

BAB IV

PENERAPAN DAN PERHITUNGAN

4.1 Penerapan

Untuk lebih jelasnya mengenai proses penyelesaian disain *flat plate* beton prategang dengan *unbonded tendon*, maka pada bagian ini akan disajikan suatu contoh disain dan kemudian diselesaikan berdasarkan apa yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya. Sebagai contoh yaitu pada perencanaan suatu gedung perkantoran dengan struktur pelat menerus tiga bentangan. Panjang bentangan pelat yang akan dianalisis direncanakan berukuran 8 m x 6 m. Kolom yang digunakan berukuran 0,5 m x 0,5 m dan tinggi kolom 3 m.

Mutu bahan yang digunakan yaitu :

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f'_{ci} = 0,75 f'_c = 26,25 \text{ MPa}$$

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

$$f_{pu} = 1863 \text{ MPa}$$

$$f_{se} = 0,7f_{pu} = 1304,1 \text{ MPa}$$

$$\text{BJ beton} = 24 \text{ KN/m}^3$$

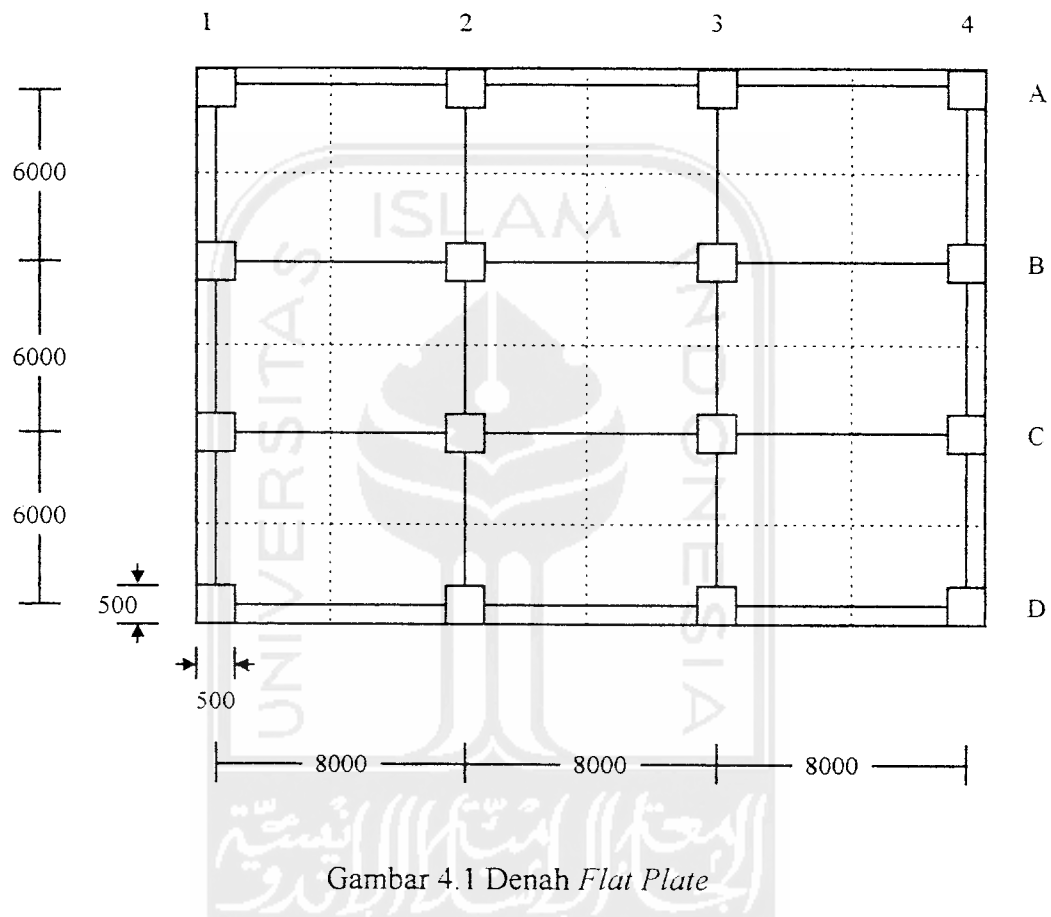
$$R = 20\%$$

$$\phi \text{ tendon} = 12,7 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ tulangan non prategang} = 12 \text{ mm}$$

4.2 Perhitungan

Pada bagian ini, hitungan disain dan perencanaan hanya untuk portal 2A - 2D, sedangkan untuk portal lainnya akan disajikan dalam bentuk tabel.

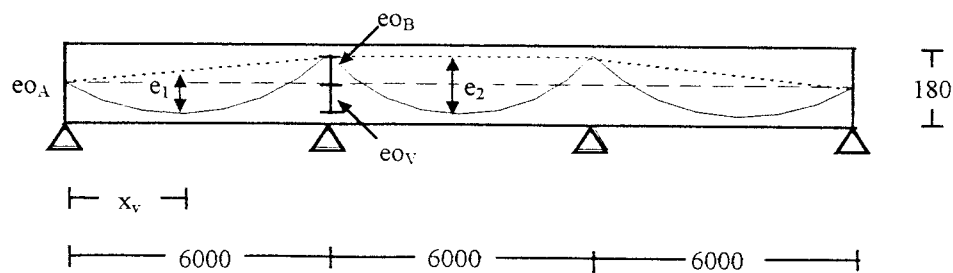


4.2.1 Portal 2A - 2D

1. Tebal pelat dan profil tendon

a. Tebal pelat

$$h \pm \frac{L}{45} = \frac{8000}{45} = 177 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil tebal pelat } 180 \text{ mm}$$



Gambar 4.2 Profil Tendon Portal 2A-2D

b. Besarnya eksentrisitas

Selimit beton yang digunakan = 20 mm

Bentang luar,

$$x_v^2 = \frac{e_{oV} - e_{oA}}{e_{oV} - e_{oB}} (1 - x_v)^2 = \frac{63,65 - 0,00}{63,65 - (-50,95)} \times (6000 - x_v)^2$$

$$x_v = 2560 \text{ mm}$$

$$e_1 = e_{oV} - (e_{oA} + e_{oB}) \frac{x_v}{l}$$

$$e_1 = 63,65 + 50,95 \times \frac{2560}{6000} = 85,39 \text{ mm} \longrightarrow 0,08539 \text{ m}$$

Bentang dalam,

$$e_2 = 180 - (2 \times 20) - (2 \times 0,5 \times 12,7) - 12,7 = 114,6 \text{ mm} \longrightarrow 0,1146 \text{ m}$$

2. Pembebanan

a. Beban mati (W_D)

- berat pelat $0,18 \times 24 = 4,32 \text{ KN/m}^2$
 - berat penutup lantai $= 1,2 \text{ KN/m}^2$
- $$5,52 \text{ KN/m}^2$$

b. Beban hidup (W_L) $= 2,5 \text{ KN/m}^2$

c. $W_{total} = 8,02 \text{ KN/m}^2$

3. Gaya prategang efektif

Asumsi tegangan rata-rata = 0,90 MPa

Perkiraan awal gaya prategang,

$$P_e = 0,90 \times 180 = 162 \text{ KN/m}$$

$$P_o = \frac{P_e}{(1 - 20\%)} = \frac{162}{0,80} = 202,5 \text{ KN/m}$$

Dipakai tendon diameter 12,7 mm, $A_{ps} = 98,7 \text{ mm}^2$, $f_{pu} = 1863 \text{ MPa}$ (lampiran 1).

