panel pelat yang digunakan dalam perencanaan ini dapat dilihat pada Gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Panel pelat yang direncanakan

Dari Gambar 4. 3 panel memiliki ukuran dihitung dari pusat kolom ke pusat kolom sebesar 8 m × 6 m, panel ini dipilih karena pada perencanaan ini pelat direncanakan tipikal dengan memilih panel yang paling besar.

Penulangan lentur arah melebar :

$$L_2 = 6 \text{ m}$$

$$L_{n2} = 5,4 \text{ m}$$

$$\text{Syarat nilai } L_{n2} > 0,65 \cdot L_2 = 0,65 \times 6 = 3,9 \text{ m}$$

Momen statis total dihitung dengan menggunakan persamaan 2. 10

$$M_o = \frac{1}{8} Q_u L_2 L_n^2$$

$$M_o = \frac{1}{8} 12,64 \times 6 \times 5,4^2$$

$$M_o = 276,52 \text{ kNm}$$

Penulangan lentur arah memanjang

$$L_2 = 8 \text{ m}$$

$$L_{n2} = 7,4 \text{ m}$$

$$\text{Syarat nilai } L_{n2} > 0,65 \cdot L_2 = 0,65 \times 7 = 4,55 \text{ m}$$

Momen statis total dihitung dengan menggunakan persamaan 2. 10

$$M_o = \frac{1}{8} Q_u L_2 L_n^2$$

$$M_o = \frac{1}{8} 12,64 \times 8 \times 7,4^2$$

$$M_o = 692,38 \text{ kNm}$$

2) Distribusi Momen

Untuk perhitungan distribusi momen dapat dilihat pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Distribusi momen *flat slab*

Distribusi momen	Arah	
	Melebar (kNm)	Memanjang (kNm)
Untuk panel bentang dalam :		
Momen rencana negatif, $M_r^- = 0,65.M_o$	179,74	450,05
Momen rencana positif, $M_r^+ = 0,35.M_o$	96,78	242,33
Untuk panel bentang ujung :		
Momen negatif interior, $M_i^- = 0,7.M_o$	193,57	484,67
Momen positif, $M^+ = 0,52.M_o$	143,79	360,04
Momen negatif eksterior, $M_e^- = 0,26.M_o$	71,90	180,02

Dari Tabel 2. 5 didapat koefisien untuk tipe flat slab tanpa balok interior dan tanpa balok tepi pada momen bentang ujung seperti terlihat pada Tabel 4. 1.

3) Distribusi momen lajur kolom dan lajur tengah

Untuk perhitungan distribusi momen arah melebar seperti Tabel 4. 2

Tabel 4. 2 Distribusi momen *flat slab-drop panel* arah melebar

Lajur	Arah Melebar (6m)				
	$\frac{L2}{L1} = \frac{6}{8} = 0,75 \quad \alpha 1 \frac{L2}{L1} = 0$				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
	(kNm)				
M_o	96,78	179,74	71,90	143,79	193,57
Faktor distribusi	60%	75%	100%	60%	75%
Momen Rencana Lajur Kolom	$0,6 \times 96,78$ 58,07	$0,75 \times 179,74$ 134,81	$1 \times 71,90$ 71,90	$0,6 \times 143,79$ 86,28	$0,75 \times 193,57$ 145,18
Momen Rencana Lajur Tengah	96,78- 58,07	179,74- 134,81	71,90- 71,90	143,79- 86,28	193,57- 145,18
	38,71	44,94	0,00	57,52	48,39

Dari Tabel 4. 2 koefisien untuk pelat tanpa balok tepi , maka nilai $\beta_t = 0$, dan $\alpha_1 = 0$. Dari Tabel 2. 6 didapat nilai koefisien 75%, dari Tabel 2. 7 didapat nilai koefisien 60% dan dari Tabel 2. 8 didapat nilai koefisien 100%. Sedangkan untuk arah memanjang dapat dilihat pada Tabel 4. 3 .

Tabel 4. 3 Distribusi momen *flat slab-drop panel* arah memanjang

Arah Memanjang (8m)					
$\frac{L_2}{L_1} = \frac{8}{6} = 1,33 \quad \alpha_1 \frac{L_2}{L_1} = 0$					
Lajur	Bentang Dalam			Bentang Ujung	
	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
(kNm)					
M_o	242,33	450,05	180,02	360,04	484,67
Faktor distribusi	60%	75%	100%	60%	75%
Momen Rencana Lajur Kolom	$0,6 \times 242,33$	$0,75 \times 450,05$	$1 \times 180,02$	$0,6 \times 360,04$	$0,75 \times 484,67$
	145,40	337,54	180,02	216,02	363,50
Momen Rencana Lajur Tengah	242,33-145,40	450,05-337,54	180,02-180,02	360,04-216,02	484,67-363,50
	96,93	112,51	0,00	144,02	121,17

Dari Tabel 4. 3 nilai koefisien yang digunakan sama dengan nilai koefisien pada arah melebar yaitu dari Tabel 2. 6 didapat nilai koefisien 75%, dari Tabel 2. 7 didapat nilai koefisien 60% dan dari Tabel 2. 8 didapat nilai koefisien 100%.

4) Penulangan lentur pelat

Momen nominal pelat dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$M_n = \frac{M_u}{0,8.L} \dots\dots\dots (4. 1)$$

a) Momen nominal pelat untuk lajur kolom

Lebar lajur kolom menurut SNI 2847-2013 pasal 13.2.1 diambil nilai terkecil antara $0,25\ell_1$ dan $0,25\ell_2$, termasuk balok jika ada.

$$0,25\ell_1 = 0,25 \times 8 = 2 \text{ m}$$

$$0,25\ell_2 = 0,25 \times 6 = 1,5 \text{ m}$$

Lebar lajur kolom untuk 1 panel pelat diambil = $2 \times 1,5 = 3$ m
 Perhitungan momen nominal pelat arah melebar (6m) dapat dilihat pada Tabel 4. 4 dan untuk arah memanjang (8m) dapat dilihat pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 4 Momen nominal pelat lajur kolom arah melebar

	Arah Melebar (6m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
Mu (kNm)	58,07	134,81	71,90	86,28	145,18
Lebar lajur kolom (m)	3	3	3	3	3
Mn (kNm)	24,20	56,17	29,96	35,95	60,49

Tabel 4. 5 Momen nominal pelat lajur kolom arah memanjang

	Arah Memanjang (8m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
Mu (kNm)	145,40	337,54	180,02	216,02	363,50
Lebar lajur kolom	3	3	3	3	3
Mn (kNm)	60,58	140,64	75,01	90,01	151,46

Dari Tabel 4. 4 dan Tabel 4. 5 lebar lajur kolom pada arah melebar maupun arah memanjang nilainya sama yaitu 3 m, karena nilai lajur kolom baik arah melebar atau memanjang digunakan dari nilai kolom terkecil.

b) Momen nominal pada lajur tengah

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.2.1, lajur tengah adalah lajur yang terbentuk diantara dua buah lajur kolom.

Lebar lajur tengah = $6-3 = 3$ m

Perhitungan arah melebar (6m) dapat dilihat pada Tabel 4. 6

Tabel 4. 6 Momen nominal pelat lajur tengah arah melebar

	Arah Melebar (6m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
Mu (kNm)	38,71	44,94	0,00	57,52	48,39
Lebar lajur tengah (m)	3	3	3	3	3
Mn (kNm)	16,13	18,72	0,00	23,97	20,16

Perhitungan arah memanjang (8m) dapat dilihat pada Tabel 4. 5

Lebar lajur tengah = $8-3 = 5$ m

Tabel 4. 7 Momen nominal pelat lajur tengah arah memanjang

	Arah Memanjang (8m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
Mu (kNm)	96,93	112,51	0,00	144,02	121,17
Lebar lajur tengah	5	5	5	5	5
Mn (kNm)	24,23	28,13	0,00	36,00	30,29

Pada Tabel 4. 6 dan Tabel 4. 7 lajur tengah didihitung dengan cara lebar arah panel dikurangi dengan lebar lajur kolom.

c) Contoh perhitungan tulangan negatif bentang dalam, lajur kolom arah melebar (6m) pada tulangan negatif :

i. Menghitung nilai A_s dari persamaan momen nominal

$$M_n = 56,17 \text{ kNm} = 56168994,38 \text{ Nmm}$$

Tinggi efektif penampang dihitung dengan persamaan 2. 15

$d = \text{tinggi pelat} - t.\text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{diameter tulangan}$

$$d = 240 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 16$$

$$d = 212 \text{ mm}$$

Dari persamaan 2. 14, maka nilai A_s dihitung dengan menaksir nilai

lebar momen $(d - \frac{1}{2} a) = 0,9d$ seperti berikut:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$56168994,38 = A_s \times 420 \times 0,9 \times 212$$

$$A_s = 700,92 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dapat dihitung nilai a dengan persamaan 2. 16

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{700,92 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 13,85 \text{ mm}$$

Maka nilai A_s yang baru dihitung lagi menggunakan persamaan 2. 14

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$56168994,38 = A_s \times 420 \left(212 - \frac{1}{2} 13,85 \right)$$

$$A_s = 652,14 \text{ mm}^2$$

ii. Menghitung batasan tulangan minimum dan tulangan maksimum

Rasio penulangan minimum dihitung menggunakan persamaan 2. 19

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Luas tulangan minimum dapat dihitung menggunakan persamaan 2. 18

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s \min} = 0,00333 \times 1000 \times 212 = 706,67 \text{ mm}^2$$

Rasio penulangan maksimum dihitung menggunakan persamaan 2. 22

$$\rho_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) f_y}$$

$$\rho_{\max} = \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 25}{(600 + 420) 420} = 0,01897$$

Luas tulangan maksimum dapat dihitung menggunakan persamaan 2. 21

$$A_{s \max} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s \max} = 0,01897 \times 1000 \times 212 = 4022,32 \text{ mm}^2$$

iii. Menentukan tulangan yang akan didesain

Sebelum menentukan tulangan yang akan digunakan cek rasio tulangan sudah memenuhi syarat $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$.

Dari nilai $A_s = 652,14 \text{ mm}^2$ dengan persamaan 2. 24 didapat nilai ρ seperti berikut:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$652,14 = \rho \times 1000 \times 212$$

$$\rho = 0,019$$

nilai $\rho < \rho_{min}$, maka digunakan nilai ρ_{min}

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,0033$, maka luas tulangan perlu dapat dihitung dengan persamaan 2. 24

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 212$$

$$= 706,67 \text{ mm}^2$$

Dicoba digunakan tulang D16, $A_{s \text{ tul}} = 201,06 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan dalam 1 m pada momen negatif menggunakan persamaan 2. 25

$$s = \frac{A_{s \text{ tul}} \cdot 1000}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$s = \frac{201,06 \times 1000}{706,67} = 284,52 \text{ mm}$$

Jarak maksimum, $s \text{ maks} = 2 \cdot h = 2 \times 240 = 480 \text{ mm}$

Maka digunakan jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$

Tulangan yang digunakan D16-250, maka luas tulangan yang digunakan dengan menggunakan persamaan 2. 26

$$A_{s \text{ pakai}} = n \times 0,25 \times \pi \times D^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 5 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek syarat penulangan dengan persamaan 2. 27

$$A_{s \text{ min}} < A_{s \text{ pakai}} < A_{s \text{ maks}}$$

$$706,67 \text{ mm}^2 < 1005,31 \text{ mm}^2 < 4022,32 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

iv. Cek tahanan momen lajur kolom arah melebar (6m)

Luas $A_{s \text{ pakai}} = 1005,31 \text{ mm}^2$, maka nilai a baru dihitung dengan persamaan 2. 16

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1005,31 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 19,87 \text{ mm}$$

Nilai ϕM_n dihitung dengan hubungan persamaan 2. 14 dan 4. 1 didapat persamaan 4. 2

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - \frac{l}{2} a \right) L \dots\dots\dots (4. 2)$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 1005,31 \times 420 \left(212 - \frac{1}{2} 19,87 \right) \times 3$$

$$\phi M_n = 204763068 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 204,76 \text{ kNm} > M_u = 134,81 \text{ kNm (OK)}$$

Untuk perhitungan penulangan arah melebar dapat dilihat pada Tabel 4. 8 dan untuk arah memanjang pada Tabel 4. 10. Sedangkan untuk rekap penulangan arah melebar dapat dilihat pada Tabel 4. 9 dan untuk arah memanjang pada Tabel 4. 11.

Tabel 4. 8 Perhitungan penulangan *flat slab-drop panel* arah melebar (6m)

	Bentang dalam				Bentang ujung					
	Lajur Kolom		Lajur Tengah		Lajur Kolom		Lajur Tengah			
	Mn-	Mn+	Mn-	Mn+	Me-	M+	Mi-	Me-	M+	Mi-
Mn (Nmm)	5,6E+07	2,4E+07	1,9E+07	1,6E+07	3,0E+07	3,6E+07	6,0E+07	0,0E+00	2,4E+07	2,0E+07
As	700,92	301,94	233,64	201,29	373,82	448,59	754,84	0,00	299,06	251,61
a	13,85	5,97	4,62	3,98	7,39	8,87	14,92	0,00	5,91	4,97
A _{sada}	652,14	275,62	212,59	182,88	342,41	412,35	704,13	0,00	272,96	229,14
p _{min}	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
A _{min} (mm ²)	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67
ρ maks	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
A _{maks}	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32
ρ ada	0,0031	0,0013	0,0010	0,0009	0,0016	0,0019	0,0033	0,0000	0,0013	0,0011
digunakan A _{perlu}	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67
D (mm)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
A _{s tul}	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06
S _{perlu} (mm)	284,52	284,52	284,52	284,52	284,52	284,52	284,52	284,52	284,52	284,52
S _{maks} (mm)	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
S _{digunakan} (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Dipilih Tulangan	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
A _{s pakai}	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31
A _{s min} < A _{s pakai} < A _{s maks}	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
a	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87
L	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
φM _n	204,76	204,76	204,76	204,76	204,76	204,76	204,76	204,76	204,76	204,76
M _u	134,81	58,07	44,94	38,71	71,90	86,28	145,18	0,00	57,52	48,39
φM _n > M _u	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4. 9 Rekap penulangan *flat slab-drop panel* arah melebar (6m)

Tebal pelat Desain=240 mm														
Arah Penulangan														
Untuk Arah Melebar (6m)														
Lajur	Jenis Momen	Mn (kNm)	A _s perlu (mm ²)	Dia. Tul Rencana	Jarak perlu (mm)	Digunakan	A _s Tul aktual (mm ²)	A _s Tul min (mm ²)	A _s Tul maks (mm ²)	A _{min} < A _{aktual} < A _{maks}	ϕM _n	M _u	ϕM _n >M _u	
Bentang Ujung	Kolom	Me-	29,96	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	71,90	OK
		M+	35,95	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	86,28	OK
		Mi-	60,49	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	145,18	OK
	Tengah	Me-	0,00	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	0,00	OK
		M+	23,97	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	57,52	OK
		Mi-	20,16	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	48,39	OK
Bentang Dalam	Kolom	Mn-	56,17	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	134,81	OK
		Mn+	24,20	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	58,07	OK
	Tengah	Mn-	18,72	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	44,94	OK
		Mn+	16,13	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	38,71	OK

Tabel 4. 10 Perhitungan penulangan *flat slab-drop panel* arah memanjang (8m)

	Bentang dalam				Bentang ujung					
	Lajur Kolom		Lajur Tengah		Lajur Kolom		Lajur Tengah			
	Mn-	Mn+	Mn-	Mn+	Me-	M+	Mi-	Me-	M+	Mi-
Mn (Nmm)	1,4,E+08	6,1,E+07	2,8,E+07	2,4,E+07	7,5,E+07	9,0,E+07	1,5,E+08	0,0,E+00	3,6,E+07	3,0,E+07
As	1755,03	756,01	351,01	302,40	936,01	1123,22	1890,03	0,00	449,29	378,01
a	34,69	14,94	6,94	5,98	18,50	22,20	37,36	0,00	8,88	7,47
A _{sperlu}	1720,26	705,26	321,16	276,06	880,85	1066,75	1865,37	0,00	413,01	346,31
p _{min}	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
A _{min} (mm ²)	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67	706,67
ρ maks	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190
A _{maks}	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32	4022,32
ρ ada	0,0081	0,0033	0,0015	0,0013	0,0042	0,0050	0,0088	0,0000	0,0019	0,0016
Digunakan A _{perlu}	1720,26	706,67	706,67	706,67	880,85	1066,75	1865,37	706,67	706,67	706,67
D (mm)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
A _{s tul}	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06
S _{perlu} (mm)	116,88	284,52	284,52	284,52	228,26	188,48	107,79	284,52	284,52	284,52
S _{maks} (mm)	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
S digunakan (mm)	100	250	250	250	250	250	100	250	250	250
Dipilih Tulangan	D16-100	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-100	D16-250	D16-250	D16-250
n	11	5	5	5	5	5	11	5	5	5
A _{s pakai}	2211,68	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	2211,68	1005,31	1005,31	1005,31
A _{s min} < A _{s pakai} < A _{s maks}	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
a	43,71	19,87	19,87	19,87	19,87	23,84	43,71	19,87	19,87	19,87
L	3,00	3,00	5,00	5,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	5,00
φM _n	423,90	204,76	341,27	341,27	204,76	243,30	423,90	341,27	341,27	341,27
M _u	337,54	145,40	112,51	96,93	180,02	216,02	363,50	0,00	144,02	121,17
φM _n > M _u	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4. 11 Rekap penulangan *flat slab-drop panel* arah memanjang (8m)

Tebal pelat Desain=240 mm														
Arah Penulangan		Untuk Arah Melebar (6m)												
Lajur	Jenis Momen	Mn (kNm)	A _s perlu (mm ²)	Dia. Tul Rencana	Jarak perlu (mm)	Digunakan	A _s Tul aktual (mm ²)	A _s Tul min (mm ²)	A _s Tul maks (mm ²)	A _{min} < A _{aktual} < A _{maks}	φM _n	M _u	φM _n > M _u	
Bentang Ujung	Kolom	Me-	75,01	878,38	16,00	228,90	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	180,02	OK
		M+	90,01	1063,63	16,00	188,48	D16-200	1206,37	706,67	4022,32	OK	243,30	216,02	OK
		Mi-	151,46	1862,78	16,00	107,79	D16-100	2211,68	706,67	4022,32	OK	423,90	363,50	OK
	Tengah	Me-	0,00	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	341,27	0,00	OK
		M+	36,00	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	341,27	144,02	OK
		Mi-	30,29	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	341,27	121,17	OK
Bentang Dalam	Kolom	Mn-	140,64	1716,94	16,00	116,88	D16-100	2211,68	706,67	4022,32	OK	423,90	337,54	OK
		Mn+	60,58	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	204,76	145,40	OK
	Tengah	Mn-	28,13	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	341,27	112,51	OK
		Mn+	24,23	706,67	16,00	284,52	D16-250	1005,31	706,67	4022,32	OK	341,27	96,93	OK

5) Cek lendutan pada *flat slab*

Tebal pelat (h) : 240 mm

Panjang bentang bersih Ln : 7,4 m

Beban pada pelat :

Berat sendiri *flat slab* = $0,24 \times 2400 \times 1 = 576 \text{ kg/m}$

Beban mati tambahan = 166 kg/ m

$$Q_D = 742 \text{ kg/ m}$$

Beban mati total, $Q_D = 7,27 \text{ kN/m}$

Beban hidup, $Q_L = 250 \text{ kg/ m}$

$$Q_L = 2,45 \text{ kN/m}$$

a) Beban rencana Q_u dapat dihitung dengan persamaan 2. 11

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$$

$$Q_u = 1,2 \times 7,27 + 1,6 \times 2,45 = 12,64 \text{ kN/m}$$

b) Momen maksimum akibat beban merata

$$M_u = \frac{1}{8} Q_u L_n^2 \dots\dots\dots (4. 3)$$

$$M_u = \frac{1}{8} \times 12,64 \times 7,4^2 = 86,52 \text{ kNm}$$

c) Momen inersia bruto (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} b h^3 \dots\dots\dots (4. 4)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1000 \times 240^3 = 1152 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

d) Letak garis netral (x)

Modulus beton, E_c

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (4. 5)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

Modulus baja , $E_s = 200000 \text{ Mpa}$

Rasio modulus, n

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (4. 6)$$

$$n = \frac{200000}{23000} = 8,7$$

Jarak tulangan : D16-250, $A_s \text{ pakai} = 1005,31 \text{ mm}^2$

$$\frac{bx^2}{2} - n.A_s(d-x) = 0 \dots\dots\dots (4.7)$$

$$\frac{bx^2}{2} = n.A_s(d-x)$$

$$\frac{1000x^2}{2} = 8,7 \times 1005,31(212 - x)$$

$$500x^2 = -8746,2x + 1854193,7$$

$$x = 52,78 \text{ mm}$$

e) Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{bx^3}{3} + n.A_s(d-x)^2 \dots\dots\dots (4.8)$$

$$I_{cr} = \frac{1000 \times 52,78^3}{3} + 8,7 \times 1005,31(212 - 52,78)^2 = 270,73 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

f) Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t} \dots\dots\dots (4.9)$$

$$M_{cr} = \frac{0,62\sqrt{25} \times 1152 \times 10^6}{240/2} = 29,76 \text{ kNm}$$

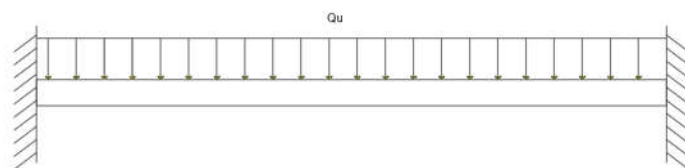
g) Momen inersia efektif (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 \right] \times I_{cr} \leq I_g \dots\dots\dots (4.10)$$

$$I_e = \left(\frac{29,76}{86,52} \right)^3 \times 1152 \times 10^6 + \left[1 - \left(\frac{29,76}{86,52} \right)^3 \right] \times 270,73 \times 10^6$$

$$I_e = 306,6 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

h) Cek lendutan akibat beban ultimate (Q_u)



Gambar 4. 4 Beban merata pada tumpuan jepit

Asumsi tumpuan yang digunakan adalah jepit-jepit dengan pembebanan merata pada pelat. Sehingga digunakan persamaan 4. 11

$$\Delta_{maks} = \frac{QL_n^4}{384EI} \dots\dots\dots (4. 11)$$

$$\Delta_{maks} = \frac{12,64 \times 7400^4}{384 \times 23500 \times 306,6 \times 10^6} = 13,69 \text{ mm}$$

Syarat lendutan izin maksimum berdasarkan Tabel 2. 10

$$\frac{L_n}{240} = \frac{7400}{240} = 30,83 \text{ mm}$$

Jadi lendutan akibat beban total yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan lendutan izin maksimum. Sehingga pelat memenuhi persyaratan izin lendutan.

- i) Cek lendutan akibat beban hidup merata 2,45 kN/m

$$\frac{2,45}{7,27+2,45} \times 13,69 = 3,45 \text{ mm}$$

Syarat lendutan izin maksimum akibat beban hidup berdasarkan Tabel 2. 10

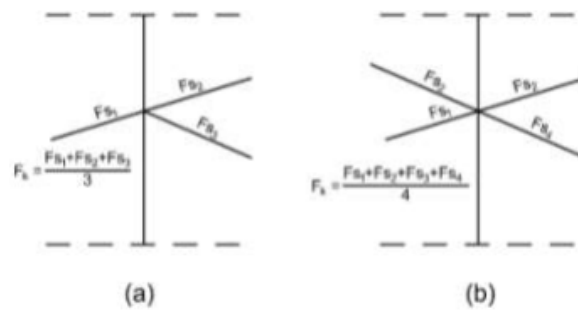
$$\frac{L_n}{360} = \frac{7400}{360} = 20,55 \text{ mm}$$

Jadi lendutan akibat beban hidup yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan lendutan izin maksimum. Sehingga pelat memenuhi persyaratan izin lendutan.

4.2.3. Faktor Perbesaran (Fk) Untuk Gaya Geser Pelat Daerah Kolom

Menurut zulfuadi (2018), faktor perbesaran ini merupakan faktor modifikasi untuk memperbesar nilai geser rencana pada pelat. Dimana nilai perbesaran yang digunakan merupakan nilai rata-rata kuat lebih lentur pelat dari masing-masing arah sumbu. Penjelasan arah sumbu dapat dilihat pada Gambar 4. 5

$$Fk = \frac{Fs_1 + Fs_2 + \dots Fs_n}{n} \dots\dots\dots (4. 12)$$



Gambar 4. 5 Simulasi perhitungan faktor perbesaran (F_k) untuk geser pelat. (a) perhitungan untuk 3 sumbu (b) perhitungan untuk 4 sumbu (Lubis, 2018)

Pada perencanaan pelat sebelumnya, ada 2 jenis penampang desain pelat rencana yaitu dengan penulangan D16-250 dan D16-100, untuk itu dibutuhkan perhitungan kapasitas momen masing-masing penampang sebagai langkah awal untuk mencari nilai faktor kuat lebih (F_s).

Kapasitas momen desain, pelat ($h = 240$ mm) dengan penulangan D16-250

$$A_s = 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1005,31 \text{ mm}^2$$

$$d = \text{Tinggi pelat} - \text{selimut} - 0,5 \cdot \text{diameter}$$

$$= 240 - 20 - 8$$

$$= 212 \text{ mm}$$

Menggunakan persamaan 2. 16

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

$$a = \frac{1005,31 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 19,87 \text{ mm}$$

Menggunakan persamaan 2. 14

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a)$$

$$M_n = 1005,31 \times 420 (212 - 0,5 \times 19,87) \times 10^{-6}$$

$$= 85,31 \text{ kNm}$$

Kapasitas momen desain, pelat ($h = 240$ mm) dengan penulangan D16-100

$$A_s = 10 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 2010,62 \text{ mm}^2$$

$$d = \text{Tinggi pelat} - \text{selimut} - 0,5 \cdot \text{diameter}$$

$$= 240 - 20 - 8$$

$$= 212 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan persamaan 2. 16

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

$$a = \frac{2010,62 \times 420}{0,85 \cdot 25 \times 1000} = 39,74 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan persamaan 2. 14

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a)$$

$$M_n = 2010,62 \times 420 (212 - 0,5 \times 39,74) \times 10^{-6} \\ = 162,25 \text{ kNm}$$

Faktor kuat lebih (F_s) momen desain terhadap momen ultimate

Menurut Zulfuadi (2018), Faktor kuat lebih (F_s) merupakan Faktor modifikasi dengan mempertimbangkan kekuatan berlebih dari momen desain lentur aktual.

$$F_s = M_n / M_u \dots\dots\dots (4. 13)$$

Faktor kuat lebih (F_s) akan digunakan sebagai faktor perbesaran rencana geser terhadap pons untuk memastikan bangunan tidak mengalami kegagalan pons sebelum mengalami kegagalan lentur. Perhitungan faktor kuat lebih dapat dilihat pada Tabel 4. 12

Tabel 4. 12 Faktor kuat lebih

Arah Penulangan menggunakan arah dengan momen terbesar (arah memanjang 8m)							
Arah Penulangan		Gaya luar		Gaya dalam		F _s = M _n /M _u	Ket
Lajur	Jenis Momen	A _s perlu (mm ²)	Momen Ultimate (kNm)	Rencana Desain penulangan	Momen Desain (kNm)		
Bentang Ujung	Kolom	Me-	878,38	75,01	D16-250	85,32	1,14 F _{s1}
		M+	1063,63	90,01	D16-250	85,32	0,95 F _{s2}
		Mi-	1862,78	151,46	D16-100	162,25	1,07 F _{s3}
	Tengah	Me-	706,67	0,00	D16-250	85,32	- -
		M+	706,67	36,00	D16-250	85,32	2,37 F _{s4}
		Mi-	706,67	30,29	D16-250	85,32	2,82 F _{s5}
Bentang Dalam	Kolom	Mn-	1716,94	140,64	D16-100	162,25	1,15 F _{s6}
		Mn+	706,67	60,58	D16-250	85,32	1,41 F _{s7}
	Tengah	Mn-	706,67	28,13	D16-250	85,32	3,03 F _{s8}
		Mn+	706,67	24,23	D16-250	85,32	3,52 F _{s9}

Dari Tabel 4. 12 didapat nilai faktor kuat lebih pada setiap jenis momen baik lajur kolom maupun lajur tengah pada bentang ujung dan bentang dalam. Dari hasil perhitungan nilai faktor kuat lebih tersebut maka dapat dihitung nilai faktor perbesaran geser untuk daerah kolom dengan perhitungan sebagai berikut:

- 1) Faktor perbesaran geser untuk daerah kolom interior (F_{S_i})

$$F_{S_i} = \frac{4.F_{S_6}}{4} = \frac{4.(1,15)}{4} = 1,15$$

- 2) Faktor perbesaran geser untuk daerah kolom eksterior (F_{S_e})

$$F_{S_e} = \frac{2.F_{S_1} + F_{S_3}}{3} = \frac{2 \times 1,14 + 1,07}{3} = 1,12$$

- 3) Faktor perbesaran geser untuk daerah kolom sudut (F_{S_u})

$$F_{S_u} = \frac{2.F_{S_1}}{2} = \frac{2 \times 1,14}{2} = 1,14$$

4.2.4. Perencanaan *Drop Panel*

a. Lebar *drop panel*

Syarat tebal *drop panel* :

$$\text{Lebar } drop \text{ panel} \geq \frac{1}{6} L$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\frac{1}{6} \times 8 = 1,33 \text{ m}$$

Direncanakan lebar *drop panel* keseluruhan 1,4 m untuk arah x atau untuk arah y diukur dari pusat kolom ke tepi *drop panel*. Jadi lebar dan panjang *drop panel* 2,8 m \times 2,8 m.

b. Tebal *drop panel*

$$h \text{ pelat} = 240 \text{ mm}$$

$$\text{ukuran kolom } 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak pusat ke tepi kolom} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi kolom ke tepi } drop \text{ panel} = 1400 - 300 = 1100 \text{ mm}$$

syarat tebal *drop panel* :

$$\frac{1}{4} h \text{ pelat} \leq h \text{ drop panel} \leq \frac{1}{4} \text{ jarak tepi kolom ke tepi drop panel}$$

$$\frac{1}{4} h_{\text{pelat}} = \frac{1}{4} \times 240 = 60 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{4} \text{ jarak tepi kolom ke tepi } \textit{drop panel} = \frac{1}{4} \times 1100 = 275 \text{ mm}$$

Direncanakan tebal *drop panel* 100 cm

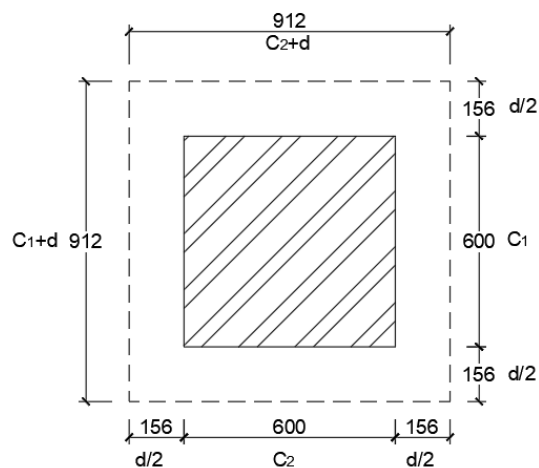
Jadi dimensi *drop panel* yang digunakan $2,8 \times 2,8 \times 0,1$.

$$\begin{aligned} d_{\text{pelat}} &= h_{\text{pelat}} - h_{\text{selimut}} - 0,5 \times D. \text{ tulangan} \\ &= 240 - 20 - 0,5 \times 16 \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{drop panel}} &= (h_{\text{pelat}} + h_{\text{drop panel}}) - h_{\text{selimut}} - 0,5 D. \text{ tulangan} \\ &= (240 + 100) - 20 - 0,5 \times 16 \\ &= 312 \text{ mm} \end{aligned}$$

1) Gaya geser pada daerah kolom interior

Daerah kritis geser kolom interior dapat dilihat pada Gambar 4. 6



Gambar 4. 6 Daerah kritis geser di kolom interior struktur
flat slab-drop panel

Beban mati lantai *flat slab-drop panel*.

$$\begin{aligned} 1) \textit{ Flat slab} &= ((L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2)) h_{\text{pelat}} \times 24 \\ &= ((8 \times 6) - (0,6 \times 0,6)) 0,24 \times 24 \\ &= 274,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \textit{ Drop panel} &= ((L_{\text{dropx}} \times L_{\text{dropy}}) - (C_1 \times C_2)) h_{\text{drop panel}} \times 24 \\ &= ((2,8 \times 2,8) - (0,6 \times 0,6)) 0,1 \times 24 \end{aligned}$$

$$= 17,95 \text{ kN}$$

$$3) \text{ Beban tambahan} = ((L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2))ADL$$

$$= ((8 \times 6) - (0,6 \times 0,6))1,63$$

$$= 77,65 \text{ kN}$$

$$\text{Beban mati total (DL)} = 274,4 + 17,95 + 77,65 = 370,01 \text{ kN}$$

Beban hidup lantai *flat slab-drop panel*

(*life load* = 2,45 kN/m²)

$$\text{Beban hidup (LL)} = ((L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2))2,45$$

$$= ((8 \times 6) - (0,6 \times 0,6))2,45$$

$$= 116,72 \text{ kN}$$

Gaya geser total terfaktor :

$$V_u = 1,2 DL + 1,6 LL$$

$$= 1,2 \times 370,01 + 1,6 \times 116,72$$

$$= 630,76 \text{ kN}$$

$$V_u.F_{si} = 630,76 \times 1,15 = 727,66 \text{ kN}$$

Luas bidang geser kritis (A_c) :

$$b_o = 2 (C_1 + d + C_2 + d)$$

$$= 2 (600 + 312 + 600 + 312)$$

$$= 3648 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o \cdot d$$

$$= 3648 \times 312 = 1138176 \text{ mm}^2$$

Kemampuan nilai geser beton (V_c) untuk struktur yang mengalami geser dan lentur saja :

$$\beta_c = \frac{8000}{6000} = 1,33$$

Konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada slab, $a_s = 40$ (untuk kolom interior), $a_s = 30$ (untuk kolom tepi), $a_s = 20$ (untuk kolom sudut).