Jumlah tendon yang diperlukan,

$$n = \frac{P_o}{A_{ps} f_{ps}} = \frac{202,5 \times 8 \times 10^3}{98,7 \times 0,7 \times 1863} = 12,59 \rightarrow \text{dipakai 13 tendon}$$

Gaya prategang aktual,

$$P_o \text{ aktual} = \frac{13 \times 0,90 \times 0,7 \times 1863}{8000} = 209,161 \text{ KN/m}$$

$$P_e \text{ aktual} = \frac{13 \times 98,7 \times 0,80 \times 0,7 \times 1863}{8000} = 167,329 \text{ KN/m}$$

Tegangan rata-rata aktual,

$$f_{pc} = \frac{P_e \text{ aktual}}{h} = \frac{167,329}{180} = 0,93 \text{ MPa}$$

4. Perimbangan beban (*load balancing*)

a. Pada bentang luar,

$$W_{\text{bal}} = \frac{8 P_e e_1}{l^2} = \frac{8 \times 167,329 \times 0,8539}{6^2} = 3,175 \text{ KN/m}^2$$

$$W_{\text{unb}} = W_{\text{tot}} - W_{\text{bal}} = 8,02 - 3,175 = 4,845 \text{ KN/m}^2$$

Sebagian beban mati yang belum diimbangi,

$$W_{\text{Dsisa}} = W_{\text{D}} - W_{\text{bal}} = 5,52 - 3,175 = 2,345 \text{ KN/m}^2$$

b. Pada bentang dalam,

$$W_{\text{bal}} = \frac{8 \times 167,329 \times 0,1146}{6^2} = 4,261 \text{ KN/m}^2$$

$$W_{\text{unb}} = W_{\text{tot}} - W_{\text{bal}} = 8,02 - 4,261 = 3,759 \text{ KN/m}^2$$

Sebagian beban mati yang belum diimbangi,

$$W_{\text{Dsisa}} = 5,52 - 4,261 = 1,259 \text{ KN/m}^2$$

5. Pendekatan portal ekuivalen

a. Kekakuan dasar kolom untuk portal ekuivalen,

$$\text{Inersia kolom} = \frac{500 \times 500^3}{12} = 5,21 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\text{Asumsi } \frac{E \text{ kolom}}{E \text{ pelat}} = 1$$

Kolom yang dihitung yaitu kolom atas dan bawah,

$$K_c = \frac{4 E I}{L_n - 2h} = \frac{4 \times 1 \times 5,21 \times 10^9}{3000 - (2 \times 180)} \times 2 = 1,578 \times 10^7$$

b. Kekakuan torsi dari pelat dalam garis kolom,

Besar konstanta torsional,

$$C = \sum (1 - 0,63x/y) \frac{x^3 y}{3} = (1 - 0,63 \frac{180}{500}) \frac{180^3 \times 500}{3}$$

$$= 7,52 \times 10^8$$

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs} C}{L_2 (1 - c_2/L_2)} = \frac{9 \times 1 \times 7,52 \times 10^8}{8000(1 - 500/8000)} \times 2 = 2,05 \times 10^6$$

c. Kekakuan kolom ekivalen,

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{\Sigma K_t} = \frac{1}{1,578 \times 10^7} + \frac{1}{2,05 \times 10^6}$$

$$K_{ec} = 1,82 \times 10^6$$

d. Kekakuan slab,

$$\text{Inersia slab} = \frac{8000 \times 180^3}{12} = 3,88 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Nilai K_s sebelah kanan dan kiri kolom sama, karena kolom dan bentang sama:

$$K_s = \frac{4E_{cs} I_s}{L_n - C_1/2} = \frac{4 \times 1 \times 3,88 \times 10^9}{(6000 - 500/2)} = 2,70 \times 10^6$$

5. Kontrol tegangan beton

a. Tegangan ijin beton,

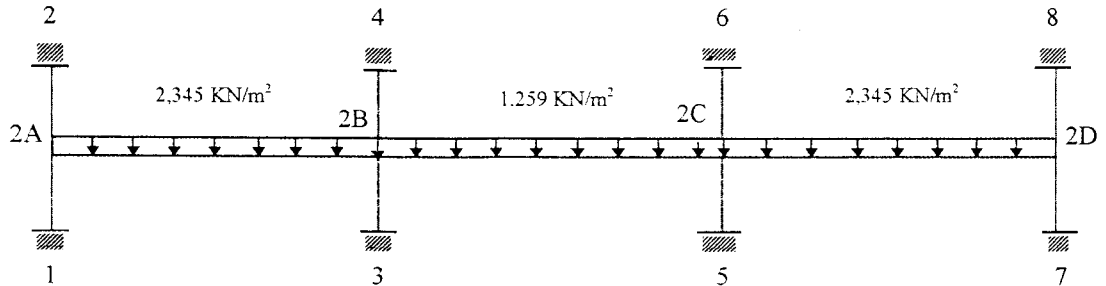
Saat transfer :

- serat tekan = $0,6 f'_{ci} = 0,6 \times 26,25 = 15,75 \text{ MPa}$
- serat tarik = $0,25 \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \times \sqrt{26,25} = 1,28 \text{ MPa}$

Saat layan :

- serat tekan = $0,45 f'_c = 0,45 \times 35 = 15,75 \text{ MPa}$
- serat tarik (M -) = $0,5 \sqrt{f'_c} = 0,50 \times \sqrt{35} = 2,96 \text{ MPa}$
- serat tarik (M +) = $\sqrt{f'_c}/6 = \sqrt{35}/6 = 0,986 \text{ MPa}$

b. Tegangan beton saat transfer,



Gambar 4.3 Portal 2A - 2D

Faktor distribusi

$$DF_{2A-1} = DF_{2A-2} = DF_{2D-7} = DF_{2D-8} = \frac{9,1 \times 10^5}{2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,201$$

$$DF_{2B-3} = DF_{2B-4} = DF_{2C-5} = DF_{2C-6} = \frac{9,1 \times 10^5}{2,7 \times 10^6 + 2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,126$$

$$DF_{2A-2B} = DF_{2D-2C} = \frac{2,7 \times 10^6}{2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,598$$

$$DF_{2B-2A} = DF_{2B-2C} = DF_{2C-2B} = DF_{2C-2D} = \frac{2,7 \times 10^6}{2,7 \times 10^6 + 2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,374$$

Untuk FEM $W_{D_{\text{sisia}}}$ bentang luar,

$$FEM = \frac{2,345 \times 6^2}{12} = 7,035 \text{ KNm}$$

Untuk FEM $W_{D_{\text{sisia}}}$ bentang dalam,

$$FEM = \frac{1,259 \times 6^2}{12} = 3,776 \text{ KNm}$$

Tabel 4.1 Distribusi Momen Sebagian Beban Mati

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2-A2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,201	0,201
FEM			7,035	-7,035			3,776	-3,776			7,035	-7,035		
	-1,414	-1,414	-4,209	-2,104							2,104	4,209	1,414	1,414
			1,004	2,007	0,676	0,676	2,007	1,004						
							-1,004	-2,007	-0,676	-0,676	-2,007	-1,004		
	-0,202	-0,202	-0,601	-0,300							0,300	0,601	0,202	0,202
			0,244	0,488	0,164	0,164	0,488	0,244						
							-0,244	-0,488	-0,164	-0,164	-0,488	-0,244		
	-0,049	-0,049	-0,146	-0,073							0,073	0,146	0,049	0,049
			0,059	0,119	0,040	0,040	0,119	0,059						
							-0,059	-0,119	-0,040	-0,040	-0,119	-0,059		
	-0,012	-0,012	-0,036	-0,018							0,018	0,036	0,012	0,012
			0,014	0,029	0,010	0,010	0,029	0,014						
							-0,014	-0,029	-0,010	-0,010	-0,029	-0,014		
	-0,003	-0,003	-0,009	-0,004							0,004	0,009	0,003	0,003
			0,004	0,007	0,002	0,002	0,007	0,004						
							-0,004	-0,007	-0,002	-0,002	-0,007	-0,004		
Total	-1,680	-1,680	3,358	-6,883	0,893	0,893	5,103	-5,103	-0,893	-0,893	6,883	-3,358	1,680	1,680
Wunb	-	-	2,345	2,345	-	-	1,259	1,259	-	-	2,345	2,345	-	-
L	-	-	6	6	-	-	6	6	-	-	6	6	-	-
Geser	-	-	6,447	7,622	-	-	3,776	3,776	-	-	7,622	6,447	-	-
M lap	-	-	3,595				0,562				3,595			

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C (bagian yang diblok).