Menggunakan persamaan 2. 28

$$V_{cl} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{1,33}\right) \frac{\sqrt{25} \times 1138176 \times 10^{-3}}{6}$$

$$V_{c1} = 2371,2 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 29

$$V_{c2} = \left(\frac{as \times d}{bo} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{40 \times 312}{3648} + 2\right) \frac{\sqrt{25} \times 1138176 \times 10^{-3}}{12}$$

$$V_{c2} = 2570,88 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 30

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 1138176 \times 10^{-3}$$

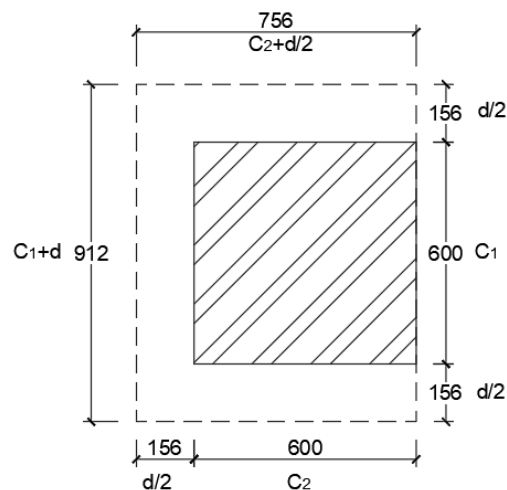
$$V_{c3} = 1896,96 \text{ kN}$$

V_c diambil dari nilai v_c terkecil yaitu $V_c = 1896,96 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1896,96 = 1422,72 \text{ kN} > V_u = 727,66 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

2) Gaya geser pada daerah kolom eksterior

Daerah kritis geser kolom eksterior dapat dilihat pada Gambar 4. 7



Gambar 4. 7 Daerah kritis geser di kolom eksterior struktur

flat slab-drop panel

Beban mati lantai *flat slab-drop panel*

$$\begin{aligned}
 \text{a) Flat slab} &= \left(\frac{1}{2}(L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2) \right) h_{\text{pelat}} \times 24 \\
 &= \left(\frac{1}{2}(8 \times 6) - (0,6 \times 0,6) \right) 0,24 \times 24 \\
 &= 136,17 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Drop panel} &= \left(\left(\frac{1}{2} L_{\text{dropx}} \times L_{\text{dropy}} \right) - (C_1 \times C_2) \right) h_{\text{drop panel}} \times 24 \\
 &= \left(\frac{1}{2}(2,8 \times 2,8) - (0,6 \times 0,6) \right) 0,1 \times 24 \\
 &= 8,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Beban tambahan} &= \left(\frac{1}{2}(L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2) \right) ADL \\
 &= \left(\frac{1}{2}(8 \times 6) - (0,6 \times 0,6) \right) 1,63 \\
 &= 38,53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati total (DL)} = 136,17 + 8,54 + 38,53 = 183,24 \text{ kN}$$

Beban hidup lantai *flat slab-drop panel*

(*life load* = 2,45 kN/m²)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup (LL)} &= \left(\frac{1}{2}(L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2) \right) 2,45 \\
 &= \left(\frac{1}{2}(8 \times 6) - (0,6 \times 0,6) \right) 2,45 \\
 &= 57,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya geser total terfaktor :

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 \times 183,24 + 1,6 \times 57,92 \\
 &= 312,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_u.F_{se} = 312,56 \times 1,12 = 348,62 \text{ kN}$$

Luas bidang geser kritis (A_c) :

$$\begin{aligned}
 b_o &= 2 \times C_1 + 2 \times d/2 + (C_2 + d) \\
 &= 2 \times 600 + 2 \times 312/2 + (600 + 312) \\
 &= 2424 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_c &= b_o \cdot d \\
 &= 2424 \times 312 = 756288 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kemampuan nilai geser beton (V_c) untuk struktur yang mengalami geser dan lentur saja :

$$\beta_c = \frac{8000}{6000} = 1,33$$

Konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada slab, $a_s = 40$ (untuk kolom interior), $a_s = 30$ (untuk kolom tepi), $a_s = 20$ (untuk kolom sudut).

Menggunakan persamaan 2. 28

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{1,33}\right) \frac{\sqrt{25} \times 756288 \times 10^{-3}}{6}$$

$$V_{c1} = 1575,6 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 29

$$V_{c2} = \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{30 \times 312}{3648} + 2\right) \frac{\sqrt{25} \times 756288 \times 10^{-3}}{6}$$

$$V_{c2} = 1847,04 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 30

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 756288 \times 10^{-3}$$

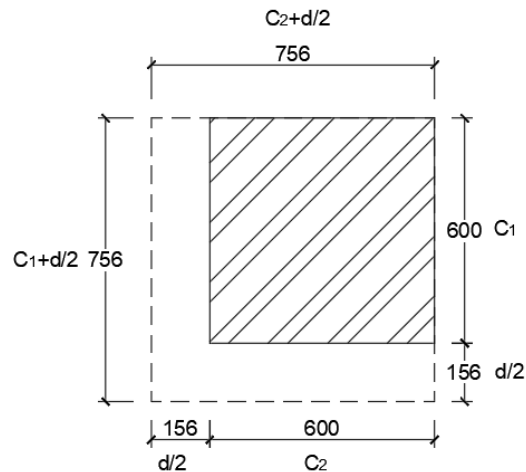
$$V_{c3} = 1260,48 \text{ kN}$$

V_c diambil dari nilai V_c terkecil yaitu $V_c = 1260,48 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1260,48 = 945,36 \text{ kN} > V_u = 348,62 \text{ (OK)}$$

3) Gaya geser pada daerah kolom sudut

Daerah kritis geser kolom sudut dapat dilihat pada Gambar 4. 8



Gambar 4. 8 Daerah kritis geser di kolom sudut struktur *flat slab-drop panel*

Beban mati lantai *flat slab-drop panel*

$$\begin{aligned}
 \text{a) Flat slab} &= \left(\frac{1}{4} (L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2) \right) h_{\text{pelat}} \times 24 \\
 &= \left(\frac{1}{4} (8 \times 6) - (0,6 \times 0,6) \right) 0,24 \times 24 \\
 &= 67,04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Drop panel} &= \left(\frac{1}{4} (L_{\text{dropx}} \times L_{\text{dropy}}) - (C_1 \times C_2) \right) h_{\text{droppanel}} \times 24 \\
 &= \left(\frac{1}{4} (2,8 \times 2,8) - (0,6 \times 0,6) \right) 0,1 \times 24 \\
 &= 3,84 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Beban tambahan} &= \left(\frac{1}{4} (L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2) \right) ADL \\
 &= \left(\frac{1}{4} (8 \times 6) - (0,6 \times 0,6) \right) 1,63 \\
 &= 18,97 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati total (DL)} = 67,04 + 3,84 + 18,97 = 89,86 \text{ kN}$$

Beban hidup lantai *flat slab-drop panel*

(*life load* = 2,45 kN/m²)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup (LL)} &= \left(\frac{1}{4} (L_x \times L_y) - (C_1 \times C_2) \right) 2,45 \\
 &= \left(\frac{1}{4} (8 \times 6) - (0,6 \times 0,6) \right) 2,45
 \end{aligned}$$

$$= 28,52 \text{ kN}$$

Gaya geser total terfaktor :

$$\begin{aligned} V_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= 1,2 \times 89,86 + 1,6 \times 28,52 \\ &= 153,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u.F_{su} = 153,46 \times 1,14 = 174,55 \text{ kN}$$

Luas bidang geser kritis (A_c) :

$$\begin{aligned} b_o &= (C_1 + d/2) + (C_2 + d/2) \\ &= (600 + 312/2) + (600 + 312/2) \\ &= 1512 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_c &= b_o \cdot d \\ &= 1512 \times 312 = 471744 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kemampuan nilai geser beton (V_c) untuk struktur yang mengalami geser dan lentur saja :

$$\beta_c = \frac{8000}{6000} = 1,33$$

konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada slab, $a_s = 40$ (untuk kolom interior), $a_s = 30$ (untuk kolom tepi), $a_s = 20$ (untuk kolom sudut).

Menggunakan persamaan 2. 28

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6} \\ V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{1,33}\right) \frac{\sqrt{25} \times 471744 \times 10^{-3}}{6} \end{aligned}$$

$$V_{c1} = 982,8 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 29

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \\ V_{c2} &= \left(\frac{20 \times 312}{1512} + 2\right) \frac{\sqrt{25} \times 471744 \times 10^{-3}}{6} \end{aligned}$$

$$V_{c2} = 1204,32 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 30

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 471744 \times 10^{-3}$$

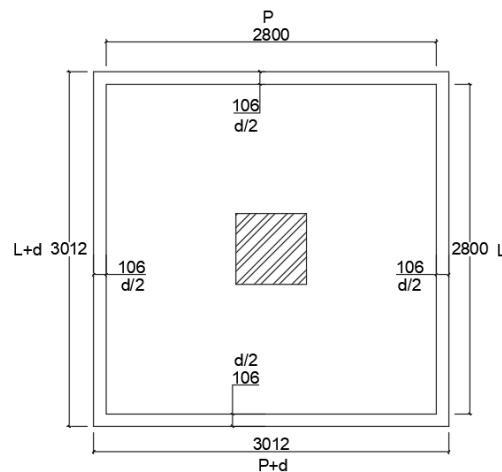
$$V_{c3} = 786,24 \text{ kN}$$

V_c diambil dari nilai v_c terkecil yaitu $V_c = 786,24 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 786,24 = 589,68 \text{ kN} > V_u = 174,55 \text{ (OK)}$$

4) Gaya geser pada daerah ujung *drop panel* interior

Daerah kritis geser ujung *drop panel* interior dapat dilihat pada Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Daerah kritis geser di ujung *drop panel* interior.

Beban mati lantai *flat slab-drop panel*

$$\begin{aligned} \text{a) Flat slab} &= ((L_x \times L_y) - (P \times L)) h_{\text{pelat}} \times 24 \\ &= ((8 \times 6) - (2,8 \times 2,8)) 0,24 \times 24 \\ &= 231,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Beban tambahan} &= ((L_x \times L_y) - (P \times L)) ADL \\ &= ((8 \times 6) - (2,8 \times 2,8)) 1,63 \\ &= 65,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati total (DL)} = 231,32 + 65,46 = 296,78 \text{ kN}$$

Beban hidup lantai *flat slab-drop panel*

(*life load* = 2,45 kN/m²)

$$\text{Beban hidup (LL)} = ((L_x \times L_y) - (P \times L)) 2,45$$

$$= ((8 \times 6) - (2,8 \times 2,8))2,45$$

$$= 98,39 \text{ kN}$$

Gaya geser total terfaktor :

$$V_u = 1,2 DL + 1,6 LL$$

$$= 1,2 \times 296,78 + 1,6 \times 98,39$$

$$= 513,56 \text{ kN}$$

Luas bidang geser kritis (A_c) :

$$b_o = 2 (P + d + L + d)$$

$$= 2 (2800 + 212 + 2800 + 212)$$

$$= 12048 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o \cdot d$$

$$= 12048 \times 212 = 2554176 \text{ mm}^2$$

Kemampuan nilai geser beton (V_c) untuk struktur yang mengalami geser dan lentur saja :

$$\beta_c = \frac{2800}{2800} = 1$$

konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada slab, $a_s = 40$ (untuk kolom interior), $a_s = 30$ (untuk kolom tepi), $a_s = 20$ (untuk kolom sudut).

Menggunakan persamaan 2. 28

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \frac{\sqrt{25} \times 2554176 \times 10^{-3}}{6}$$

$$V_{c1} = 6385,44 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 29

$$V_{c2} = \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{40 \times 212}{12048} + 2\right) \frac{\sqrt{25} \times 2554176 \times 10^{-3}}{12}$$

$$V_{c2} = 2877,55 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 30

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 2554176 \times 10^{-3}$$

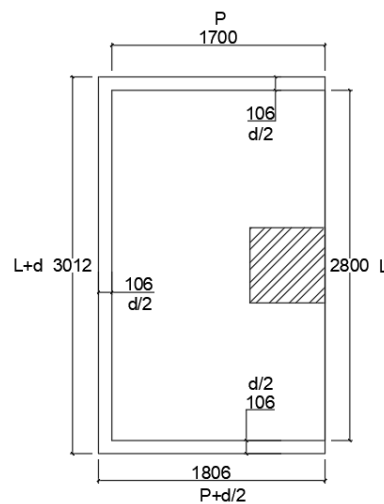
$$V_{c3} = 4256,96 \text{ kN}$$

V_c diambil dari nilai v_c terkecil yaitu $V_c = 2877,55 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 2877,55 = 945,36 \text{ kN} > V_u = 513,56 \text{ (OK)}$$

5) Gaya geser pada daerah ujung *drop panel* eskterior

Daerah kritis geser ujung *drop panel* eksterior dilihat pada Gambar 4. 10



Gambar 4. 10 Daerah kritis geser di ujung *drop panel* eksterior
Beban mati lantai *flat slab-drop panel*

$$\begin{aligned} \text{a) Flat slab} &= \left(\frac{1}{2} (L_x \times L_y) - (P \times L) \right) h_{\text{pelat}} \times 24 \\ &= \left(\frac{1}{2} (8 \times 6) - (1,7 \times 2,8) \right) 0,24 \times 24 \\ &= 110,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Beban tambahan} &= \left(\frac{1}{2} (L_x \times L_y) - (P \times L) \right) ADL \\ &= \left(\frac{1}{2} (8 \times 6) - (1,7 \times 2,8) \right) 1,63 \\ &= 31,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati total (DL)} = 110,82 + 31,36 = 142,18 \text{ kN}$$

Beban hidup lantai *flat slab-drop panel*

(*life load* = 2,45 kN/m²)

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup (LL)} &= \left(\frac{1}{2}(L_x \times L_y) - (P \times L) \right) 2,45 \\ &= \left(\frac{1}{2}(8 \times 6) - (1,7 \times 2,8) \right) 2,45 \\ &= 57,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser total terfaktor :

$$\begin{aligned} V_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= 1,2 \times 142,18 + 1,6 \times 57,92 \\ &= 263,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

Luas bidang geser kritis (A_c) :

$$\begin{aligned} b_o &= 2 P + 0,5 d/2 + (L+d) \\ &= 2 \times 1700 + 212/2 + (2800 + 212) \\ &= 6624 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_c &= b_o \cdot d \\ &= 6624 \times 212 = 1404288 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kemampuan nilai geser beton (V_c) untuk struktur yang mengalami geser dan lentur saja :

$$\beta_c = \frac{2800}{1700} = 1,65$$

konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada slab, $a_s = 40$ (untuk kolom interior), $a_s = 30$ (untuk kolom tepi), $a_s = 20$ (untuk kolom sudut).

Menggunakan persamaan 2. 28

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6} \\ V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{1,65} \right) \frac{\sqrt{25} \times 1404288 \times 10^{-3}}{6} \end{aligned}$$

$$V_{c1} = 2591,24 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 29

$$V_{c2} = \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{30 \times 212}{6624} + 2 \right) \frac{\sqrt{25} \times 1404288 \times 10^{-3}}{12}$$

$$V_{c2} = 1732,04 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 30

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 1404288 \times 10^{-3}$$

$$V_{c3} = 2340,48 \text{ kN}$$

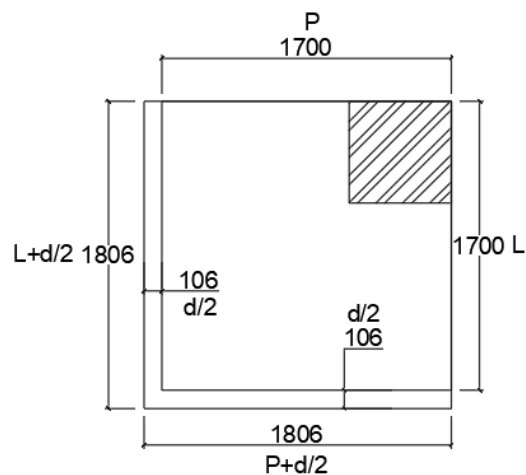
V_c diambil dari nilai v_c terkecil yaitu $V_c = 1732,04 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1732,04 = 1299,03 \text{ kN} > V_u = 263,29 \text{ (OK)}$$

6) Gaya geser pada daerah ujung *drop panel* sudut

Daerah kritis geser ujung *drop panel* sudut dapat dilihat pada Gambar 4.

11



Gambar 4. 11 Daerah kritis geser di ujung *drop panel* sudut

Beban mati lantai *flat slab-drop panel*

$$\begin{aligned} \text{a) Flat slab} &= \left(\frac{1}{4} (L_x \times L_y) - (P \times L) \right) h_{\text{pelat}} \times 24 \\ &= \left(\frac{1}{4} (8 \times 6) - (1,7 \times 1,7) \right) 0,24 \times 24 \\ &= 52,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{b) Beban tambahan} = \left(\frac{1}{4} (L_x \times L_y) - (P \times L) \right) ADL$$

$$= \left(\frac{1}{4}(8 \times 6) - (1,7 \times 1,7)\right)1,63$$

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

Beban mati total (DL) = 52,47 + 14,85 = 67,32 kN

Beban hidup lantai *flat slab-drop panel*

(*life load* = 2,45 kN/m²)

$$\text{Beban hidup (LL)} = \left(\frac{1}{4}(L_x \times L_y) - (P \times L)\right)2,45$$

$$= \left(\frac{1}{4}(8 \times 6) - (1,7 \times 1,7)\right)2,45$$

$$= 22,32 \text{ kN}$$

Gaya geser total terfaktor :

$$V_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times 67,32 + 1,6 \times 22,32$$

$$= 116,50 \text{ kN}$$

Luas bidang geser kritis (A_c) :

$$b_o = P+d/2 + L+d/2$$

$$= 1700 + 212/2 + 1700 + 212/2$$

$$= 3612 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o \cdot d$$

$$= 3612 \times 212 = 765744 \text{ mm}^2$$

Kemampuan nilai geser beton (V_c) untuk struktur yang mengalami geser dan lentur saja :

$$\beta_c = \frac{1700}{1700} = 1$$

Konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada, $a_s = 40$ (untuk kolom interior), $a_s = 30$ (untuk kolom tepi), $a_s = 20$ (untuk kolom sudut).

Menggunakan persamaan 2. 28

$$V_{cl} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_{cl} = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \frac{\sqrt{25} \times 765744 \times 10^{-3}}{6}$$

$$V_{c1} = 1914,36 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 29

$$V_{c2} = \left(\frac{as \times d}{bo} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{20 \times 212}{3612} + 2 \right) \frac{\sqrt{25} \times 765744 \times 10^{-3}}{12}$$

$$V_{c2} = 1012,65 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 30

$$V_{c3} = \frac{l}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 765744 \times 10^{-3}$$

$$V_{c3} = 1276,24 \text{ kN}$$

V_c diambil dari nilai V_c terkecil yaitu $V_c = 1012,65 \text{ kN}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1012,65 = 759,49 \text{ kN} > V_u = 116,50 \text{ (OK)}$$

c. Desain penulangan serat bawah *drop panel*

Serat bawah *drop panel* akan diberikan tulangan susut dan rangkai sesuai dengan SNI-2847-2013 Pasal 7.12. Tulangan akan diberikan terhadap arah x maupun y dengan rasio penulangan terhadap luas *drop panel* sebesar 0,0018. Dengan jarak antar tulangan tidak lebih dari 450 mm.

Nilai (b) diambil tiap meter (1000 mm)

$$h = h \text{ pelat} + h \text{ drop panel}$$

$$h = 240 + 100 = 340 \text{ mm}$$

$$A_s = 0,0018 \times b \times h \dots\dots\dots (4. 14)$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 340 = 612 \text{ mm}^2$$

dicoba digunakan D13 ($A_s \text{ Tul} = 132,73 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jarak per 1 meter, } s = \frac{132,73}{612} 1000 = 216,88 \text{ mm}$$

Digunakan $s = 200 \text{ mm}$, maka tulangan yang digunakan D13-200

4.3. Perencanaan Sistem Pelat dengan Balok

4.3.1. Pembebanan Pelat

Beban rencana yang bekerja pada struktur ini disesuaikan dengan Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung (SKBI- 1.3.53.1987). Beban yang bekerja pada pelat antara lain :

a. Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah beban akibat berat sendiri pelat beton dengan nilai massa jenis 2400 kg/m^3 atau 24 kN/m^3 ditambah dengan beban mati tambahan (*ADL*).

Beban mati tambahan (*ADL*) lantai :

- | | |
|-------------------------|---|
| 1) Spesi (2 cm) | = $21 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 2 \text{ cm} = 42 \text{ kg/m}^2$ |
| 2) Keramik (1 cm) | = $24 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 1 \text{ cm} = 24 \text{ kg/m}^2$ |
| 3) Pasir (5 cm) | = $16 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 5 \text{ cm} = 80 \text{ kg/m}^2$ |
| 4) Mekanikal/Elektrikal | = 20 kg/m^2 |

Beban mati tambahan pada pelat lantai adalah 166 kg/m^2 atau $1,63 \text{ kN/m}^2$

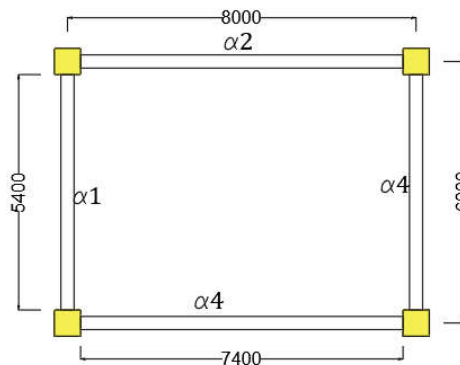
b. Beban hidup (*Life load*)

- 1) Pada pelat lantai 1-12 sebesar 250 kg/m^2 atau $2,45 \text{ kN/m}^2$

4.3.2. Perencanaan Pelat

a. Penentuan tebal pelat

Panel pelat yang direncanakan adalah panel dengan dimensi terbesar seperti terlihat pada Gambar 4. 12.



Gambar 4. 12 Panel pelat yang direncanakan

Dari Gambar 4. 12 panel memiliki ukuran dihitung dari pusat kolom ke pusat kolom sebesar $8 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, panel ini dipilih karena pada

perencanaan ini pelat direncanakan tipikal dengan memilih panel yang paling besar. Simbol α_1 , α_2 , α_3 dan α_4 merupakan nilai kekakuan antara pelat dengan balok.

Ukuran kolom 600×600

$$l_{n1} = 8 - 0,3 - 0,3 = 7,4 \text{ m}$$

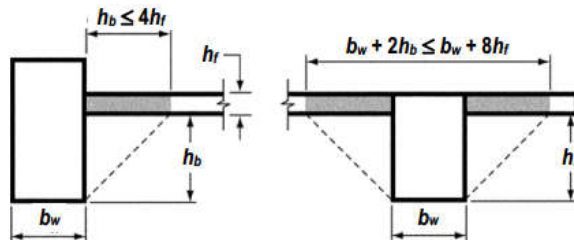
$$l_{n2} = 6 - 0,3 - 0,3 = 5,4 \text{ m}$$

Nilai banding panjang terhadap lebar bentang bersih, $\beta = \frac{7,4}{5,4} = 1,37$

Tebal pelat dapat dihitung jika nilai α_m sudah diketahui, Perhitungan α_m dapat dilakukan sebagai berikut :

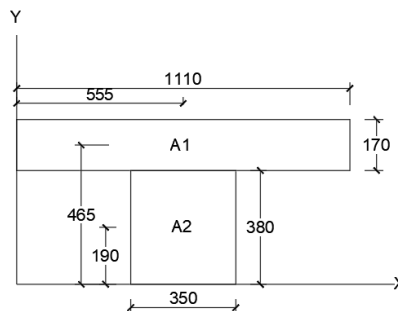
- 1) Menghitung nilai momen inersia bruto dari penampang balok terhadap sumbu berat (I_b).

Penampang balok mencakup pula bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat, namun tidak lebih dari empat kali tebal pelat. Ketentuan hubungan penampang pelat dan balok dapat dilihat pada Gambar 4. 13



Gambar 4. 13 Hubungan Pelat dengan balok (SNI 2847-2018)

Dengan ukuran balok rencana 35×55 dan tebal asumsi pelat sebesar 170 mm didapat penampang hubungan balok dengan pelat seperti pada Gambar 4. 14 dan Gambar 4. 15.



Gambar 4. 14 Penampang T hubungan pelat dengan balok

Lebar efektif (b_e) diperhitungkan sebagai berikut :

$$b_e = b_w + 2h_w = 350 + 2 \times 380 = 1110 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 350 + 8 \times 170 = 1710 \text{ mm}$$

Dengan syarat panjang sayap (*flens*) tidak lebih dari

$$4 h_f = 4 \times 170 = 680 \text{ mm}$$

Menentukan titik berat penampang dengan persamaan statis momen terhadap tepi bawah penampang :

$$A_1 = 188700 \text{ mm}^2$$

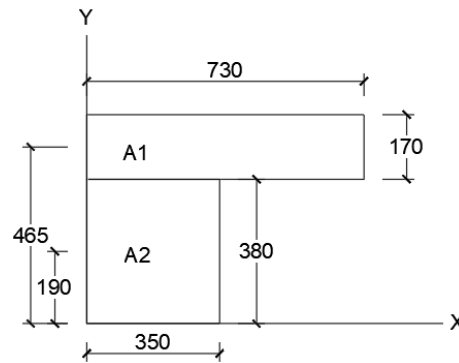
$$A_2 = 133000 \text{ mm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{188700 \times 465 + 133000 \times 190}{188700 + 133000} = 351,31 \text{ mm}$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times b_1 \times h_1^3 + A_1 \times (\bar{y} - y_1)^2 + \frac{1}{12} \times b_2 \times h_2^3 + A_2 \times (\bar{y} - y_2)^2$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 1110 \times 170^3 + 188700 \times (351,31 - 465)^2 + \frac{1}{12} \times 350 \times 380^3 + 133000 \times (351,31 - 190)^2$$

$$I_b = 7,95 \times 10^9 \text{ mm}^4$$



Gambar 4. 15 Penampang L hubungan pelat dan balok

Persamaan statis momen terhadap tepi bawah penampang:

$$A_1 = 124100 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 133000 \text{ mm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{124100 \times 465 + 133000 \times 190}{124100 + 133000} = 322,74 \text{ mm}$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times b_1 \times h_1^3 + A_1 \times (\bar{y} - y_1)^2 + \frac{1}{12} \times b_2 \times h_2^3 + A_2 \times (\bar{y} - y_2)^2$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 730 \times 170^3 + 124100 \times (322,74 - 465)^2 + \frac{1}{12} \times 350 \times 380^3 + 133000 \times (322,74 - 190)^2$$

$$I_b = 5,85 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

2) Menghitung inersia bruto pada penampang pelat (I_s)

Untuk arah memanjang pelat :

$$I_{b1} = I_b$$

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \times L \times h_f^3 \dots\dots\dots (4.15)$$

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \times 8000 \times 170^3 = 3,28 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Rasio kekakuan lentur dari penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat (α), dihitung dengan persamaan 2.9 berikut :

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}}$$

dengan $E_{cb} = E_{cs}$

$$\text{Sehingga } \alpha_2 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{7,95 \times 10^9}{3,28 \times 10^9} = 2,42$$

$$\text{Sehingga } \alpha_4 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{5,85 \times 10^9}{3,28 \times 10^9} = 1,78$$

Untuk arah melebar bangunan :

$$I_{b1} = I_b$$

Menggunakan persamaan 4.15

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \times L \times h_f^3 = \frac{1}{12} \times 6000 \times 170^3 = 2,45 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Menggunakan persamaan 2.9

$$\text{Sehingga } \alpha_1 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{5,85 \times 10^9}{2,45 \times 10^9} = 2,38$$

$$\text{Sehingga } \alpha_3 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{7,95 \times 10^9}{2,45 \times 10^9} = 3,24$$

3) Menghitung nilai α_m

$$\alpha_m = \frac{2,38 + 2,42 + 3,24 + 1,78}{4} = 2,45$$

Karena nilai $\alpha_m > 2$ maka digunakan persamaan 2. 32

$$h = \frac{0,8 + \frac{fy}{1400}}{36 + 9\beta} \ln \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{0,8 + \frac{420}{1400}}{36 + 9 \cdot 1,37} \times 7400 \geq 90 \text{ mm}$$

$h = 168,42 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$ maka digunakan tebal pelat $h = 170 \text{ mm}$

b. Pembebanan terfaktor pada pelat tiap 1 m

1) Berat sendiri pelat = $0,17 \times 2400 = 408 \text{ kg/m}^2$

2) Beban mati tambahan = 166 kg/m^2

$$Q_{D \text{ Total}} = 574 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_{D \text{ Total}} = 5,62 \text{ kN/m}^2$$

3) Beban hidup, $Q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

$$Q_L = 2,45 \text{ kN/m}^2$$

c. Perencanaan penulangan lentur pelat

Perencanaan pelat dua arah direncanakan dengan metode langsung dengan syarat :

1) Minimal terdapat tiga bentang yang menerus dalam setiap arah (syarat terpenuhi)

2) Panel pelat harus berbentuk persegi dengan rasio bentang yang panjang terhadap bentang yang pendek tidak lebih 2 ;

$$L_y/L_x \leq 2$$

$$8/6 \leq 2$$

$$1,33 \leq 2 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

3) Hanya memikul beban gravitasi dan didistribusikan merata pada panel dengan beban tak hidup terfaktor tidak boleh melebihi 2 kali beban mati tak terfaktor

$$Q_{LL} < 2 Q_{DL}$$

$$2,45 < 2 (5,62)$$

$$2,45 < 11,24 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

- 4) Untuk panel pelat ditumpu oleh balok pada keempat sisinya, syarat kekakuan relatif balok pada dua arah yang saling tegak lurus:

$$0,2 \leq \frac{\alpha_1 \ell_2^2}{\alpha_2 \ell_1^2} \leq 5$$

$$\frac{\alpha_1 \ell_2^2}{\alpha_2 \ell_1^2} = \frac{2,38 \times 8^2}{2,42 \times 6^2} = 1,74$$

$$0,2 \leq 1,74 \leq 5 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

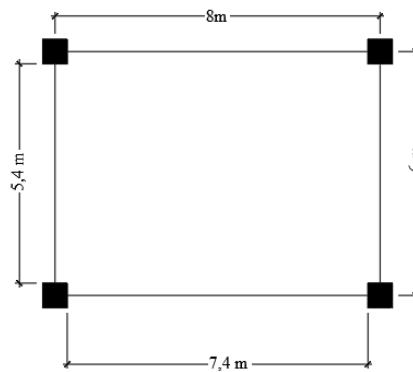
Perencanaan lentur pelat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Perhitungan Momen Statis Total

Beban rencana dihitung dengan persamaan 2. 11

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$$

$$Q_u = 1,2 \times 5,62 + 1,6 \times 2,45 = 10,66 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4. 16 Panel pelat yang direncanakan

Penulangan lentur arah melebar

$$L_2 = 6 \text{ m}$$

$$L_{n2} = 5,4 \text{ m}$$

$$\text{Syarat nilai } L_{n2} > 0,65 \cdot L_2 = 0,65 \cdot 6 = 3,9 \text{ m}$$

Momen statis total dihitung dengan menggunakan persamaan 2. 10

$$M_o = \frac{1}{8} Q_u L_2 L_n^2$$

$$M_o = \frac{1}{8} 10,66 \times 6 \times 5,4^2$$

$$M_o = 233,22 \text{ kNm}$$

Penulangan lentur arah memanjang

$$L_2 = 8 \text{ m}$$

$$L_{n2} = 7,4 \text{ m}$$

Momen statis total dihitung dengan menggunakan persamaan 2. 10

$$M_o = \frac{1}{8} Q_u L_2 L_n^2$$

$$M_o = \frac{1}{8} 10,66 \times 8 \times 7,4^2$$

$$M_o = 583,96 \text{ kNm}$$

2) Distribusi Momen

Untuk nilai koefisien distribusi momen berdasarkan Tabel 2. 5 didapat hasil perhitungan seperti terlihat pada Tabel 4. 13

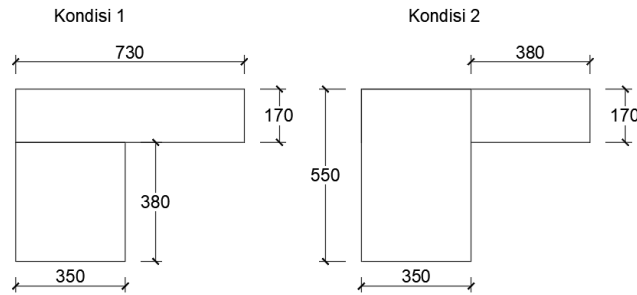
Tabel 4. 13 Distribusi momen pelat

Distribusi momen	Arah	
	Melebar (kNm)	Memanjang (kNm)
Untuk panel bentang dalam :		
Momen rencana negatif, $M_r^- = 0,65.M_o$	151,59	379,57
Momen rencana positif, $M_r^+ = 0,35.M_o$	81,63	204,39
Untuk panel bentang ujung :		
Momen negatif interior, $M_i^- = 0,7.M_o$	163,26	408,77
Momen positif, $M^+ = 0,57.M_o$	132,94	332,86
Momen negatif eksterior, $M_e^- = 0,16.M_o$	37,32	151,83

Dari Tabel 2. 5 didapat koefisien untuk tipe pelat dengan semua balok pada tumpuan didapatkan koefisien momen bentang ujung seperti terlihat pada Tabel 4. 13

3) Distribusi momen lajur kolom dan lajur tengah

Nilai faktor distribusi momen lajur kolom didapatkan dari Tabel 2. 6, Tabel 2. 7 dan Tabel 2. 8. Bila tidak terdapat pada tabel maka nilai faktor distribusi dapat diinterpolasi berdasarkan data tabel tersebut.



Gambar 4. 17 Dua kondisi penampang L hubungan balok dengan pelat

a) Menghitung nilai kekakuan torsi (C) dengan persamaan 2. 13

$$C = \sum \left(I - \frac{0,63x}{y} \right) \left(\frac{x^3 y}{3} \right)$$

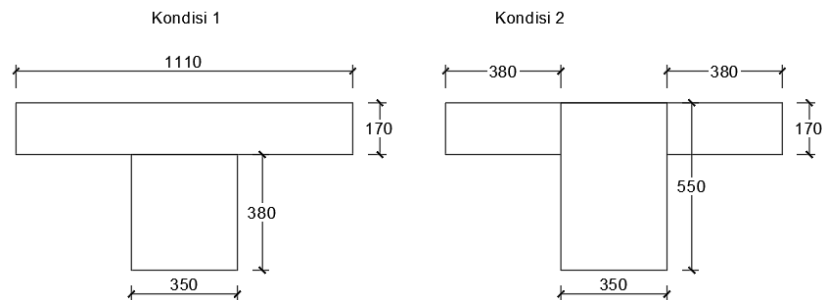
$$\text{Kondisi 1 } C = \left(1 - 0,63 \frac{350}{380} \right) \left(\frac{350^3 \times 380}{3} \right) + \left(1 - 0,63 \frac{170}{730} \right) \left(\frac{170^3 \times 730}{3} \right)$$

$$C = 3299623400 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kondisi 2 } C = \left(1 - 0,63 \frac{350}{380} \right) \left(\frac{350^3 \times 380}{3} \right) + \left(1 - 0,63 \frac{170}{380} \right) \left(\frac{170^3 \times 380}{3} \right)$$

$$C = 5156023400 \text{ mm}^4$$

Nilai C terbesar = 5156023400 m^4



Gambar 4. 18 Dua penampang T hubungan balok dengan pelat

$$\text{Kondisi 1 } C = \left(1 - 0,63 \frac{350}{380} \right) \left(\frac{350^3 \times 380}{3} \right) + \left(1 - 0,63 \frac{170}{1110} \right) \left(\frac{170^3 \times 1110}{3} \right)$$

$$C = 3921936733 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kondisi 2 } C = \left(1 - 0,63 \frac{350}{550} \right) \left(\frac{350^3 \times 550}{3} \right) + 2 \left(1 - 0,63 \frac{170}{380} \right) \left(\frac{170^3 \times 380}{3} \right)$$

$$C = 5602942633 \text{ mm}^4$$

Nilai C terbesar = 5602942633 mm^4

b) Menghitung nilai β_t :

Elemen penahan torsi tegak lurus terhadap portal yang ditinjau menggunakan persamaan 2. 12

$$\beta_t = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s}$$

dengan nilai $E_{cb} = E_{cs}$

Maka untuk arah melebar (6m)

$$\beta_t = \frac{5602942633}{2 \times 3,28 \times 10^9} = 0,86$$

Maka untuk arah memanjang (8m)

$$\beta_t = \frac{5156023400}{2 \times 2,45 \times 10^9} = 1,05$$

c) Untuk nilai α_1 dihitung dengan persamaan 2. 9 sebagai berikut :

Untuk arah melebar (6m)

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_{s1}} = \frac{5,85 \times 10^9}{2,45 \times 10^9} = 2,38$$

Untuk arah memanjang (8m)

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_{s1}} = \frac{7,95 \times 10^9}{3,28 \times 10^9} = 2,42$$

d) Faktor distribusi momen arah memanjang dan melebar :

Nilai faktor distribusi momen lajur kolom didapatkan dari interpolasi Tabel 2. 6, Tabel 2. 7 dan Tabel 2. 8 dengan hasil interpolasi dapat dilihat pada Tabel 4. 14, Tabel 4. 15 dan Tabel 4. 16 untuk arah melebar, sedangkan Tabel 4. 17, Tabel 4. 18 dan Tabel 4. 19 untuk arah memanjang.