$M_{D_{\text{sis}}} \text{ maks} = 6,883 \text{ KNm}$ (dari Tabel 4.1).

$$M_{\text{maks muka kolom}} = 6,883 - \frac{(2,345 \times 0,5 \times 6 \times 0,5)}{3} = 5,004 \text{ KNm}$$

$$\text{Modulus penampang} = \frac{1000 \times 180^2}{6} = 5,4 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Tegangan yang terjadi,

$$f_b = - \frac{P_o l}{A} - \frac{M_{D_{\text{sis}}}}{S}$$

$$= - \frac{209,161 \times 8000}{8000 \times 180} - \frac{5,004 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = -2,089 \text{ MPa} \leq 15,75 \text{ MPa Aman!}$$

$$f_t = - \frac{P_o l}{A} + \frac{M_{Dsisa}}{S}$$

$$= - \frac{209,161 \times 8000}{8000 \times 180} + \frac{5,004 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = -0,235 \text{ MPa} \leq 1,28 \text{ MPa Aman!}$$

c. Tegangan beton saat layan,

Untuk FEM_{unb} bentang luar,

$$FEM = \frac{4,845 \times 6^2}{12} = 14,535 \text{ KNm}$$

Untuk FEM_{unb} bentang dalam,

$$FEM = \frac{3,758 \times 6^2}{12} = 11,276 \text{ KNm}$$

Tabel 4.2 Distribusi Momen *Unbalanced Load*

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2A-2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-2B	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,2	0,2
FEM			14,535	-14,535			11,276	-11,276			14,535	-14,535		
	-2,921	-2,921	-8,696	-4,348							4,348	8,696	2,921	2,921
			1,424	2,847	0,958	0,958	2,847	1,424						
							-1,424	-2,847	-0,958	-0,958	-2,847	-1,424		
	-0,286	-0,286	-0,852	-0,426							0,426	0,852	0,286	0,286
			0,346	0,692	0,233	0,233	0,692	0,346						
							-0,346	-0,692	-0,233	-0,233	-0,692	-0,346		
	-0,070	-0,070	-0,207	-0,104							0,104	0,207	0,070	0,070
			0,084	0,168	0,057	0,057	0,168	0,084						
							-0,084	-0,168	-0,057	-0,057	-0,168	-0,084		
	-0,017	-0,017	-0,050	-0,025							0,025	0,050	0,017	0,017
			0,020	0,041	0,014	0,014	0,041	0,020						
							-0,020	-0,041	-0,014	-0,014	-0,041	-0,020		
	-0,004	-0,004	-0,012	-0,006							0,006	0,012	0,004	0,004
			0,005	0,010	0,003	0,003	0,010	0,005						
							-0,005	-0,010	-0,003	-0,003	-0,010	-0,005		
Total	-3,299	-3,299	6,594	-15,683	1,266	1,266	13,158	-13,158	-1,266	-1,266	15,683	-6,594	3,299	3,299
Wunb	-	-	4,845	4,845	-	-	3,759	3,759	-	-	4,845	4,845	-	-
L	-	-	6,000	6,000	-	-	6,000	6,000	-	-	6,000	6,000	-	-
Geser	-	-	13,020	16,049	-	-	11,276	11,276	-	-	16,049	13,020	-	-
M lap	-	-	6,829		-	-	3,756		-	-	6,829		-	-

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C.

M_{unb} maks tumpuan = 15,683 KNm (dari Tabel 4.2)

$$M_{\text{maks muka kolom}} = 15,683 - \frac{(4,845 \times 0,5 \times 6 \times 0,5)}{3} = 15,053 \text{ KNm}$$

Tegangan yang terjadi,

$$f_b = \frac{P_e l}{A} - \frac{M_{\text{unb}}}{S}$$

$$= - \frac{167,329 \times 8000}{8000 \times 180} - \frac{15,053 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = -3,717 \text{ MPa} \leq 15,75 \text{ MPa Aman!}$$

$$f_t = \frac{P_e l}{A} + \frac{M_{\text{unb}}}{S}$$

$$= - \frac{167,329 \times 8000}{8000 \times 180} + \frac{15,053 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = 1,858 \text{ MPa} \leq 2,96 \text{ MPa Aman!!}$$

M_{unb} maks lapangan = 6,829 KNm (dari Tabel 4.2)

Tegangan yang terjadi,

$$f_b = \frac{P_e l}{A} - \frac{M_{\text{unb}}}{S}$$

$$= - \frac{167,329 \times 8000}{8000 \times 180} - \frac{6,829 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = 0,335 \text{ MPa} \leq 0,986 \text{ MPa Aman!}$$

6. Tulangan lekatan minimum

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = 0,00075 h l = 0,00075 \times 180 \times 6000 = 810,00 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan non prategang, D12, $A_s = 0,25 \times 3,14 \times 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan,

$$n = \frac{810,00}{113,04} = 7,166 \text{ dipakai } 8 \text{ tulangan}$$

Distribusi tulangan = $1,5h \times 2 \times \text{lebar kolom} = 1,5 \times 180 \times 2 \times 500 = 1040,00 \text{ mm}$

Jarak tulangan,

$$s = \frac{1040}{8} = 130 \text{ mm}$$

Dipakai panjang tulangan 2500 mm dan jarak antar tulangan 130 mm.

7. Kontrol momen kapasitas penampang

a. Perhitungan momen rencana,

- Momen *balanced load*

Untuk W_{bal} bentang luar,

$$FEM = \frac{3,175 \times 6^2}{12} = 9,525 \text{ KNm}$$

Untuk W_{bal} bentang dalam,

$$FEM = \frac{4,261 \times 6^2}{12} = 12,784 \text{ KNm}$$

Tabel 4.3 Distribusi Momen *Balanced Load*

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2A-2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,201	0,201
FEM			9,525	-9,525			12,784	-12,784			9,525	-9,525		
	-1,915	-1,915	-5,699	-2,849							2,849	5,699	1,915	1,915
			-0,077	-0,153	-0,052	-0,052	-0,153	-0,077						
							0,077	0,153	0,052	0,052	0,153	0,077		
	0,015	0,015	0,046	0,023							-0,023	-0,046	-0,015	-0,015
			-0,019	-0,037	-0,013	-0,013	-0,037	-0,019						
							0,019	0,037	0,013	0,013	0,037	0,019		
	0,004	0,004	0,011	0,006							-0,006	-0,011	-0,004	-0,004
			-0,005	-0,009	-0,003	-0,003	-0,009	-0,005						
							0,005	0,009	0,003	0,003	0,009	0,005		
	0,001	0,001	0,003	0,001							-0,001	-0,003	-0,001	-0,001
			-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,001						
							0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001		
	0,000	0,000	0,001	0,000							0,000	-0,001	0,000	0,000
			0,000	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000						
							0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000		
Total	-1,894	-1,894	3,786	-12,547	-0,068	-0,068	12,683	-12,683	0,068	0,068	12,547	-3,786	1,894	1,894

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C (bagian yang diblok).

Momen primer kolom luar,

$$M_p = P_e \text{ aktual} \times e = 167,329 \times 0 = 0$$

Momen sekunder kolom luar,

$$M_s = M_{\text{bal}} - M_p = 3,786 - 0 = 3,786 \text{ KNm}$$

Untuk kolom lainnya disajikan pada Tabel 4.5.