Untuk arah melebar bentang eksterior negatif Me^- :

$$\alpha_1 = 2,38$$

$$\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{8000}{6000} = 1,33$$

$$\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 3,17 > 1$$

$$\beta_t = 0,86$$

Tabel 4. 14 Interpolasi faktor nilai Me^- yang ditahan lajur kolom

l_2/l_1		1	1,33	2
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1$	$\beta_t = 0,86$		88,03	
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1$	$\beta_t \geq 2,50$	75	65	45

Untuk arah melebar bentang interior negatif Mi^- :

$$\alpha_1 = 2,38$$

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{8000}{6000} = 1,33$$

$$\alpha_1 \frac{l_2}{l_1} = 3,17 > 1$$

Tabel 4. 15 Interpolasi faktor nilai Mi^- yang ditahan lajur kolom

l_2/l_1	1	1,33	2
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1$	75	65	45

Untuk arah melebar bentang momen positif Mm^+ :

$$\alpha_1 = 2,38$$

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{8000}{6000} = 1,33$$

$$\alpha_1 \frac{l_2}{l_1} = 3,17 > 1$$

Tabel 4. 16 Interpolasi faktor nilai Mm^+ yang ditahan lajur kolom

l_2/l_1	1	1,33	2
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1$	75	65	45

Untuk arah memanjang bentang ekterior negatif Me^- :

$$\alpha_1 = 2,42$$

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{6000}{8000} = 0,75$$

$$\alpha_1 \frac{l_2}{l_1} = 1,82 > 1$$

$$\beta_t = 1,05$$

Tabel 4. 17 Interpolasi faktor nilai Me^- yang ditahan lajur kolom

ℓ_2/ℓ_1		0,5	0,75	1
$(\alpha_1\ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
$(\alpha_1\ell_2/\ell_1) \geq 1$	$\beta_t = 1,05$		92,65	
$(\alpha_1\ell_2/\ell_1) \geq 1$	$\beta_t = 2,50$	90	82,5	75

Untuk arah memanjang bentang interior negatif Mi^- :

$$\alpha_1 = 2,42$$

$$\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{6000}{8000} = 0,75$$

$$\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 1,82 > 1$$

Tabel 4. 18 Interpolasi faktor nilai Mi^- yang ditahan lajur kolom

ℓ_2/ℓ_1		0,5	0,75	1
$(\alpha_1\ell_2/\ell_1) \geq 1$		90	82,5	75

Untuk arah memanjang bentang momen positif Mm^+ :

$$\alpha_1 = 2,42$$

$$\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{6000}{8000} = 0,75$$

$$\alpha_1 \frac{\ell_2}{\ell_1} = 4,45 > 1$$

Tabel 4. 19 Interpolasi faktor nilai Mm^+ yang ditahan lajur kolom

ℓ_2/ℓ_1		0,5	0,75	1
$(\alpha_1\ell_2/\ell_1) \geq 1$		90	82,5	75

Berdasarkan hasil interpolasi pada 6 tabel diatas didapat faktor momen untuk arah melebar dan memanjang yang ditahan lajur kolom seperti terlihat pada Tabel 4. 20.

Tabel 4. 20 Faktor momen rencana yang ditahan lajur kolom

	Melebar	Memanjang
Me-	88,03	92,65
Mi-	65	82,5
Mm+	65	82,5

Perhitungan distribusi momen pelat dengan balok untuk arah melebar dapat dilihat pada Tabel 4. 21 dan arah memanjang dapat dilihat pada Tabel 4. 22 dengan nilai koefisien distribusi momen sesuai Tabel 4. 20.

Tabel 4. 21 Distribusi momen pelat dengan balok arah melebar

Lajur	Arah melebar (6m)				
	Bentang Dalam			Bentang Ujung	
	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif interior
Mo (kNm)	81,63	151,59	37,32	132,94	163,26
Faktor distribusi	65%	65%	88%	65%	65%
Momen Rencana	0,65 × 81,63	0,65 × 151,59	0,88 × 37,32	0,65 × 132,94	0,65 × 163,26
Lajur Kolom (kNm)	53,06	98,54	32,85	86,41	106,12
Momen Balok 85% (kNm)	0,85 × 53,06	0,85 × 98,54	0,85 × 32,85	0,85 × 86,41	0,85 × 106,12
	45,10	83,76	27,92	73,45	90,20
Momen Pelat 15% (kNm)	0,15 × 53,06	0,15 × 98,54	0,15 × 32,85	0,15 × 86,41	0,15 × 106,12
	7,96	14,78	4,93	12,96	15,92
Momen Rencana	81,63	151,59	37,32	132,94	163,26
Lajur Tengah (kNm)	28,57	53,06	4,47	46,53	57,14

Tabel 4. 22 Distribusi momen pelat dengan balok arah memanjang

Lajur	Arah memanjang (8m)				
	Bentang Dalam			Bentang Ujung	
	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif interior
Mo (kNm)	204,39	379,57	151,83	332,86	408,77
Faktor distribusi	83%	83%	93%	83%	83%
Momen Rencana	0,83 x 204,39	0,83 x 379,57	0,93 x 151,83	0,83 x 332,86	0,83 x 408,77
Lajur Kolom (kNm)	168,62	313,15	140,68	274,61	337,24
Momen Balok 85% (kNm)	0,85 x 168,62	0,85 x 313,15	0,85 x 140,68	0,85 x 274,61	0,85 x 337,24
	143,33	266,18	119,57	233,42	286,65

Tabel 4. 22 Lanjutan

Momen Pelat 15% (kNm)	0,15 x	0,15 x	0,15 x	0,15 x	0,15 x
	168,62	313,15	140,68	274,61	337,24
	25,29	46,97	21,10	41,19	50,59
Momen Rencana	204,39	379,57	151,83	332,86	408,77
Lajur Tengah (kNm)	-168,62	-313,15	-140,68	-274,61	-337,24
	35,77	66,43	11,15	58,25	71,54

4) Penulangan lentur pelat

a) Momen nominal pelat untuk lajur kolom

Lebar lajur kolom menurut SNI 2847-2013 pasal 13.2.1 diambil nilai terkecil antara $0,25\ell_1$ dan $0,25\ell_2$, termasuk balok jika ada.

$$0,25\ell_1 = 0,25 \times 8 = 2 \text{ m}$$

$$0,25\ell_2 = 0,25 \times 6 = 1,5 \text{ m}$$

Lebar lajur kolom untuk 1 panel pelat diambil = $2 \times 1,5 = 3 \text{ m}$

Momen nominal pelat untuk lajur kolom dihitung dengan persamaan 4. 1. Perhitungan momen nominal pelat lajur kolom arah melebar (6m) dapat dilihat pada Tabel 4. 23 dan untuk arah memanjang (8m) dapat dilihat pada Tabel 4. 24.

Tabel 4. 23 Momen pelat lajur kolom arah melebar

	Arah melebar (6m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
Mu (kNm)	7,96	14,78	4,93	12,96	15,92
Lebar lajur kolom	3	3	3	3	3
Mn (kNm)	3,32	6,16	2,05	5,40	6,63

Tabel 4. 24 Momen pelat lajur kolom arah memanjang

	Arah memanjang (8m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif Interior
Mu (kNm)	25,29	46,97	21,10	41,19	50,59
Lebar lajur kolom	3	3	3	3	3
Mn (kNm)	10,54	19,57	8,79	17,16	21,08

b) Momen nominal pelat pada lajur tengah

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.2.1, lajur tengah adalah lajur yang terbentuk diantara dua buah lajur kolom.

Lebar lajur tengah arah melebar = $6-3 = 3$ m

Lebar lajur tengah arah memanjang = $8-3 = 5$ m

Perhitungan momen nominal pelat lajur tengah arah melebar (6m) dapat dilihat pada Tabel 4. 25 dan untuk arah memanjang (8m) dapat dilihat pada Tabel 4. 26.

Tabel 4. 25 Momen pelat lajur tengah arah melebar

	Arah melebar (6m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif
Mu (kNm)	28,57	53,06	6,85	46,53	57,14
Lebar lajur tengah	3	3	3	3	3
Mn (kNm)	11,90	22,11	2,85	19,39	23,81

Tabel 4. 26 Momen pelat lajur tengah arah memanjang

	Arah memanjang (8m)				
	Bentang Dalam		Bentang Ujung		
	Momen Rencana Positif	Momen Rencana Negatif	Momen Negatif Eskterior	Momen Positif	Momen Negatif interior
Mu (kNm)	35,77	66,43	17,01	58,25	71,54
Lebar lajur tengah	5	5	5	5	5
Mn (kNm)	8,94	16,61	4,25	14,56	17,88

c) Contoh perhitungan tulangan negatif bentang dalam, lajur kolom arah melebar (6m) pada tulangan negatif :

i. Menghitung nilai A_s dari persamaan momen nominal

$$M_n = 6,16 \text{ kNm} = 6158509,98 \text{ Nmm}$$

Tinggi efektif penampang dihitung dengan persamaan 2. 15

$d = \text{tinggi pelat} - t.\text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{diameter tulangan}$

$$d = 170 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 13$$

$$d = 143,5 \text{ mm}$$

Dari persamaan 2. 14, maka nilai A_s dihitung dengan menaksir nilai

lempang momen $(d - \frac{1}{2} a) = 0,9d$ seperti berikut:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$6158509,98 = A_s \times 420 \times 0,9 \times 143,5$$

$$A_s = 113,54 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dapat dihitung nilai a dengan persamaan 2. 16

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{113,54 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 2,24 \text{ mm}$$

Maka nilai A_s yang baru dihitung lagi menggunakan persamaan 2. 14

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$6158509,98 = A_s \times 420 \left(143,5 - \frac{1}{2} \cdot 2,24 \right)$$

$$A_s = 102,99 \text{ mm}^2$$

ii. Menghitung batasan tulangan minimum dan tulangan maksimum

Rasio penulangan minimum dihitung menggunakan persamaan 2. 19

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

Luas tulangan minimum dapat dihitung menggunakan persamaan 2. 18

$$A_{\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0033 \cdot 1000 \cdot 143,5 = 478,33 \text{ mm}^2$$

Rasio penulangan maksimum dihitung menggunakan persamaan 2. 22

$$\rho_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{(600 + f_y) f_y} = \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 25}{(600 + 420) 420} = 0,01897$$

Luas tulangan maksimum dihitung menggunakan persamaan 2. 21

$$A_{maks} = \rho_{maks} \cdot b \cdot d = 0,01897 \cdot 1000 \cdot 143,5 = 2722,66 \text{ mm}^2$$

iii. Menentukan tulangan yang akan didesain

Sebelum menentukan tulangan yang akan digunakan cek rasio tulangan sudah memenuhi syarat $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks}$.

Dari nilai $A_s = 652,14 \text{ mm}^2$ dengan persamaan 2. 24 didapat nilai ρ seperti berikut:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$102,99 = \rho \times 1000 \times 143,5$$

$$\rho = 0,0007$$

nilai $\rho < \rho_{min}$, maka digunakan nilai ρ_{min}

Sehingga digunakan nilai $\rho = 0,0033$, maka luas tulangan perlu dapat dihitung dengan persamaan 2. 24

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 143,5$$

$$= 478,33 \text{ mm}^2$$

Dicoba digunakan tulang D13, $A_{s \text{ tul}} = 201,06 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan dalam 1 m pada momen negatif menggunakan persamaan 2. 25

$$s = \frac{A_{s \text{ tul}} \cdot 1000}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{132,73}{478,33} = 277,48 \text{ mm}$$

Jarak maksimum, $s_{maks} = 2h = 2 \times 170 = 340 \text{ mm}$

Maka digunakan jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$

Tulangan yang digunakan D16-250, maka luas tulangan yang digunakan dengan menggunakan persamaan 2. 26

$$A_{s \text{ pakai}} = n \times 0,25 \times \pi \times D^2 = 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek syarat penulangan dengan persamaan 2. 27

$$A_{s \text{ min}} < A_{s \text{ pakai}} < A_{s \text{ maks}}$$

$$478,33 \text{ mm}^2 < 1005,31 \text{ mm}^2 < 2722,66 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- v. Cek tahanan momen lajur kolom arah melebar (6m)

Luas A_s pakai = 663,66 mm², maka nilai a baru dihitung dengan persamaan 2. 16

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{1005,31 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} = 19,87 \text{ mm}$$

Nilai ϕM_n dihitung dengan persamaan 4. 2

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) L$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 1005,31 \times 420 \left(143,5 - \frac{1}{2} 19,87 \right) \times 3$$

$$\phi M_n = 135348554 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 135,34 \text{ kNm} > M_u = 14,78 \text{ kNm (OK)}$$

Untuk perhitungan penulangan arah melebar dapat dilihat pada Tabel 4. 27 dan untuk arah memanjang pada Tabel 4. 29. Sedangkan untuk rekap penulangan arah melebar dapat dilihat pada Tabel 4. 28 dan untuk arah memanjang pada Tabel 4. 30.

Tabel 4. 27 Perhitungan penulangan pelat dengan balok arah melebar (6m)

	Bentang dalam				Bentang ujung					
	Lajur Kolom		Lajur Tengah		Lajur Kolom			Lajur Tengah		
	Mn-	Mn+	Mn-	Mn+	Me-	M+	Mi-	Me-	M+	Mi-
Mn (Nmm)	6,2,E+06	3,3,E+06	2,2,E+07	1,2,E+07	2,1,E+06	5,4,E+06	6,6,E+06	1,9,E+06	1,9,E+07	2,4,E+07
As	113,54	61,13	407,56	219,46	37,85	99,56	122,27	34,32	357,40	438,91
a	2,24	1,21	8,06	4,34	0,75	1,97	2,42	0,68	7,06	8,68
A _{sperlu}	102,99	55,25	377,40	200,54	34,15	90,22	110,98	30,96	329,78	407,34
p _{min}	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
A _{min} (mm ²)	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33
ρ maks	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190
A _{maks}	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66
ρ _{ada}	0,0007	0,0004	0,0026	0,0014	0,0002	0,0006	0,0008	0,0002	0,0023	0,0028
Digunakan A _{perlu}	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33
D (mm)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
A _{s tul}	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06
S _{perlu} (mm)	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34
S _{maks} (mm)	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
S _{digunakan} (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Dipilih Tulangan	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
A _{s pakai}	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31
A _{s min} < A _{s pakai} < A _{s maks}	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
a	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87
L	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
φM _n	135,35	135,35	135,35	135,35	135,35	135,35	135,35	135,35	135,35	135,35
M _u	14,78	7,96	53,06	28,57	4,93	12,96	15,92	4,47	46,53	57,14
φM _n > M _u	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4. 28 Rekap penulangan pelat arah melebar (6m)

Tebal pelat Desain=240 mm														
Arah Penulangan Untuk Arah Melebar (6m)														
Lajur	Jenis Momen	Mn (kNm)	A _s perlu (mm ²)	Dia. Tul Rencana	Jarak perlu (mm)	Digunakan	A _s Tul aktual (mm ²)	A _s Tul min (mm ²)	A _s Tul maks (mm ²)	$\frac{A_{\min} < A_{\text{aktual}} < A_{\max}}$	ϕM_n	M _u	$\phi M_n > M_u$	
Bentang Ujung	Kolom	Me-	2,05	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	4,93	OK
		M+	5,40	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	12,96	OK
		Mi-	6,63	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	15,92	OK
	Tengah	Me-	1,86	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	4,47	OK
		M+	19,39	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	46,53	OK
		Mi-	23,81	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	57,14	OK
Bentang Dalam	Kolom	Mn-	6,16	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	14,78	OK
		Mn+	3,32	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	7,96	OK
	Tengah	Mn-	22,11	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	53,06	OK
		Mn+	11,90	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	28,57	OK

Tabel 4. 29 Perhitungan penulangan pelat dengan balok arah memanjang (8m)

	Bentang dalam				Bentang ujung					
	Lajur Kolom		Lajur Tengah		Lajur Kolom			Lajur Tengah		
	Mn-	Mn+	Mn-	Mn+	Me-	M+	Mi-	Me-	M+	Mi-
Mn (Nmm)	2,0,E+07	1,1,E+07	1,7,E+07	8,9,E+06	8,8,E+06	1,7,E+07	2,1,E+07	2,8,E+06	1,5,E+07	1,8,E+07
As	360,82	194,29	306,15	164,85	162,09	316,41	388,57	51,41	268,47	329,70
a	7,13	3,84	6,05	3,26	3,20	6,25	7,68	1,02	5,31	6,52
A _{sperlu}	333,01	177,23	281,47	150,07	147,53	291,11	359,33	46,43	246,17	303,62
p _{min}	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
A _{min} (mm ²)	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33
ρ maks	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190
A _{maks}	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66	2722,66
ρ ada	0,0023	0,0012	0,0020	0,0010	0,0010	0,0020	0,0025	0,0003	0,0017	0,0021
Digunakan A _{perlu}	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33	478,33
D (mm)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
A _{s tul}	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06	201,06
S _{perlu} (mm)	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34	420,34
S _{maks} (mm)	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
S digunakan (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Dipilih Tulangan	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250	D16-250
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
A _{s pakai}	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31	1005,31
A _{s min} < A _{s pakai} < A _{s maks}	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
a	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87	19,87
L	3,00	3,00	5,00	5,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	5,00
φM _n	135,35	135,35	225,58	225,58	135,35	135,35	135,35	225,58	225,58	225,58
M _u	46,97	25,29	66,43	35,77	21,10	41,19	50,59	11,15	58,25	71,54
φM _n > M _u	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4. 30 Rekap penulangan pelat arah memanjang (8m)