- Momen beban terfaktor

FEM beban ultimit

$$FEM = \frac{(1,2 \times 5,52 + 1,6 \times 2,5) \times 6^2}{12} = 31,872 \text{ KNm}$$

Tabel 4.4 Distribusi Momen Beban Terfaktor

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2A-2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,201	0,201
FEM			31,872	-31,872			31,872	-31,872			31,872	-31,872		
	-6,406	-6,406	-19,068	-9,534							9,534	19,068	6,406	6,406
			1,784	3,569	1,201	1,201	3,569	1,784						
							-1,784	-3,569	-1,201	-1,201	-3,569	-1,784		
	-0,359	-0,359	-1,068	-0,534							0,534	1,068	0,359	0,359
			0,434	0,868	0,292	0,292	0,868	0,434						
							-0,434	-0,868	-0,292	-0,292	-0,868	-0,434		
	-0,087	-0,087	-0,260	-0,130							0,130	0,260	0,087	0,087
			0,106	0,211	0,071	0,071	0,211	0,106						
							-0,106	-0,211	-0,071	-0,071	-0,211	-0,106		
	-0,021	-0,021	-0,063	-0,032							0,032	0,063	0,021	0,021
			0,026	0,051	0,017	0,017	0,051	0,026						
							-0,026	-0,051	-0,017	-0,017	-0,051	-0,026		
	-0,005	-0,005	-0,015	-0,008							0,008	0,015	0,005	0,005
			0,006	0,012	0,004	0,004	0,012	0,006						
							-0,006	-0,012	-0,004	-0,004	-0,012	-0,006		
Total	-6,880	-6,880	13,749	-37,395	1,587	1,587	34,231	-34,231	-1,587	-1,587	37,395	-13,749	6,880	6,880

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C (bagian yang diblok).

- Momen rencana akhir

Pada kolom luar,

Momen rencana pada kolom,

$$= M_u \text{ beban terfaktor} + M_s = -13,749 + 3,786 = -9,964 \text{ KNm}$$

Gaya geser

$$= \frac{(10,624 \times 6)}{2} + \frac{13,749}{6} - \frac{37,395}{6} = 27,931 \text{ KN}$$

$$M_{\text{maks rencana muka kolom}} = -9,964 + \frac{(27,931 \times 0,5)}{3} = -5,309 \text{ KNm}$$

Untuk momen rencana akhir lainnya disajikan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Momen Rencana Akhir

MOMEN RENCANA ($f_{pc} = 0,9 \text{ Mpa}$)						
JOINT	2A	2B		2C		2D
Mbalanced (KNm)	3,786	12,547	12,683	12,683	12,547	3,786
e (m)	0,000	0,051	0,051	0,051	0,051	0,000
P_e (KNm)	167,329	167,329	167,329	167,329	167,329	167,329
Momen Primer (KNm)	0,000	8,525	8,525	8,525	8,525	0,000
M_s (KNm)	3,786	4,021	4,158	4,158	4,021	3,786
Momen Beban Terfaktor (KNm)	-13,749	-37,395	-34,231	-34,231	-37,395	-13,749
Momen Rencana Kolom (KNm)	-9,964	-33,374	-30,073	-30,073	-33,374	-9,964
Beban ultimit (KN/m^2)	10,624	10,624	10,624	10,624	10,624	10,624
Panjang bentang (m)	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Gaya geser (KN)	27,931	35,813	31,872	31,872	35,813	27,931
Reduksi Momen ke muka kolom (KNm)	4,655	5,969	5,312	5,312	5,969	4,655
Momen Rencana akhir (KNm)	-5,309	-27,405	-24,761	-24,761	-27,405	-5,309
Momen Positif maksimum (KNm)	16,494		17,735		16,494	

b. Momen kapasitas rencana tumpuan

$$M_u = 27,405 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

$$d = h - p_b - 0,5\phi = 180 - 20 - (0,5 \times 12,7) = 140,95 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{n A_{ps}}{l d} = \frac{13 \times 98,7}{8000 \times 140,95} = 0,00114$$

$$f_{se} = \frac{P_e l}{n A_{ps}} = \frac{167,329 \times 1000 \times 8}{13 \times 98,7} = 1043,28 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100\rho} = 1043,28 + 70 + \frac{35}{(100 \times 0,00114)} = 1420,28 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_s}{0,85 f_c b} = \frac{13 \times 98,7 \times 1420,28 + 8 \times 113,03 \times 240}{0,85 \times 35 \times 8000} = 8,572 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_{ps} f_{ps} + A_s f_s) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (13 \times 98,7 \times 1420,28 + 8 \times 113,03 \times 240) \times (140,950 - \frac{8,572}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 34,852 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{M_u}{0,8} = \frac{27,405}{0,8} = 34,256 \text{ KNm} \leq M_n \quad \text{Aman !!}$$

c. Momen kapasitas rencana tengah bentang

$$M_u = 17,735 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0,85 f'c b} = \frac{13 \times 98,7 \times 1420,28}{0,85 \times 35 \times 8000} = 7,660 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{ps} f_{ps} (d - \frac{a}{2})$$

$$= 13 \times 98,7 \times 1420,28 \times (140,95 - \frac{7,660}{2}) \times 10^{-6} = 31,248 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{M_u}{0,8} = \frac{17,735}{0,8} = 22,168 \text{ KNm} \leq M_n \quad \text{Aman !!}$$

8. Distribusi tendon

a. Jumlah tendon jalur kolom

$$n \text{ kolom} = 0,70 \times 13 = 9,1 \longrightarrow \text{dipakai 9 tendon}$$

$$\text{Jarak tendon, } s = \frac{\text{Jalur kolom}}{n} = \frac{3000}{9} = 333,33 \text{ mm}$$

b. Jumlah tendon jalur tengah

$$n \text{ tengah} = 13 - 9 = 4 \text{ tendon}$$

$$\text{Jarak tendon, } s = \frac{5000}{4} = 1250 \text{ mm}$$

9. Kontrol transfer momen lentur

a. Kapasitas penampang terhadap momen transfer pada tumpuan luar,

$$M_t \text{ maks} = 5,309 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

Lebar efektif 1040,00 mm

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(c_1 + d)/(c_2 + d)}} = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(500 + 90)/(500 + 90)}} \\ = 0,609$$

Pada lebar efektif ditempatkan 2 buah tendon.

$$\rho = \frac{n A_s}{l_e d} = \frac{2 \times 98,7}{(1040 \times 90)} = 0,00211$$

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100\rho} = + 70 + 1043,28 \frac{35}{(100 \times 0,00211)} = 1279,237 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{(A_{ps} f_{ps} + A_s f_y)}{0,85 f_c b} = \frac{(2 \times 98,7 \times 1279,237) + (8 \times 113,65 \times 240)}{(0,85 \times 35 \times 1040)} = 15,176 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_{ps} f_{ps} + A_s f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (2 \times 98,7 \times 1279,237 + 8 \times 113,04 \times 240) \times \left(90 - \frac{15,176}{2} \right) = 38,697 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{\gamma_f M_t}{0,8} = \frac{0,609 \times 5,309}{0,8} = 4,044 \text{ KNm} \leq M_n \text{ Aman !!}$$

b. Kapasitas penampang terhadap momen transfer tumpuan dalam

$$M_t \text{ maksimum} = (27,405 - 24,761) = 2,644 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

Lebar efektif 1040,00 mm

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(c_1 + d)/(c_2 + d)}} = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(500 + 140,95)/(500 + 140,95)}} = 0,600$$

$$\rho = \frac{n A_s}{l_e d} = \frac{2 \times 98,7}{1040 \times 140,95} = 0,00135$$

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100\rho} = 1043,28 + 70 + \frac{35}{(100 \times 0,00135)} = 1373,188 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{(A_{ps} f_{ps} + A_s f_s)}{0,85 f_c b} = \frac{(2 \times 98,7 \times 1373,188 + 8 \times 113,04 \times 240)}{(0,85 \times 35 \times 1040)} = 15,776 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_{ps} f_{ps} + A_s f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) = (2 \times 98,7 \times 1373,188 + 8 \times 113,04 \times 240) \times \left(123,65 - \frac{15,776}{2} \right) \times 10^{-6} = 64,948 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{\gamma_f M_t}{0,8} = \frac{0,600 \times 2,644}{0,8} = 1,983 \text{ KNm} \leq M_n \quad \text{Aman !!}$$

10. Kontrol kapasitas geser

a. Geser kolom pinggir

Koefisien geser pinggir, $\gamma_v = 1 - \gamma_f = 1 - 0,609 = 0,391$

$V_u = 27,931 \times 1000 \times 8 = 223448 \text{ N}$ (dari Tabel 4.5)

$M_t \text{ maks} = 5,309 \times 8 = 42,468 \text{ KNm} = 42468000 \text{ Nmm}$ (dari Tabel 4.5)

$$d = h/2 = 180/2 = 90 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 h = 0,8 \times 180 = 144 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

$$b_o = 2(c_1 + d/2) + 2(c_2 + d) = 2(500 + 144/2) + 2(500 + 144) = 2432,00 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o d = 2432,00 \times 144 = 257472,00 \text{ mm}^2$$

$$C_{AB} = \frac{(c_1 + d/2)^2 d}{A_c} = \frac{(500 + 144/2)^2 \times 144}{257472} = 182,989 \text{ mm}$$

$$C_{CD} = (c_1 - d/2) - C_{AB} = (500 - 144/2) - 182,989 = 362,011 \text{ mm}$$

$$g = C_{CD} - c_1/2 = 362,011 - 500/2 = 112,011 \text{ mm}$$

$$J_c = \frac{(c_1 + d/2)d^3}{6} + \frac{2d}{3} (C_{AB}^3 + C_{CD}^3) + (c_2 + d) d (C_{AB}^2)$$

$$J_c = \frac{(500 + 144/2)^2 \times 144}{6} + \frac{(2 \times 144)}{3} (182,989^3 + 362,011^3)$$

$$+ (500 + 144) \times 144 \times 182,989^2 = 8,532 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{AB}}{J_c}$$

$$v_{uAB} = \frac{223448}{257472} + \frac{0,391 \times (42468000 - (223448 \times 112,011)) \times 182,989}{8,532 \times 10^9}$$

$$= 1,014 \text{ MPa}$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{CD}}{J_c}$$

$$v_{uCD} = \frac{223448}{257472} - \frac{0,391 \times (42468000 - (223448 \times 112,011)) \times 362,011}{8,532 \times 10^9}$$

$$= 0,579 \text{ MPa}$$

Kapasitas geser batas beton,

Komponen vertikal gaya prategang efektif (V_p) hanya sedikit sekali menyumbangkan kekuatan geser. Oleh karena itu untuk lebih menjamin keamanan V_p diambil sama dengan nol.

$$\phi V_c = 0,6(0,3 \sqrt{f_c} + 0,3f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d}) = 0,6(0,3\sqrt{35} + 0,3 \times 0,93 + 0)$$

$$= 1,232 \text{ MPa} \geq 1,014 \text{ MPa} \quad \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

b. Geser kolom dalam

Koefisien geser dalam, $\gamma_v = 1 - \gamma_f = 1 - 0,400 = 0,600$

$$V_u = (35,813 + 31,872) \times 1000 \times 8 = 541480 \text{ N (dari Tabel 4.5)}$$

$$M_t \text{ maks} = (27,405 - 24,761) \times 8 \times 10^6 = 21151767 \text{ Nmm (dari Tabel 4.5)}$$

$$d = h - p_b - \frac{\phi}{2} - \phi = 180 - 20 - \frac{12,7}{2} - 12,7 = 140,95 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 h = 0,8 \times 180 = 144 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

$$b_o = 2(c_1 + d) + 2(c_2 + d) = 2(500 + 144) + 2(500 + 144) = 2576 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o d = 2576 \times 144 = 370944 \text{ mm}^2$$

$$C_{AB} = C_{CD} = 0,5(c_1 + d) = 0,5(500 + 144) = 322 \text{ mm}$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{d^3(c_1 + d)}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2}$$

$$J_c = \frac{144(500 + 144)^3}{6} + \frac{144^3(500 + 144)}{6} + \frac{144(500 + 144) \times (500 + 144)^2}{2}$$

$$= 2,596 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$V_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v M_t C_{AB}}{J_c}$$

$$V_{uAB} = \frac{541480}{370944} + \frac{0,600 \times 21151767 \times 322}{2,596 \times 10^{10}} = 1,565 \text{ MPa}$$

$$V_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v M_t C_{CD}}{J_c}$$

$$V_{uCD} = \frac{541480}{370944} - \frac{0,600 \times 21151767 \times 322}{2,596 \times 10^{10}} = 1,355 \text{ MPa}$$

Kapasitas geser batas beton

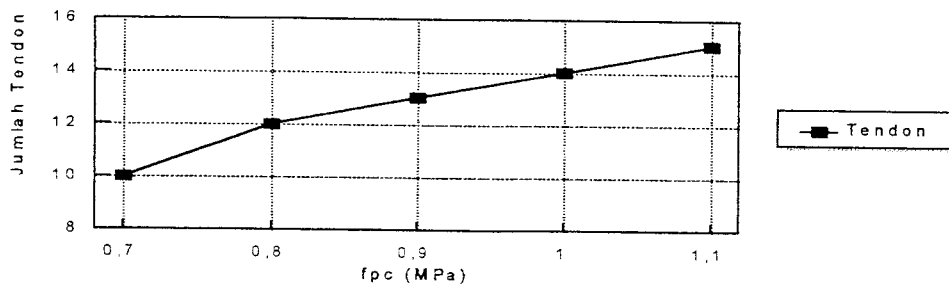
$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(0,3 \sqrt{f_c} + 0,3 f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d} \right) = 0,6 (0,3 \sqrt{35} + 0,3 \times 0,93 + 0) \\ &= 1,232 \text{ MPa} \leq 1,565 \text{ MPa} \text{ Perlu tulangan geser} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan portal-portal ekivalen lainnya pada disain struktur *flat plate* pada gambar 4.1, digunakan program komputer Microsoft Excel. Perhitungan portal-portal tersebut di *trial* dengan prategang rata-rata (f_{pc}) yang berbeda untuk mendapatkan suatu hasil yang efektif. Hasil perhitungan tersebut diperlihatkan pada tabel-tabel berikut.