Tebal pelat Desain=240 mm														
Arah Penulangan Untuk Arah Melebar (6m)														
Lajur	Jenis Momen	Mn (kNm)	A _s perlu (mm ²)	Dia. Tul Rencana	Jarak perlu (mm)	Digunakan	A _s Tul aktual (mm ²)	A _s Tul min (mm ²)	A _s Tul maks (mm ²)	$\frac{A_{min} < A_{aktual} < A_{maks}}$	ϕM_n	M _u	$\phi M_n > M_u$	
Bentang Ujung	Kolom	Me-	8,79	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	21,10	OK
		M+	17,16	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	41,19	OK
		Mi-	21,08	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	50,59	OK
	Tengah	Me-	2,79	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	225,58	11,15	OK
		M+	14,56	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	225,58	58,25	OK
		Mi-	17,88	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	225,58	71,54	OK
Bentang Dalam	Kolom	Mn-	19,57	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	46,97	OK
		Mn+	10,54	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	135,35	25,29	OK
	Tengah	Mn-	16,61	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	225,58	66,43	OK
		Mn+	8,94	478,33	16,00	420,34	D16-250	1005,31	478,33	2722,66	OK	225,58	35,77	OK

5) Cek lendutan pada pelat

Tebal pelat (h): 170 mm

Panjang bentang bersih L_n : 7,4 m

Beban pada pelat:

Berat sendiri pelat = $0,17 \times 2400 \times 1 = 408 \text{ kg/m}$

Beban mati tambahan = 166 kg/m

$$Q_D = 574 \text{ kg/m}$$

Beban mati total, $Q_D = 5,62 \text{ kN/m}$

Beban hidup, $Q_L = 250 \text{ kg/m}$

$$Q_L = 2,45 \text{ kN/m}$$

a) Beban rencana Q_u dapat dihitung dengan persamaan 2. 11

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$$

$$Q_u = 1,2 \times 5,62 + 1,6 \times 2,45 = 10,66 \text{ kN/m}$$

b) Momen maksimum akibat beban merata, menggunakan persamaan 4. 3

$$M_u = \frac{1}{8} Q_u L_n^2$$

$$M_u = \frac{1}{8} \times 10,66 \times 7,4^2 = 72,97 \text{ kNm}$$

c) Momen inersia bruto (I_g), menggunakan persamaan 4. 4

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

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1000 \times 170^3 = 409,42 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

d) Letak garis netral (x)

Modulus beton (E_c) menggunakan persamaan 4. 5

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

Modulus baja, $E_s = 200000 \text{ Mpa}$

Rasio modulus (n) menggunakan persamaan 4. 6

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{200000}{23000} = 8,7$$

Jarak tulangan : D16-250, $A_{s \text{ pakai}} = 1005,31 \text{ mm}^2$

, menggunakan persamaan 4. 7

$$\frac{bx^2}{2} - n.A_s(d-x) = 0$$

$$\frac{bx^2}{2} = n.A_s(d-x)$$

$$\frac{1000x^2}{2} = 8,7 \times 1005,31(143,5 - x)$$

$$500 x^2 = -8746,2x + 1255079,27$$

$$x = 42,11 \text{ mm}$$

e) Momen inersia retak (I_{cr}), menggunakan persamaan 4. 8

$$I_{cr} = \frac{bx^3}{3} + n.A_s(d-x)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1000 \times 42,11^3}{3} + 8,7 \times 1005,31(143,5 - 42,11)^2$$

$$I_{cr} = 114,8 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

f) Momen retak (M_{cr}), menggunakan persamaan 4. 9

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{0,62\sqrt{25} \times 409,42 \times 10^6}{170/2} = 14,93 \text{ kNm}$$

g) Momen inersia efektif (I_e), menggunakan persamaan 4. 10

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 \right] \times I_{cr} \leq I_g$$

$$I_e = \left(\frac{14,93}{72,97} \right)^3 \times 409,42 \times 10^6 + \left[1 - \left(\frac{14,93}{72,97} \right)^3 \right] \times 114,8 \times 10^6$$

$$I_e = 117,32 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

h) Cek lendutan akibat beban ultimate (Q_u)

Asumsi tumpuan yang digunakan adalah jepit-jepit dengan pembebanan merata pada pelat. Sehingga digunakan persamaan 4. 11

$$\Delta_{maks} = \frac{QL_n^4}{384EI}$$

$$\Delta_{maks} = \frac{10,66 \times 7400^4}{384 \times 23500 \times 117,32 \times 10^6} = 30,1 \text{ mm}$$

Syarat lendutan izin maksimum berdasarkan Tabel 2. 10

$$\frac{L_n}{240} = \frac{7400}{240} = 30,83 \text{ mm}$$

Jadi lendutan akibat beban total yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan lendutan izin maksimum. Sehingga pelat memenuhi persyaratan izin lendutan.

i) Cek lendutan akibat beban hidup merata 2,45 kN/m

$$\frac{2,45}{5,62 + 2,45} \times 30,1 = 9,14 \text{ mm}$$

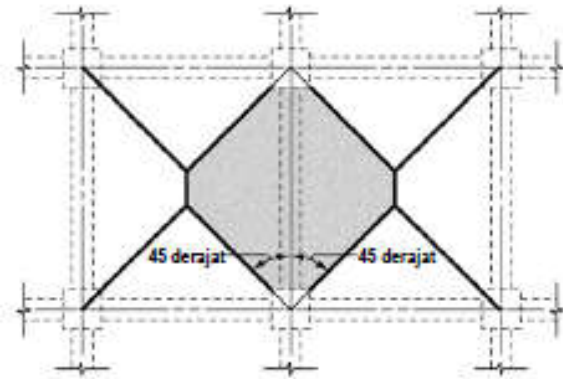
Syarat lendutan izin maksimum akibat beban hidup berdasarkan Tabel 2. 10

$$\frac{L_n}{360} = \frac{7400}{360} = 20,55 \text{ mm}$$

Jadi lendutan akibat beban hidup yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan lendutan izin maksimum. Sehingga pelat memenuhi persyaratan izin lendutan.

6) Pemeriksaan geser pelat dengan balok

Karena nilai $\alpha_1 \ell_2 / \ell_1 > 1$ berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.6.8.1 maka balok harus diproporsikan untuk menahan geser yang diakibatkan oleh beban terfaktor pada daerah tributari yang dibatasi oleh garis 45° yang ditarik dari sudut-sudut panel dan garis-garis pusat panel bersebelahan yang sejajar dengan sisi panjangnya. Bagian beban yang lebih besar akan dipikul oleh balok bentang arah melebar dengan harga terbesar terdapat di muka kolom interior pertama.

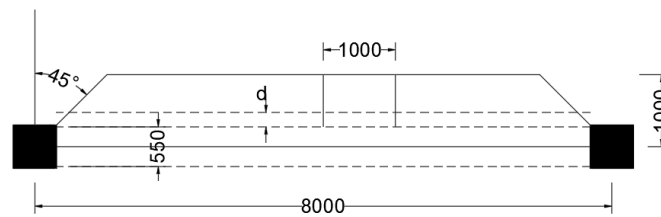


Gambar 4. 19 Daerah *tributary* (SNI 2847-2013)

Menurut Setiawan (2016), kekuatan geser diperiksa pada lokasi penampang kritis seperti pada Gambar 4. 20 yang terletak sejauh d dari muka balok, untuk lebar pelat 1m, dengan :

$$d = h \text{ pelat} - \text{selimut} - D_b/2 = 170 - 20 - 13/2 = 143,5 \text{ mm}$$

$$Q_u = 10,66 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4. 20 Penampang kritis

$$V_u = Q_u \left(3 - \frac{1}{2} \text{ lebar balok} - d \right) \times 1 \text{ m} \dots\dots\dots (4. 16)$$

$$V_u = 10,66 \times \left(3 - \frac{1}{2} 0,35 - 0,1435 \right) \times 1 \text{ m}$$

$$V_u = 28,58 \text{ kN}$$

Menggunakan persamaan 2. 57

$$\phi V_c = \phi (1/6) \sqrt{f'_c} b.d$$

$$\phi V_c = 0,75 (1/6) \cdot \sqrt{25} \times 1000 \times 143,5$$

$$= 89687,5 \text{ N/m}$$

$$= 89,687 \text{ kN/m}$$

$\phi V_c > V_u$, Jadi tebal pelat cukup aman dan tahan terhadap geser

4.3.3. Perencanaan Balok

a. Data perencanaan balok

Digunakan data rencana balok B1 sebagai contoh perhitungan dengan data sebagai berikut :

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

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

Lebar balok, $b = 540 \text{ mm}$

Tinggi balok, $h = 650 \text{ mm}$

Tebal selimut beton, $t_s = 40 \text{ mm}$

b. Pembebanan

Beban rencana yang bekerja pada struktur ini disesuaikan dengan Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung (SKBI- 1.3.53.1987).

Beban yang bekerja pada pelat antara lain :

1) Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah beban akibat berat sendiri pelat beton dengan nilai massa jenis 2400 kg/m^3 atau 24 kN/m^3 ditambah dengan beban mati tambahan (*ADL*).

$$\text{Beban mati pelat (DL)} = 0,17 \times 2400 = 408 \text{ kg/m}^2$$

Beban mati tambahan (*ADL*) lantai :

- a) Spesi (2 cm) $= 21 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 2 \text{ cm} = 42 \text{ kg/m}^2$
- b) Keramik (1 cm) $= 24 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 1 \text{ cm} = 24 \text{ kg/m}^2$
- c) Pasir (5 cm) $= 16 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 5 \text{ cm} = 80 \text{ kg/m}^2$
- d) Mekanikal/Elektrikal $= 20 \text{ kg/m}^2$

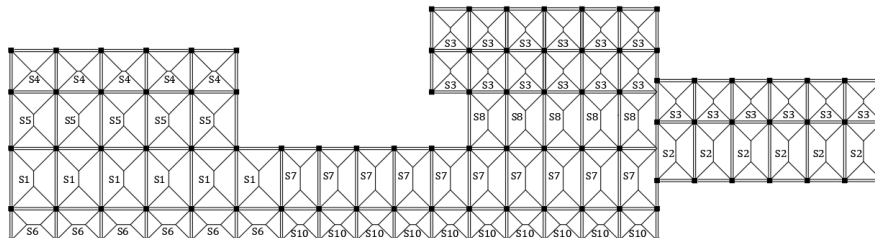
Beban mati tambahan pada pelat lantai adalah 166 kg/m^2 atau $1,63 \text{ kN/m}^2$

2) Beban hidup (*Life load*)

Pada pelat lantai 1-12 sebesar 250 kg/m^2 atau $2,45 \text{ kN/m}^2$

Pendistribusian beban dari pelat ke balok menggunakan metode pembebanan amplop yaitu terdiri beban segitiga dan beban trapesium yang ditransfer ke tepi balok, untuk bentang yang lebih pendek beban akan menjadi beban segitiga dan bentang yang lebih panjang akan berupa beban trapesium (Widiantoro, 2017). Pembebanan ini menggunakan

software *SAP2000* untuk mempermudah analisis beban yang dipikul pada semua balok. Untuk denah pembebanan pada balok dapat dilihat pada Gambar 4. 21 .



Gambar 4. 21 Rencana pembebanan balok dengan pembebanan amplop

Langkah-langkah analisis pembebanan menggunakan *software SAP2000* bisa dilihat pada Lampiran 1. Pada Gambar 4. 21 terdapat 10 jenis panel pelat dimana masing-masing panel pelat memiliki beban yang berbeda-beda. Untuk rencana beban mati (DL), beban tambahan (ADL), dan beban hidup (LL) masing-masing panel pelat dapat dilihat pada 3 tabel dibawah ini :

Tabel 4. 31 Rencana beban mati (DL)

Jenis Pelat	Luas (m ²)		Beban pelat DL kg/m ²	Beban mati kg/m ²	
	Segitiga	Trapesium		Segitiga	Trapesium
S1	9,00	15,00	408	3672,00	6120,00
S2	6,25	13,13	408	2550,00	5355,00
S3	6,25	7,50	408	2550,00	3060,00
S4	7,56	8,94	408	3085,50	3646,50
S5	9,00	13,50	408	3672,00	5508,00
S6	4,41	8,19	408	1799,28	3341,52
S7	6,25	13,75	408	2550,00	5610,00
S8	6,25	12,50	408	2550,00	5100,00
S9	10,56	15,44	408	4309,50	6298,50
S10	4,41	6,09	408	1799,28	2484,72

Tabel 4. 32 Rencana beban tambahan (ADL)

Jenis Pelat	Luas (m ²)		Beban pelat ADL kg/m ²	Beban tambahan kg/m ²	
	Segitiga	Trapesium		Segitiga	Trapesium
S1	9,00	15,00	166	1494,00	2490,00
S2	6,25	13,13	166	1037,50	2178,75
S3	6,25	7,50	166	1037,50	1245,00
S4	7,56	8,94	166	1255,38	1483,63
S5	9,00	13,50	166	1494,00	2241,00
S6	4,41	8,19	166	732,06	1359,54

Tabel 4. 32 Lanjutan

Jenis Pelat	Luas (m ²)		Beban pelat	Beban tambahan kg/m ²	
	Segitiga	Trapesium	ADL kg/m ²	Segitiga	Trapesium
S7	6,25	13,75	166	1037,50	2282,50
S8	6,25	12,50	166	1037,50	2075,00
S9	10,56	15,44	166	1753,38	2562,63
S10	4,41	6,09	166	732,06	1010,94

Tabel 4. 33 Rencana beban hidup (LL)

Jenis Pelat	Luas (m ²)		Beban pelat	Beban hidup kg/m ²	
	Segitiga	Trapesium	LL kg/m ²	Segitiga	Trapesium
S1	9,00	15,00	250	2250,00	3750,00
S2	6,25	13,13	250	1562,50	3281,25
S3	6,25	7,50	250	1562,50	1875,00
S4	7,56	8,94	250	1890,63	2234,38
S5	9,00	13,50	250	2250,00	3375,00
S6	4,41	8,19	250	1102,50	2047,50
S7	6,25	13,75	250	1562,50	3437,50
S8	6,25	12,50	250	1562,50	3125,00
S9	10,56	15,44	250	2640,63	3859,38
S10	4,41	6,09	250	1102,50	1522,50

Dari nilai beban pada Tabel 4. 31, Tabel 4. 32 dan Tabel 4. 33 kemudian data beban tersebut dimasukkan pada setiap *frame* balok pada program *SAP2000* sesuai dengan denah pembebanan pada Gambar 4. 21.

c. Mencari nilai momen dan gaya geser pada balok.

Setelah dilakukan analisis pembebanan dengan *SAP2000* didapat nilai Mu^- , Mu^+ dan Vu terbesar pada tipe balok B1 dengan data sebagai berikut
Momen rencana positif akibat beban terfaktor, $Mu^+ = 961,42$ kNm
Momen rencana negatif akibat beban terfaktor, $Mu^- = 1438,28$ kNm
Gaya geser rencana tumpuan akibat beban terfaktor, $Vu = 884,02$ kN
Gaya geser rencana lapangan akibat beban terfaktor, $Vu = 650,25$ kN

d. Perhitungan tulangan

Perhitungan tulangan pada balok B1 dilakukan sebagai berikut :

Untuk $f'_c \leq 30$ Mpa , maka $\beta_1 = 0,85$

- 1) Menghitung rasio tulangan pada kondisi *balance* dengan menggunakan persamaan 2. 40

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0253\end{aligned}$$

- 2) Menghitung nilai ρ_{maks} dengan menggunakan persamaan 2. 41 dan $R_{u\ maks}$ dengan persamaan 2. 42.