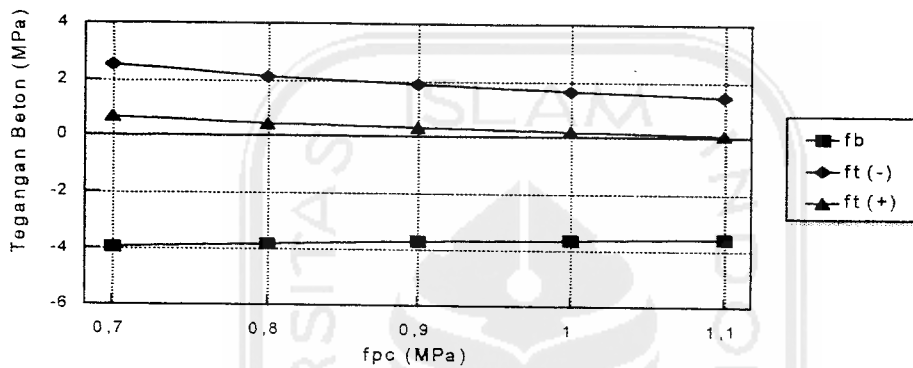
Tabel 4.6 Perhitungan Portal 2A-2D

PERHITUNGAN PORTAL 2A-2D					
Tegangan rata-rata	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Lebar portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Panjang portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	85,39	85,39	85,39	85,39	85,39
e bentang dalam (mm)	114,6	114,6	114,6	114,6	114,6
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	126	144	162	180	198
Po awal(KN/m)	157,5	180	202,5	225	247,5
Jumlah tendon	9,79	11,19	12,59	13,98	15,38
Dipakai tendon	10	12	13	14	15
Po aktual (KN/m)	160,893	193,072	209,161	225,251	241,340
Pe aktual (KN/m)	128,715	154,458	167,329	180,201	193,072
fpc (MPa)	0,715	0,858	0,930	1,001	1,073
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	2,442	2,931	3,175	3,419	3,664
Wunb bentang luar (KN/m ²)	5,578	5,089	4,845	4,601	4,356
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	3,278	3,934	4,261	4,589	4,917
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	4,742	4,086	3,759	3,431	3,103
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	3,078	2,589	2,345	2,101	1,856
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	2,242	1,586	1,259	0,931	0,603
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
DF portal dalam	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374
FEMbal bentang luar (KNm)	7,327	8,793	9,525	10,258	10,991
FEMbal bentang dalam (KNm)	9,834	11,801	12,784	13,767	14,751
FEMunb bentang luar (KNm)	16,733	15,267	14,535	13,802	13,069
FEMunb bentang dalam (KNm)	14,226	12,259	11,276	10,293	9,309
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	9,233	7,767	7,035	6,302	5,569
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	6,726	4,759	3,776	2,793	1,809
FEM Beban ultimit (KNm)	31,872	31,872	31,872	31,872	31,872
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	9,778	7,848	6,883	5,918	4,953
Mmaks muka kolom (KNm)	7,407	5,805	5,004	4,202	3,401
S (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-2,266	-2,148	-2,089	-2,030	-1,971
ft (Mpa)	0,478	0,002	-0,235	-0,473	-0,711
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	18,578	16,648	15,683	14,718	13,752
Mmaks muka kolom (KNm)	17,457	15,855	15,053	14,252	13,451
fb (MPa)	-3,948	-3,794	-3,717	-3,640	-3,564
ft (Mpa)	2,518	2,078	1,858	1,638	1,418
Mmaks Lapangan (KNm)	7,443	7,033	6,829	6,626	6,424
ft (Mpa)	0,663	0,444	0,335	0,226	0,117
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	810,000	810,000	810,000	810,000	810,000
Jumlah tulangan	7,166	7,166	7,166	7,166	7,166
Dipakai tulangan	8	8	8	8	8
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	28,333	27,715	27,405	27,096	26,786
d (mm)	140,950	140,950	140,950	140,950	140,950
p	0,000875	0,001050	0,001138	0,001225	0,001313
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1513,138	1446,495	1420,863	1398,893	1379,852
a (mm)	7,187	8,110	8,572	9,034	9,495

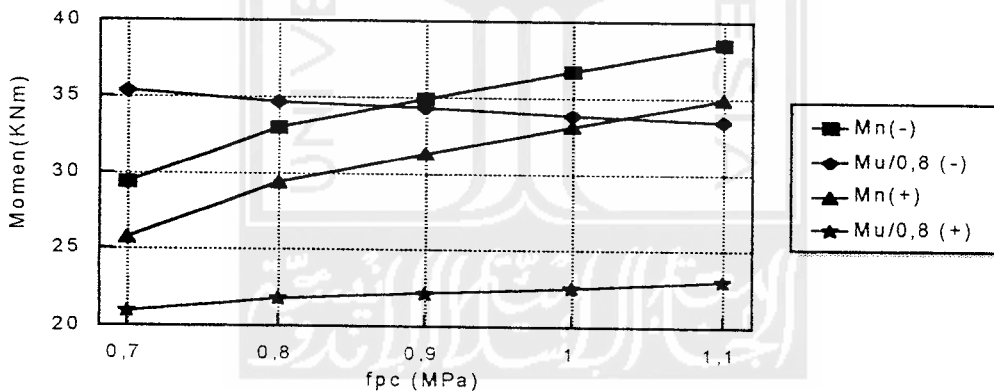
Mn (KNm)	29,369	33,030	34,852	36,667	38,476
Mu/0,8 (KNm)	35,417	34,643	34,256	33,870	33,483
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	16,775	17,415	17,735	18,055	18,374
a (mm)	6,275	7,198	7,660	8,122	8,583
Mn (KNm)	25,727	29,414	31,248	33,076	34,897
Mu/0,8 (KNm)	20,969	21,769	22,168	22,568	22,968
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	6,182	5,600	5,309	5,017	4,726
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
yf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
p	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237
a (mm)	15,176	15,176	15,176	15,176	15,176
Mn (KNm)	38,697	38,697	38,697	38,697	38,697
(Mu.yf)/0,8 (KNm)	4,710	4,266	4,044	3,822	3,601
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	2,613	2,634	2,644	2,654	2,665
yf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
p	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135
fps (MPa)	1373,188	1373,188	1373,188	1373,188	1373,188
a (mm)	15,776	15,776	15,776	15,776	15,776
Mn (KNm)	64,948	64,948	64,948	64,948	64,948
(Mu.yf)/0,8 (KNm)	1,959	1,975	1,983	1,991	1,999
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	223448	223448	223448	223448	223448
Mt (Nmm) →Tabel Cross	49457453	44798125	42468461	40138798	37809134
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,072	1,033	1,014	0,994	0,975
Vucd (MPa)	0,463	0,540	0,579	0,618	0,656
0,6Vc (MPa)	1,194	1,219	1,232	1,245	1,258
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	541480	541480	541480	541480	541480
Mt (Nmm) →Tabel Cross	20900495	21068009	21151767	21235524	21319281
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,563	1,564	1,565	1,565	1,566
Vucd (MPa)	1,356	1,355	1,355	1,354	1,354
0,6Vc (MPa)	1,194	1,219	1,232	1,245	1,258



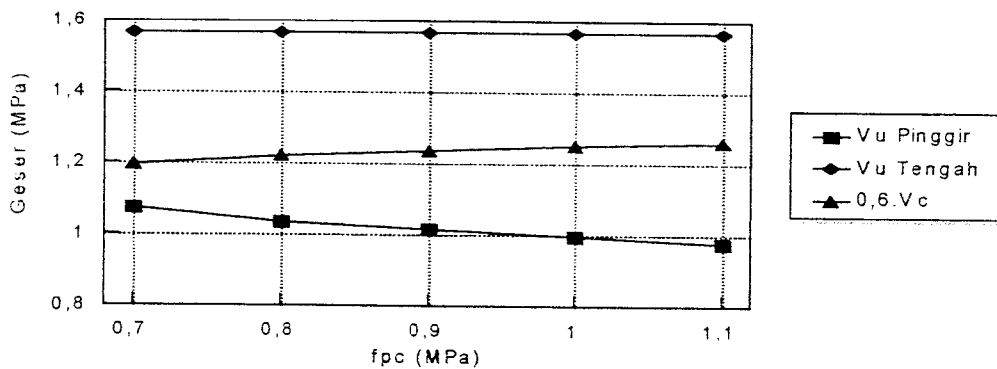
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal 2A-2D



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal 2A-2D



Gambar 4.6 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal 2A-2D

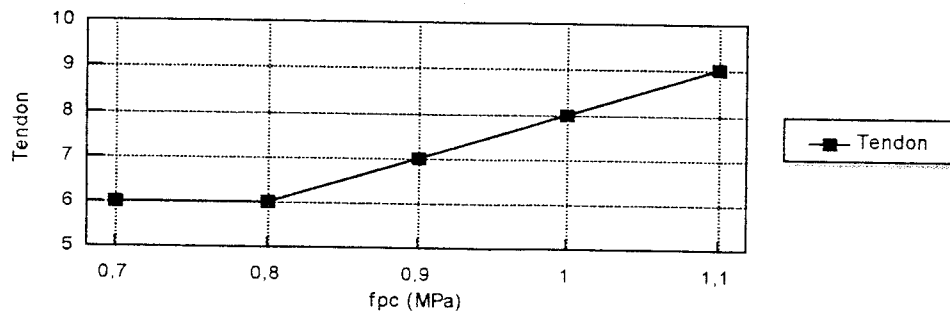


Gambar 4.7 Hubungan antara geser dengan fpc portal 2A-2D

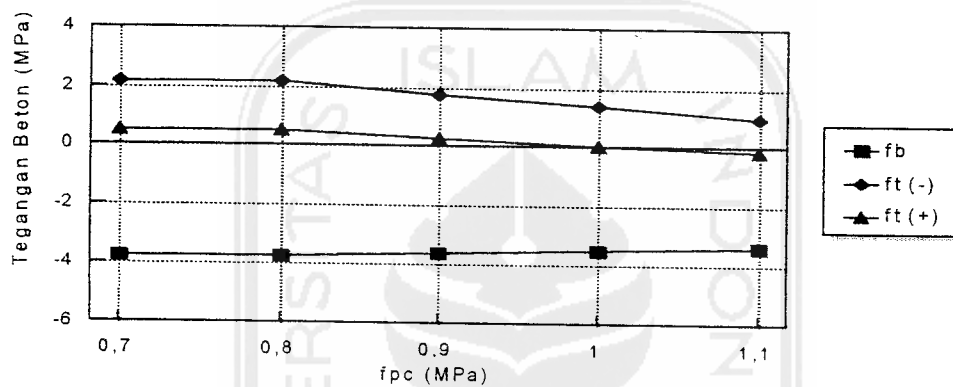
Tabel 4.7 Perhitungan Portal 1A-1D

PERHITUNGAN PORTAL 1A-1D					
Tegangan rata-rata	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Lebar portal (mm)	4250	4250	4250	4250	4250
Panjang portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	85,39	85,39	85,39	85,39	85,39
e bentang dalam (mm)	114,6	114,6	114,6	114,6	114,6
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	126	144	162	180	198
Po awal(KN/m)	157,5	180	202,5	225	247,5
Jumlah tendon	5,20	5,94	6,69	7,43	8,17
Dipakai tendon	6	6	7	8	9
Po aktual (KN/m)	181,715	181,715	212,001	242,286	272,572
Pe aktual (KN/m)	145,372	145,372	169,601	193,829	218,058
fpc (MPa)	0,808	0,808	0,942	1,077	1,211
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	2,759	2,759	3,218	3,678	4,138
Wunb bentang luar (KN/m ²)	5,261	5,261	4,802	4,342	3,882
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	3,702	3,702	4,319	4,936	5,553
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	4,318	4,318	3,701	3,084	2,467
WDsisaluar bentang luar (KN/m ²)	2,761	2,761	2,302	1,842	1,382
WDsisadalam bentang dalam(KN/m ²)	1,818	1,818	1,201	0,584	-0,033
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,286	0,286	0,286	0,286	0,286
DF portal dalam	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223
FEMbal bentang luar (KNm)	8,276	8,276	9,655	11,034	12,413
FEMbal bentang dalam (KNm)	11,106	11,106	12,957	14,809	16,660
FEMunb bentang luar (KNm)	15,784	15,784	14,405	13,026	11,647
FEMunb bentang dalam (KNm)	12,954	12,954	11,103	9,251	7,400
FEMWDsisaluar bentang luar (KNm)	8,284	8,284	6,905	5,526	4,147
FEMWDsisadalam bentang dalam(KN/m)	5,454	5,454	3,603	1,751	-0,100
FEM Beban ultimit (KNm)	31,872	31,872	31,872	31,872	31,872
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	8,519	8,519	6,878	5,236	3,594
Mmaks muka kolom (KNm)	6,360	6,360	5,027	3,694	2,361
S (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-2,187	-2,187	-2,109	-2,030	-1,952
ft (Mpa)	0,168	0,168	-0,247	-0,662	-1,077
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	16,839	16,839	15,197	13,555	11,914
Mmaks muka kolom (KNm)	15,930	15,930	14,597	13,264	11,930
fb (MPa)	-3,758	-3,758	-3,645	-3,533	-3,421
ft (Mpa)	2,142	2,142	1,761	1,379	0,998
Mmaks Lapangan (KNm)	7,045	7,045	6,581	6,118	5,657
ft (Mpa)	0,497	0,497	0,276	0,056	-0,164
Tulangan Lektan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	810,000	810,000	810,000	810,000	810,000
Jumlah tulangan	7,166	7,166	7,166	7,166	7,166
Dipakai tulangan	8	8	8	8	8
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	27,260	27,260	26,853	26,446	26,039
d (mm)	140,950	140,950	140,950	140,950	140,950
ρ	0,000989	0,000989	0,001153	0,001318	0,001483
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1467,321	1467,321	1416,744	1378,811	1349,307
a (mm)	8,589	8,589	9,458	10,327	11,196

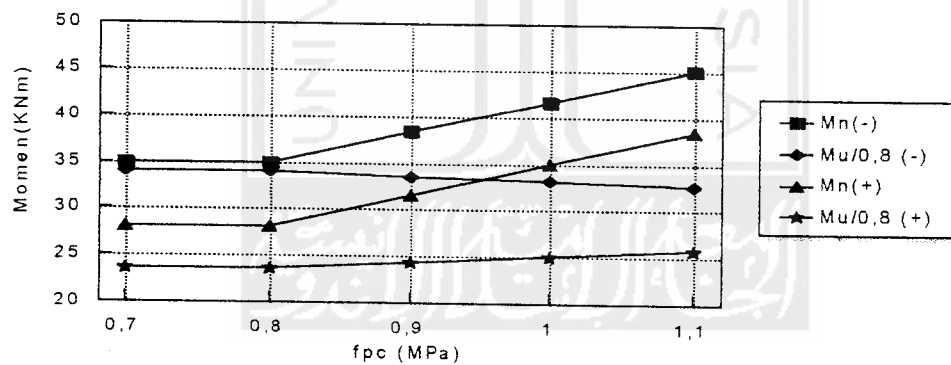
Mn (KNm)	34,919	34,919	38,330	41,718	45,084
Mu/0,8 (KNm)	34,075	34,075	33,566	33,057	32,548
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	18,844	18,844	19,426	20,007	20,589
a (mm)	6,873	6,873	7,742	8,611	9,480
Mn (KNm)	28,116	28,116	31,571	35,004	38,414
Mu/0,8 (KNm)	23,555	23,555	24,282	25,009	25,736
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	12,433	12,433	11,473	10,514	9,554
Lebar efektif (mm)	770,000	770,000	770,000	770,000	770,000
γf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848
fps	1236,152	1236,152	1236,152	1236,152	1236,152
a (mm)	20,127	20,127	20,127	20,127	20,127
Mn (KNm)	36,855	36,855	36,855	36,855	36,855
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	9,472	9,472	8,741	8,010	7,279
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	3,608	3,608	3,783	3,957	4,132
γf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00182	0,00182	0,00182	0,00182	0,00182
fps (MPa)	1305,712	1305,712	1305,712	1305,712	1305,712
a (mm)	20,726	20,726	20,726	20,726	20,726
Mn (KNm)	62,001	62,001	62,001	62,001	62,001
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	2,706	2,706	2,837	2,968	3,099
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	126820	126820	126820	126820	126820
Mt (Nmm) →Tabel Cross	52838341	52838341	48760842	44683344	40605846
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000
Ac (mm ²)	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000
Cab (mm)	143,000	143,000	143,000	143,000	143,000
Ccd (mm)	429,000	429,000	429,000	429,000	429,000
g (mm)	179,000	179,000	179,000	179,000	179,000
Jc (mm ⁴)	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344
Vuab (MPa)	1,062	1,062	1,023	0,983	0,944
Vucd (MPa)	-0,107	-0,107	0,011	0,130	0,249
0,6Vc (MPa)	1,210	1,210	1,234	1,259	1,283
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	279548	279548	279548	279548	279548
Mt (Nmm) →Tabel Cross	15335432	15335432	16076753	16818073	17559393
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	0,952	0,952	0,958	0,964	0,971
Vucd (MPa)	1,350	1,350	1,338	1,326	1,314
0,6Vc (MPa)	1,210	1,210	1,234	1,259	1,283