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= \left(\frac{0,003 + f_y / Es}{0,008} \right) \rho_b \\ &= \left(\frac{0,003 + 420 / 200000}{0,008} \right) 0,0253 \\ &= 0,0161\end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\Phi = 0,9$

$$\begin{aligned}R_{u\ maks} &= \phi \rho_{maks} \times f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} \cdot f_y}{1,7 f'_c} \right) \\ &= 0,9 \times 0,0161 \times 420 \times \left(1 - \frac{0,0161 \times 420}{1,7 \times 25} \right) \\ &= 5,12\end{aligned}$$

- 3) Menghitung tulangan terhadap sisi luar beton

$$\begin{aligned}ds &= ts + D_{sengkan} + D_b/2 \dots \dots \dots (4. 17) \\ &= 40 + 10 + 25/2 \\ &= 62,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

- 4) Menghitung jumlah tulangan dalam satu baris

$$\begin{aligned}n_s &= \frac{(b - 2 \cdot ds)}{(25 + D)} \dots \dots \dots (4. 18) \\ &= \frac{(540 - 2 \times 62,5)}{(25 + 25)} \\ &= 8,3 \approx 8\end{aligned}$$

digunakan $n_s = 8$

- 5) Menghitung jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{b - n_s \cdot D_b - 2 \cdot ds}{(n_s - 1)} \dots\dots\dots (4. 19) \\
 &= \frac{540 - 8 \times 25 - 2 \times 62,5}{(8 - 1)} \\
 &= 31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6) Menghitung jarak vertikal ke pusat antar tulangan

$$\begin{aligned}
 y &= D + 25 \dots\dots\dots (4. 20) \\
 &= 25 + 25 \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Tulangan Momen Positif

1) Menghitung M_{u1} , A_{s1} , dan M_{u2}

Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned}
 d &= h - D/2 - (ts + D_{sengakang}) \dots\dots\dots (4. 21) \\
 &= 650 - 25/2 - (40 + 10) \\
 &= 587,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tunggal maksimum (A_{s1}), dengan persamaan 2. 48

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \rho_{maks} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0161 \times 540 \times 587,5 \\
 &= 5116,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen rencana balok bertulangan tunggal (M_{u1}), dengan menggunakan persamaan 2. 43

$$\begin{aligned}
 M_{u1} &= R_{u \text{ maks}} \cdot b \cdot d^2 \\
 &= 5,12 \times 540 \times 587,5^2 \\
 &= 955132099,2 \text{ Nmm} \\
 &= 955,13 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$M_{u1} < M_u$, maka diperlukan tulangan tekan M_{u2}

Momen rencana yang dipikul tulangan tekan (M_{u2}), dengan menggunakan persamaan 2. 47

$$\begin{aligned}
 M_{u2} &= M_u - M_{u1} \\
 &= 961,42 - 955,13 \\
 &= 6,29 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2) Menghitung A_{s2} dan A_s

Jarak serat terluar beton ke tulangan tarik d' ,

$$d' = t_s + D. \text{ tul geser} + \frac{1}{2} D. \text{ tul tekan} \dots \dots \dots (4. 22)$$

$$d' = 40 + 10 + 25/2 = 62,5 \text{ mm}$$

Luas tulangan tekan (A_{s2}), dengan menggunakan persamaan 2. 49

$$\begin{aligned} A_{s2} &= \frac{M_{u2}}{\phi f_y (d - d')} \\ &= \frac{6,29 \times 10^6}{0,9 \times 420 (587,5 - 62,5)} \\ &= 31,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik (A_s), dengan menggunakan persamaan 2. 50

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s1} + A_{s2} \\ &= 5116,36 + 31,69 \\ &= 5148,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Periksa tulangan tekan dan tarik sudah leleh

Menghitung nilai a dengan persamaan 2. 16

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{5116,36 \times 420}{0,85 \times 25 \times 540} \\ &= 187,27 \end{aligned}$$

Menghitung nilai c ,

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta 1} \quad \dots \dots \dots (4. 23) \\ &= \frac{187,27}{0,85} \\ &= 220,31 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tekan (ϵ_s), dengan menggunakan persamaan 2. 51

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0,003 \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \\ &= 0,003 \times \left(\frac{220,31 - 62,5}{220,31} \right) \end{aligned}$$

= 0,00215 > $\epsilon_y = f_y/E_s = 420/200000 = 0,0021$, maka tulangan tekan sudah leleh sehingga $A_s' = A_{s2}$

Regangan tulangan tarik (ϵ_t), dengan menggunakan persamaan 2. 52

$$\epsilon_t = 0,003 \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$= 0,003 \left(\frac{587,5 - 220,31}{220,31} \right)$$

= 0,005 \geq 0,005 , maka tulangan tarik sudah leleh

4) Pilih tulangan untuk A_s dan A_s'

$A_s = 5148,06$ digunakan 11D25 ($A_s = 5399,61$)

$A_s' = 31,69$ digunakan 4D25 ($A_s' = 1963,5$)

5) Jumlah baris tulangan tarik

$$n_b = \frac{n}{n_s} \dots\dots\dots (4. 24)$$

$$n_b = \frac{11}{8} = 1,38$$

$n_b < 3$ (OK)

6) Letak titik berat tulangan

Pada tulangan tarik tulangan disusun 2 lapis dengan susunan tulangan seperti pada Tabel 4. 34.

Tabel 4. 34 Susunan tulangan

baris	Jumlah n_i	Jarak Y_i	jumlah jarak $n_i \cdot Y_i$
1	8	62,50	500,00
2	3	112,50	337,50
N	11	$\Sigma(n_i \cdot Y_i)$	837,5

$$y = \frac{\sum(n_i \cdot y_i)}{N} \dots\dots\dots (4. 25)$$

$$y = \frac{837,5}{11} = 76,14 \text{ mm}$$

7) Tinggi efektif balok

$$d = h - y \dots \dots \dots (4.26)$$

$$d = 650 - 76,14 = 573,86 \text{ mm}$$

8) Periksa $(\rho - \rho') < \rho_{\text{maks}}$

Menggunakan persamaan 2. 48 maka dapat dihitung nilai ρ dan ρ' ,

$$A_s = 5399,61 \text{ maka } \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{5399,61}{540 \times 573,86} = 0,017$$

$$A_s' = 1963,5 \text{ maka } \rho' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{1963,5}{540 \times 573,86} = 0,006$$

$$A_s - A_s' = 3436,12 \text{ mm}^2$$

$$(\rho - \rho') = 0,017 - 0,006 = 0,011$$

Cek $(\rho - \rho') = 0,011 < \rho_{\text{maks}} = 0,0161$ maka nilai penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi $\phi = 0,9$

9) Menghitung ϕM_n

$$a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0,85.f'_c b} \dots \dots \dots (4.27)$$

$$a = \frac{3436,12 \times 420}{0,85 \times 25 \times 540} = 125,77$$

Menggunakan persamaan 2. 53

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \left[(A_s - A_s')f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right] \\ &= 0,9 \left[3436,12 \times 420 \left(573,86 - \frac{125,77}{2} \right) + 1963,5 \times 420 (573,86 - 62,5) \right] \\ &= 1043222825,72 \text{ Nmm} \\ &= 1043,22 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek $\phi M_n = 1043,22 > M_u = 961,42$ (**aman**)

f. Perhitungan Tulangan Momen Negatif

1) Menghitung M_{u1} , A_{s1} , dan M_{u2}

Tinggi efektif balok, dengan menggunakan persamaan 4. 21

$$\begin{aligned} d &= h - D/2 - (ts + D_{sengkang}) \\ &= 650 - 25/2 - (40 + 10) \\ &= 587,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan tunggal maksimum (A_{s1}), dengan persamaan 2. 48

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \rho_{maks} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0161 \times 540 \times 587,5 \\
 &= 5116,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen rencana balok bertulangan tunggal (M_{u1}), dengan menggunakan persamaan 2. 43

$$\begin{aligned}
 M_{u1} &= R_{u \text{ maks}} \cdot b \cdot d^2 \\
 &= 5,12 \times 540 \times 587,5^2 \\
 &= 955132099,2 \text{ Nmm} \\
 &= 955,13 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$M_{u1} < M_u$, maka diperlukan tulangan tekan

Momen rencana yang dipikul tulangan tekan (M_{u2}), dengan menggunakan persamaan 2. 47

$$\begin{aligned}
 M_{u2} &= M_u - M_{u1} \\
 &= 1438,28 - 955,13 \\
 &= 483,15 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2) Menghitung A_{s2} dan A_s

Jarak serat terluar beton ke tulangan tarik (d'), dengan menggunakan persamaan 4. 22

$$\begin{aligned}
 d' &= t_s + D. \text{ tul geser} + \frac{1}{2} D. \text{ tul tekan} \\
 d' &= 40 + 10 + 25/2 = 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tekan A_{s2} , dengan menggunakan persamaan 2. 49

$$\begin{aligned}
 A_{s2} &= \frac{M_{u2}}{\phi_y (d - d')} \\
 &= \frac{483,15 \times 10^6}{0,9 \times 420 (587,5 - 62,5)} \\
 &= 2434,61 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik (A_s), dengan menggunakan persamaan 2. 50

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{s1} + A_{s2} \\
 &= 5116,36 + 2434,61 \\
 &= 7550,98 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3) Periksa tulangan tekan dan tarik sudah leleh

Menghitung nilai a , dengan persamaan 2. 16

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{5116,36 \times 420}{0,85 \times 25 \times 540} \\
 &= 187,27
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai c, dengan persamaan 4. 23

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta 1} \\
 &= \frac{187,27}{0,85} \\
 &= 220,31
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tekan (ϵ_s), dengan menggunakan persamaan 2. 51

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \\
 &= 0,003 \times \left(\frac{220,31 - 62,5}{220,31} \right) \\
 &= 0,00215 > \epsilon_y = f_y/E_s = 420/200000 = 0,0021, \text{ maka tulangan tekan} \\
 &\text{sudah leleh sehingga } A_s' = A_{s2}
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik (ϵ_t), dengan menggunakan persamaan 2. 52

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= 0,003 \left(\frac{d-c}{c} \right) \\
 &= 0,003 \left(\frac{587,5 - 220,31}{220,31} \right) \\
 &= 0,005 \geq 0,005, \text{ maka tulangan tarik sudah leleh}
 \end{aligned}$$

4) Pilih tulangan untuk A_s dan A_s'

$$A_s = 7550,98 \text{ digunakan } 16D25 (A_s = 7853,98)$$

$$A_s' = 2434,61 \text{ digunakan } 7D25 (A_s' = 3436,12)$$

5) Jumlah baris tulangan tarik

Dihitung dengan menggunakan persamaan 4. 24

$$n_b = \frac{n}{n_s} = \frac{16}{8} = 2$$

$$n_b < 3 \text{ (OK)}$$

6) Letak titik berat tulangan

Pada tulangan tarik tulangan disusun 2 lapis dengan susunan tulangan seperti pada Tabel 4. 35.

Tabel 4. 35 Susunan tulangan

Baris	Jumlah n_i	Jarak Y_i	Jumlah jarak $n_i \cdot Y_i$
1	8	62,50	500,00
2	8	112,50	900,00
N	16	$\Sigma(n_i \cdot Y_i)$	1400

Letak titik berat dihitung dengan persamaan 4. 25

$$y = \frac{\sum(n_i \cdot y_i)}{N}$$

$$y = \frac{1400}{16} = 87,5 \text{ mm}$$

7) Tinggi efektif balok dihitung dengan persamaan 4. 26

$$d = h - y = 650 - 87,5 = 562,5 \text{ mm}$$

8) Periksa $(\rho - \rho') < \rho_{\text{maks}}$

Menggunakan persamaan 2. 48 maka dapat dihitung nilai ρ dan ρ' ,

$$A_s = 7853,98 \text{ maka } \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{7853,98}{540 \times 562,5} = 0,026$$

$$A_s' = 3436,12 \text{ maka } \rho' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{3436,12}{540 \times 562,5} = 0,011$$

$$A_s - A_s' = 4417,86 \text{ mm}^2$$

$$(\rho - \rho') = 0,026 - 0,011 = 0,015$$

Cek $(\rho - \rho') = 0,015 < \rho_{\text{maks}} = 0,0161$ maka nilai penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi $\Phi = 0,9$

9) Menghitung ΦM_n

Menghitung nilai a dengan persamaan 4. 27

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{4417,86 \times 420}{0,85 \times 25 \times 540} = 161,7$$

Menggunakan persamaan 2. 53

$$\phi M_n = \phi \left[(A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

$$\begin{aligned}
&= 0,9 \left[4417,86 \times 420 \left(562,5 - \frac{190,23}{2} \right) + 3436,12 \times 420 (562,5 - 62,5) \right] \\
&= 1453759209,84 \text{ Nmm} \\
&= 1453,76 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Cek $\Phi M_n = 1453,76 > M_u = 1436,05$ (**aman**)

g. Perhitungan Geser Lapangan

- 1) Menghitung kuat geser beton, V_c

Menggunakan persamaan 2. 57

Tinggi efektif balok. $d = 573,86 \text{ mm}$

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

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 540 \times 573,86 \times 10^{-3}$$

$$V_c = 258,24 \text{ kN}$$

- 2) Tahanan geser beton, ϕV_c

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$

$$\phi V_c = 0,75 \times 258,24 \text{ kN}$$

$$= 193,68 \text{ kN}$$

$\phi V_c < V_u = 650,25 \text{ kN}$, maka perlu tulangan geser

- 3) Tulangan geser sengkang, ϕV_s menggunakan persamaan 2. 61

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 650,25 - 193,68$$

$$= 456,58 \text{ kN}$$

Tahanan geser sengkang, V_s

$$V_s = 456,58 / 0,75$$

$$= 608,77 \text{ kN}$$

- 4) Luas tulangan geser sengkang (A_v), menggunakan persamaan 2. 62

Digunakan sengkang berpenampang 4P10

$$A_v = n \times \pi / 4 \times D^2$$

$$= 4 \times \pi / 4 \times 10^2$$

$$= 314,16 \text{ mm}^2$$

- 5) Jarak sengkang yang diperlukan, S_1

Menggunakan persamaan 2. 63

$$S_1 = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$S_1 = \frac{314,16 \times 420 \times 573,86}{608,77}$$

$$S_1 = 127,64 \text{ mm}$$

- 6) Jarak sengkang maksimum, S_{maks}

Menggunakan persamaan 2. 64

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,33 \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \sqrt{25} \times 540 \times 573,86 \times 10^{-3} \\ &= 511,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan 2. 65

$$\begin{aligned} V_{c2} &= 0,66 \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 540 \times 573,86 \times 10^{-3} \\ &= 1022,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek nilai $V_s = 608,77 \text{ kN}$

Jika $V_s < V_{c1}$, maka $S_2 = d/2$

Jika $V_{c1} < V_s < V_{c2}$, maka $S_2 = d/4$

Digunakan nilai $S_2 = d/4 = 573,86/4 = 143,67 \text{ mm}$

Menggunakan persamaan 2. 68

$$S_3 = \frac{A_v \times f_y}{0,35b}$$

$$S_3 = \frac{314,16 \times 420}{0,35 \times 540} = 698,13 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum diambil minimal antara S_2 dan S_3

$$S_{\text{maks}} = 143,67 \text{ mm}$$

- 7) Sengkang yang digunakan

Jarak sengkang digunakan diambil terkecil dari S_1 dan S_{maks}

$$S = 127,64 \approx 120 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang berpenampang 4P10-120

- 8) Cek tahanan geser nominal, ϕV_n

Menggunakan persamaan 2. 58

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

$$V_s = \frac{314,16 \times 420 \times 573,86}{120} = 631 \text{ kN}$$

Menggunakan dari persamaan 2. 69

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

$$= 0,75 (258,24 + 631) = 666,93 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 666,93 > V_u = 650,25 \text{ (aman)}$$

h. Perhitungan Geser Tumpuan

- 1) Menghitung kuat geser beton, V_c

Tinggi efektif balok. $d = 562,5$

Menggunakan persamaan 2. 57

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

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 540 \times 562,5 \times 10^{-3}$$

$$V_c = 253,12 \text{ kN}$$

- 2) Tahanan geser beton, ϕV_c

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$

$$\phi V_c = 0,75 \times 253,12 \text{ kN}$$

$$= 189,84$$

$\phi V_c < V_u = 884,02 \text{ kN}$, maka perlu tulangan geser

- 3) Tulangan geser sengkang, ϕV_s

Menggunakan persamaan 2. 61

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 884,02 - 189,84$$

$$= 694,18 \text{ kN}$$

Tahanan geser sengkang, V_s

$$V_s = 694,18 / 0,75$$

$$= 925,57 \text{ kN}$$

- 4) Luas tulangan geser sengkang, A_v menggunakan persamaan 2. 62

Digunakan sengkang berpenampang 4P10

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \pi/4 \times D^2 \\ &= 4 \times \pi/4 \times 10^2 \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

5) Jarak sengkang yang diperlukan, S_1

Menggunakan persamaan 2. 63

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ S_1 &= \frac{314,16 \times 420 \times 562,5}{925,57} \end{aligned}$$

$$S_1 = 83,75 \text{ mm}$$

6) Jarak sengkang maksimum, S_{maks}

Menggunakan persamaan 2. 64

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,33 \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \sqrt{25} \times 540 \times 562,5 \times 10^{-3} \\ &= 501,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan 2. 65

$$\begin{aligned} V_{c2} &= 0,66 \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 540 \times 562,5 \times 10^{-3} \\ &= 1002,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek nilai $V_s = 925,57 \text{ kN}$

Jika $V_s < V_{c1}$, maka $S_2 = d/2$

Jika $V_{c1} < V_s < V_{c2}$, maka $S_2 = d/4$

Digunakan nilai $S_2 = d/4 = 562,5/4 = 140,63 \text{ mm}$

Menggunakan persamaan 2. 68

$$\begin{aligned} S_3 &= \frac{A_v \times f_y}{0,35b} \\ S_3 &= \frac{314,16 \times 420}{0,35 \times 540} = 698,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak sengkang maksimum diambil minimal antara S_2 dan S_3

$$S_{maks} = 140,63 \text{ mm}$$

7) Sengkang yang digunakan

Jarak sengkang digunakan diambil terkecil dari S_1 dan S_{maks}

$$S = 83,93 \approx 80 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang berpenampang 4P10-80

8) Cek tahanan geser nominal, ϕV_n

Menggunakan persamaan 2. 58

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

$$V_s = \frac{314,16 \times 420 \times 562,5}{80} = 927,75 \text{ kN}$$

Menggunakan dari persamaan 2. 69

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

$$= 0,75 (253,13 + 927,75) = 885,66 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 885,66 > V_u = 884,02 \text{ (aman)}$$

i. Hasil perhitungan semua balok

Dari analisa perhitungan yang dilakukan penulis terdapat 3 jenis balok rencana yang didesain yaitu B1, B2 dan B3. Ada 2 pengecekan kemampuan balok yang telah dilakukan penulis yaitu pengecekan kemampuan balok terhadap momen pada balok dan pengecekan kemampuan balok terhadap gaya geser balok. Hasil dimensi, Diameter tulangan dan jumlah tulangan balok serta kemampuan balok dalam menahan momen dapat dilihat pada Tabel 4. 36 dengan kesimpulan bahwa semua balok yang didesain sudah aman dalam menahan gaya momen pada balok.

Tabel 4. 36 Pengecekan kemampuan momen balok

No	Jenis Balok	Lokasi	D (mm)	Jumlah Tulangan		ϕM_n (kNm)	Mu (kNm)	Cek
				Atas	Bawah			
1	B1 (65x54)	Tumpuan	25	16	7	1453,76	1438,28	AMAN
		Lapangan	25	4	11	1043,22	961,42	AMAN
2	B2 (55x35)	Tumpuan	25	6	2	459,84	456,79	AMAN
		Lapangan	25	2	5	396,66	272,03	AMAN
3	B3 (55x30)	Tumpuan	25	6	2	459,84	456,79	AMAN
		Lapangan	25	2	4	317,35	183,40	AMAN

Kemudian untuk hasil dimensi, diameter sengkang, jenis sengkang dan jarak sengkang serta kemampuan balok dalam menahan gaya geser pada balok dapat dilihat pada Tabel 4. 37 dengan kesimpulan bahwa semua balok aman dalam menahan gaya geser pada balok.

Tabel 4. 37 Pengecekan kemampuan geser balok

No	Jenis Balok	Lokasi	D (mm)	Jenis sengkang	Jarak sengkang	$\square V_n$ (kNm)	V_u (kNm)	Cek
1	B1 (65x55)	Tumpuan	10	4P10	80	885,66	884,02	AMAN
		Lapangan	10	4P10	120	666,93	650,25	AMAN
2	B2 (55x35)	Tumpuan	10	2P10	80	394,21	366,76	AMAN
		Lapangan	10	2P10	140	273,22	269,68	AMAN
3	B3 (55x30)	Tumpuan	10	2P10	110	294,76	293,29	AMAN
		Lapangan	10	2P10	150	245,75	224,69	AMAN

4.4. Perhitungan Biaya Pelaksanaan

Biaya pelaksanaan dapat dihitung dengan cara mengkalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan. Untuk perhitungan volume dari sistem sistem pelat-balok dapat dilihat pada Lampiran 5 dan untuk sistem *flat slab-drop panel* dapat dilihat pada Lampiran 6. Kemudian untuk analisa perhitungan harga satuan pekerjaan dapat dilihat pada Lampiran 4.

Rincian biaya pelaksanaan dengan menggunakan sistem pelat dan balok dapat dilihat pada Tabel 4. 38.

Tabel 4. 38 Biaya pelaksanaan sistem pelat dan balok

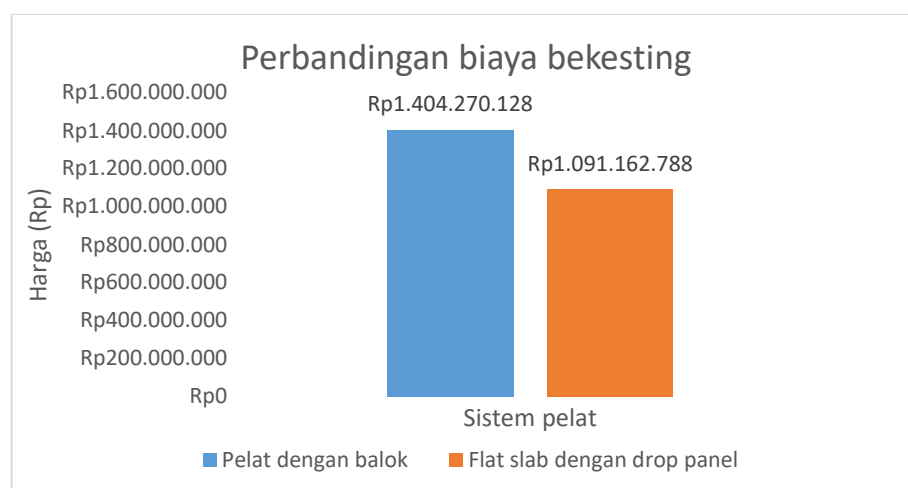
No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Biaya
1	2	3	4	5	6 = 3 × 5
1	Bekesting				
	Bekesting Balok	1386,73	m ²	Rp368.855	Rp511.503.770
	Bekesting Pelat	2070,64	m ²	Rp431.155	Rp892.766.358
			Jumlah		Rp1.404.270.128
2	Pembesian				
	Pembesian Balok	57489,85	kg	Rp21.517	Rp1.237.009.142
	Pembesian Pelat	54373,54	kg	Rp21.517	Rp1.169.955.466
			Jumlah		Rp2.406.964.608
3	Pengecoran Pelat dan Balok	600,16	m ³	Rp1.491.419	Rp895.099.498
		Total			Rp4.706.334.233

Rincian biaya pelaksanaan untuk dengan menggunakan sistem *flat slab* dan *drop panel* dapat dilihat pada Tabel 4. 39.

Tabel 4. 39 Biaya pelaksanaan *flat slab* dan *drop panel*

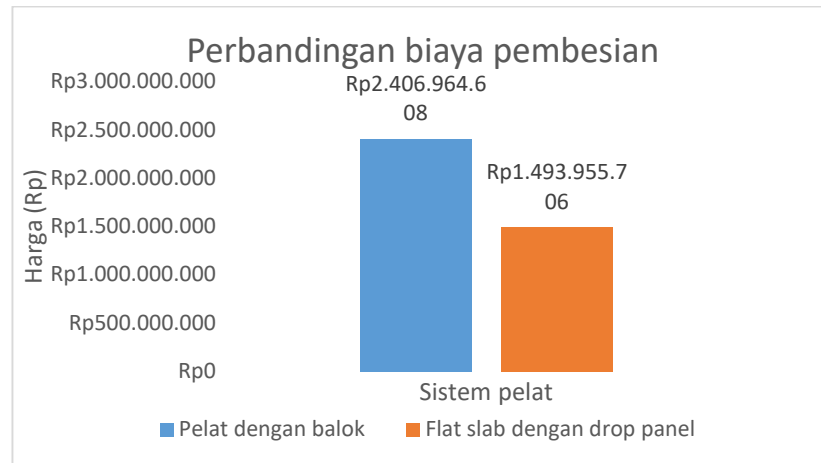
No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Biaya
1	2	3	4	5	6 = 3 × 5
1	Bekesting				
	Bekesting <i>Drop panel</i>	696,09	m ²	Rp368.855	Rp256.756.277
	Bekesting <i>Flat slab</i>	1935,28	m ²	Rp431.155	Rp834.406.511
			Jumlah		Rp1.091.162.788
2	Pembesian				
	Pembesian <i>Drop panel</i>	7928,57	kg	Rp21.517	Rp170.598.992
	Pembesian <i>Flat slab</i>	61502,85	kg	Rp21.517	Rp1.323.356.714
			Jumlah		Rp1.493.955.706
3	Pengecoran <i>Flat slab</i> dan <i>Drop panel</i>	648,58	m ³	Rp1.491.419	Rp967.310.799
	Total				Rp3.552.429.292

Dari kedua tabel diatas menunjukkan bahwa sistem *flat slab-drop panel* memiliki biaya yang lebih murah dibandingkan dengan sistem pelat-balok dengan selisih biaya pelaksanaan total dari pekerjaan bekesting sampai pengecoran sebesar Rp754.614.122. Untuk biaya bekesting sistem *flat slab-drop panel* lebih murah sebesar Rp313.107.340 dibandingkan sistem pelat-balok seperti terlihat pada Gambar 4. 22.



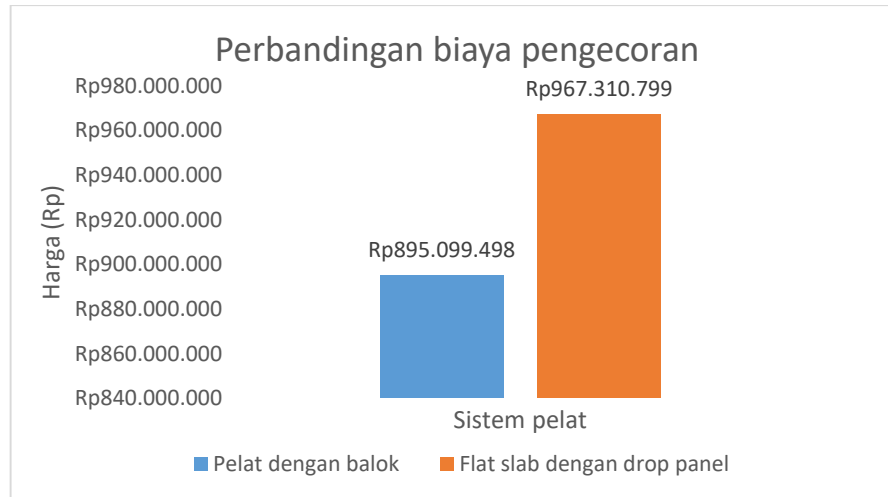
Gambar 4. 22 Grafik perbandingan biaya bekesting

Pada perbandingan biaya pekerjaan pembesian sistem *flat slab-drop panel* lebih murah sebesar Rp913.008.902 dibandingkan dengan sistem pelat-balok seperti terlihat pada Gambar 4. 23.



Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan biaya pembesian

Kemudian pada perbandingan biaya pekerjaan pengecoran sistem pelat-balok lebih murah sebesar Rp72.211.301 dibandingkan dengan sistem *flat slab-drop panel* seperti terlihat pada Gambar 4. 24



Gambar 4. 24 Grafik perbandingan biaya pengecoran

4.5. Perhitungan Waktu Pelaksanaan

Pada perhitungan waktu pelaksanaan dari kedua sistem ini penulis menggunakan jumlah pekerja yang sama pada kedua sistem agar diketahui perbedaan waktu durasi pekerjaannya. Untuk perhitungan durasi pekerjaan sistem pelat dan balok dapat dilihat pada Tabel 4. 40.

Tabel 4. 40 Durasi pekerjaan sistem pelat dan balok

No	Keterangan	Volume	Satuan	Koefisien pekerja	Satuan	Jumlah pekerja	Durasi pekerjaan (Hari)
1	2	3	4	5	6	7	8=3×5/7
1	Bekesting						
	Bekesting Balok	1386,73	m ²	0,660	O.H	30	31
	Bekesting Pelat	2070,64	m ²	0,660	O.H	40	34
2	Pembesian						
	Pembesian Balok	57489,85	kg	0,007	O.H	20	20
	Pembesian Pelat	54373,54	kg	0,007	O.H	20	19
3	Pengecoran Pelat dan Balok	600,16	m ³	0,275	O.H	20	8

Dari Tabel 4. 40 pekerjaan dengan durasi paling lama adalah pekerjaan bekesting pelat dengan durasi pekerjaan selama 34 hari. Untuk perhitungan durasi pekerjaan sistem *flat slab-drop panel* dapat dilihat pada Tabel 4. 41.

Tabel 4. 41 Durasi pekerjaan sistem *flat slab* dan *drop panel*

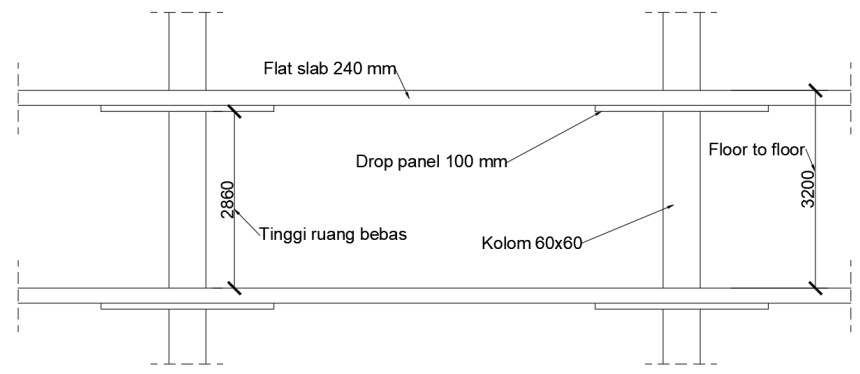
No	Keterangan	Volume	Satuan	Koefisien pekerja	Satuan	Jumlah pekerja	Durasi pekerjaan
1	2	3	4	5	6	7	8=3×5/7
1	Bekesting						
	Bekesting <i>Drop panel</i>	696,09	m ²	0,660	O.H	30	15
	Bekesting <i>Flat slab</i>	1935,28	m ²	0,660	O.H	40	32
2	Pembesian						
	Pembesian <i>Drop panel</i>	7928,57	kg	0,007	O.H	20	3
	Pembesian <i>Flat slab</i>	61502,84	kg	0,007	O.H	20	22
3	Pengecoran <i>Flat slab-Drop panel</i>	648,58	m ³	0,275	O.H	20	9

Dari Tabel 4. 41 pekerjaan dengan durasi paling lama adalah pekerjaan bekesting *flat slab* dengan durasi pekerjaan selama 32 hari. Perbandingan waktu pelaksanaan kedua sistem dapat diketahui dengan membuat *time schedule* pekerjaan. Untuk *time schedule* sistem pelat-balok dapat dilihat pada Tabel 4. 42 , sedangkan untuk sistem *flat slab-drop panel* dapat dilihat pada Tabel 4. 43.

Dari Tabel 4. 42 didapat hasil lama pekerjaan sistem pelat-balok adalah 38 hari sedangkan sistem *flat slab-drop panel* adalah 36 hari. Sehingga didapat hasil *sistem flat slab-drop panel* lebih cepat 2 hari dibandingkan dengan sistem pelat-balok.

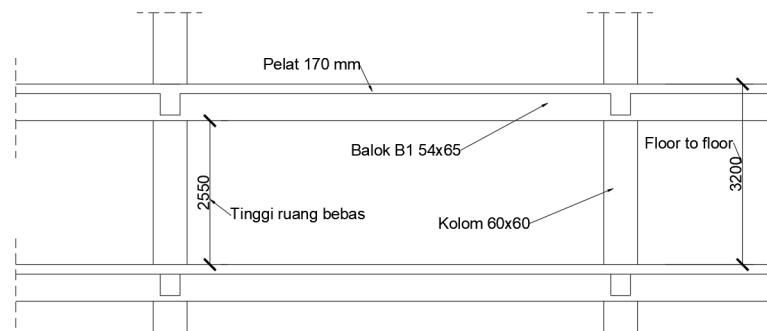
4.6. Analisa dari Segi Desain Struktur

Dalam analisa segi desain struktur penulis membandingkan tinggi ruang bebas antar lantai pada kedua sistem ini. Untuk tinggi antar lantai (*floor to floor*) penulis menggunakan data dari proyek *Jogja Apartment* yaitu dengan tinggi 3,2 m. Untuk tinggi ruang bebas sistem *flat slab* dapat dilihat pada Gambar 4. 25.



Gambar 4. 25 Tinggi ruang bebas sistem *flat slab-drop panel*

Hasil tinggi ruang bebas pada sistem *flat slab-drop panel* memiliki tinggi ruang bebas sebesar 2860 mm dihitung dari bawah *drop panel*. Sedangkan tinggi ruang bebas dengan sistem pelat dan balok dapat dilihat pada Gambar 4. 26.



Gambar 4. 26 Tinggi ruang bebas sistem pelat dan balok

Dari Gambar 4. 26 tinggi ruang bebas pada sistem pelat dan balok memiliki tinggi ruang bebas sebesar 2550 mm. Dari kedua sistem tersebut, sistem *flat slab-drop panel* memiliki tinggi ruang bebas yang lebih tinggi 310 mm dari pada sistem pelat-balok.

4.7. Perbandingan Hasil

Dari analisa yang telah dilakukan didapat perbandingan hasil antara sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok seperti tabel berikut ini :

Tabel 4. 44 Perbandingan sistem *flat slab-drop panel* dengan pelat-balok

No	Kriteria	<i>Flat slab-drop panel</i>	Pelat-balok	Keterangan
1	Pembebanan (kg)	ADL (kg)	166	Sama
		LL (kg)	250	Sama
2	Perhitungan pelat	Metode Desain Langsung	Metode Desain Langsung	Sama
3	Tebal Pelat (mm)	240	170	Sistem pelat-balok memiliki tebal lebih tipis 29,17%
4	Biaya Bekesting(Rp)	Rp1.091.162.788	Rp1.404.270.128	Sistem <i>flat slab - drop panel</i> memiliki biaya bekesting lebih murah 22,30%
5	Biaya Pembesian(Rp)	Rp1.493.955.706	Rp2.406.964.608	Sistem <i>flat slab - drop panel</i> memiliki biaya pembesian lebih murah 37,93%
6	Biaya Pengecoran(Rp)	Rp967.310.799	Rp895.099.498	Sistem pelat-balok memiliki biaya pengecoran lebih murah 7,47%
7	Biaya Pelaksanaan Total(Rp)	Rp3.552.429.292	Rp4.706.334.233	Sistem <i>flat slab - drop panel</i> memiliki biaya pelaksanaan lebih murah 24,52 %
8	Waktu Pelaksanaan (Hari)	36	38	Waktu Pelaksanaan <i>flat slab</i> lebih cepat 5,26%
9	Tinggi ruang bebas (m)	2,86	2,55	Tinggi ruang bebas <i>flat slab - drop panel</i> lebih tinggi 12,16%

Dari Tabel 4. 44 dari aspek biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan desain struktur yang ditinjau dari tinggi ruang bebas didapat hasil sistem *flat slab-drop panel* lebih baik dibandingkan sistem pelat-balok. Sistem pelat-balok hanya unggul pada biaya pengecoran saja yang lebih murah dibandingkan sistem *flat slab-drop panel*.

4.8. Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Terdahulu

Pada Tabel 2. 1 terdapat 3 penelitian sebelumnya yang mempunyai kesamaan dengan penelitian penulis yaitu membandingkan anatara sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok, dari hasil penelitian penulis didapat perbandingan hasil penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya sebagai berikut :

- a. Pada penelitian pertama yang dilakukan oleh Munawar (2014), hasil penelitiannya didapatkan hasil sistem *flat slab* lebih murah dengan sistem pelat balok dan untuk waktu pelaksanaan sistem *flat slab* lebih cepat 1 hari dibandingkan dengan sistem pelat-balok. Dari hasil penelitian penulis juga didapat hasil bahwa sistem *flat slab* lebih murah dibandingkan dengan sistem pelat-balok dan untuk waktu pelaksanaanya lebih cepat 2 hari dikarenakan luas denah pelat pada penelitian penulis lebih besar 4 kali disbanding dengan penelitian sebelumnya.
- b. Penelitian yang kedua yaitu penelitian yang dilakukan oleh Pratomo (2018), dari hasil penelitiannya didapat bahwa sistem *flat slab-drop panel* memiliki volume beton yang justru lebih kecil dibandingkan dengan sistem pelat konvensional. Sedangkan hasil penelitian penulis didapat bahwa sistem *flat slab-drop panel* memiliki volume beton yang lebih besar dibandingkan sistem pelat-balok, begitu juga dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Munawar (2014) dan Handaya dan Sutandi (2019) bahwa volume beton pada sistem *flat slab-drop panel* lebih besar dibandingkan dengan volume pelat-balok.
- c. Penelitian yang ketiga yaitu penelitian yang dilakukan oleh Handaya dan Sutandi (2019), dari hasil penelitiannya didapat hasil yang sama dengan penulis yaitu sistem *flat slab-drop panel* memiliki volume beton lebih besar dibandingkan dengan sistem pelat-balok.