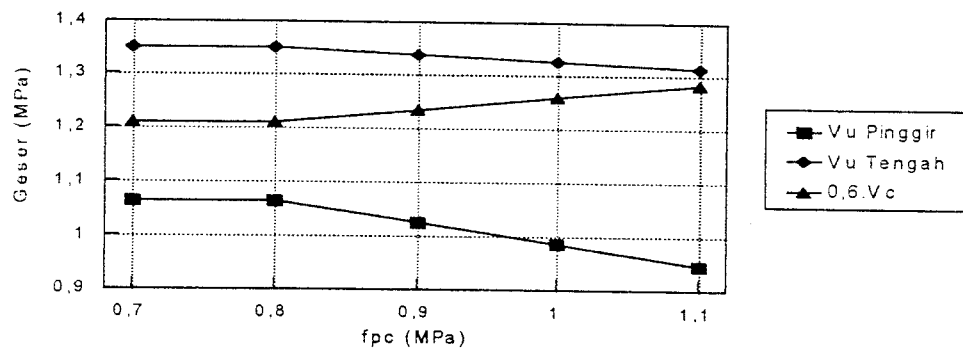
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal 1A-1D



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal 1A-1D



Gambar 4.10 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal 1A-1D

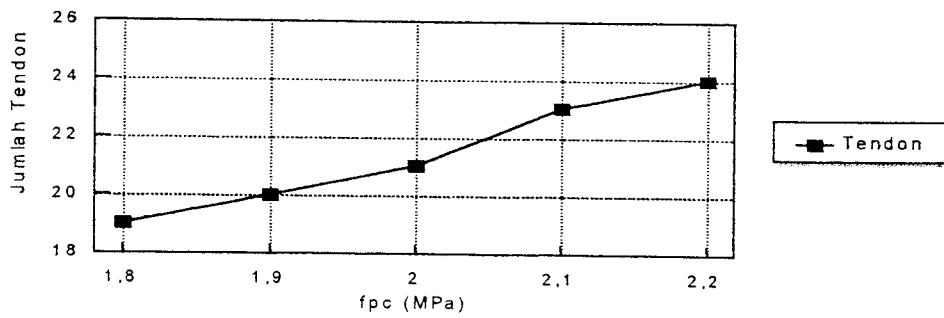


Gambar 4.11 Hubungan antara geser dengan fpc portal 1A-1D

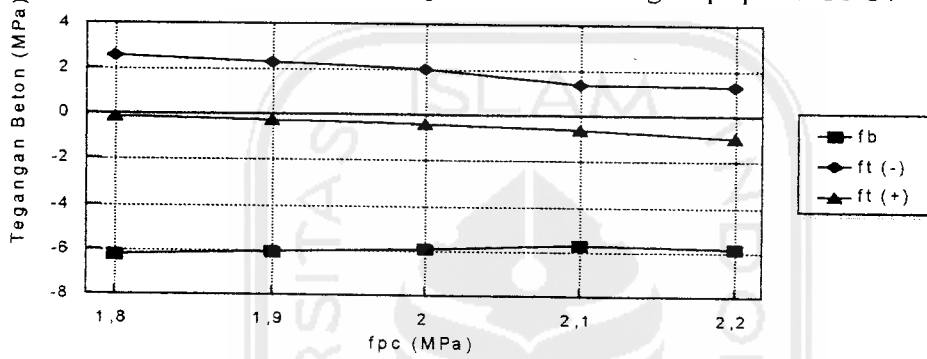
Tabel 4.8 Perhitungan Portal C1-C4

PERHITUNGAN PORTAL C1-C4					
Tegangan rata-rata	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
Lebar portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Panjang portal (mm)	500	500	500	500	500
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	90,152	90,152	90,152	90,152	90,152
e bentang dalam (mm)	127,3	127,3	127,3	127,3	127,3
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	324	342	360	378	396
Po awal(KN/m)	405	427,5	450	472,5	495
Jumlah tendon	18,88	19,93	20,98	22,03	23,07
Dipakai tendon	19	20	21	23	24
Po aktual (KN/m)	407,596	429,049	450,501	493,406	514,859
Pe aktual (KN/m)	326,077	343,239	360,401	394,725	411,887
fpc (MPa)	1,812	1,907	2,002	2,193	2,288
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	3,675	3,868	4,061	4,448	4,642
Wunb bentang luar (KN/m ²)	4,345	4,152	3,959	3,572	3,378
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	5,189	5,462	5,735	6,281	6,554
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	2,831	2,558	2,285	1,739	1,466
WDsisal bentang luar (KN/m ²)	1,845	1,652	1,459	1,072	0,878
WDsisal bentang dalam(KN/m ²)	0,331	0,058	-0,215	-0,761	-1,034
Portal Ekvivalen					
DF portal luar	0,379	0,379	0,379	0,379	0,379
DF portal dalam	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
FEMbal bentang luar (KNm)	19,598	20,629	21,661	23,723	24,755
FEMbal bentang dalam (KNm)	27,673	29,130	30,586	33,499	34,955
FEMunb bentang luar (KNm)	23,176	22,144	21,113	19,050	18,018
FEMunb bentang dalam (KNm)	15,100	13,644	12,187	9,274	7,818
FEMWDsisal bentang luar (KNm)	9,842	8,811	7,779	5,717	4,685
FEMWDsisal bentang dalam(KNm)	1,767	0,310	-1,146	-4,059	-5,515
FEM Beban ultimit (KNm)	56,661	56,661	56,661	56,661	56,661
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	8,752	7,457	6,162	3,572	2,277
Mmaks muka kolom (KNm)	6,864	5,751	4,638	2,412	1,299
IS (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-3,536	-3,449	-3,362	-3,188	-3,101
ft (Mpa)	-0,993	-1,319	-1,644	-2,294	-2,620
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	23,859	22,564	21,269	18,679	18,708
Mmaks muka kolom (KNm)	23,639	22,526	21,413	19,187	19,397
fb (MPa)	-6,189	-6,078	-5,968	-5,746	-5,880
ft (Mpa)	2,566	2,265	1,963	1,360	1,304
Mmaks Lapangan (KNm)	9,151	8,948	8,746	8,347	6,977
ft (Mpa)	-0,117	-0,250	-0,383	-0,647	-0,996
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000
Jumlah tulangan	9,554	9,554	9,554	9,554	9,554
Dipakai tulangan	10	10	10	10	10
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	52,686	52,484	52,281	51,876	51,673
d (mm)	153,650	153,650	153,650	153,650	153,650
ρ	0,002034	0,002141	0,002248	0,002462	0,002569
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1199,310	1195,009	1191,117	1184,348	1249,495
a (mm)	14,120	14,735	15,351	16,582	18,101

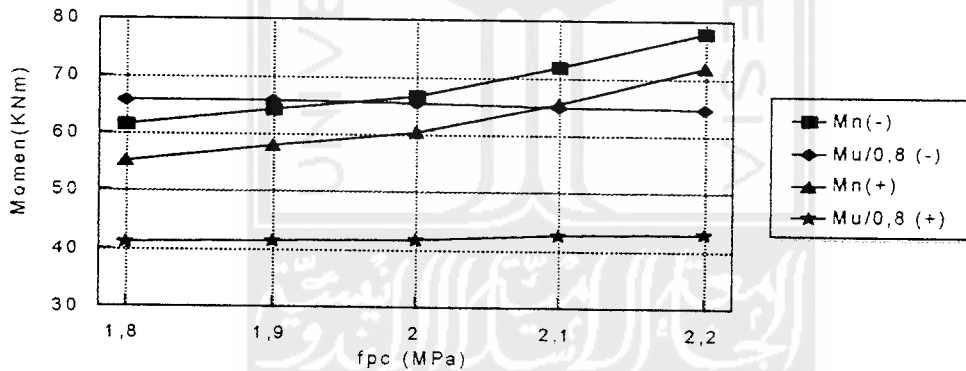
Mn (KNm)	61,577	64,126	66,665	71,708	77,869
Mu/0,8 (KNm)	65,858	65,605	65,351	64,844	64,591
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	32,771	33,098	33,424	34,077	34,403
a (mm)	12,600	13,215	13,831	15,062	16,582
Mn (KNm)	55,233	57,811	60,377	65,476	71,706
Mu/0,8 (KNm)	40,964	41,372	41,780	42,596	43,004
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	18,066	17,448	16,831	15,596	14,979
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
γf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1196,259	1196,259	1196,259	1196,259	1279,237
a (mm)	16,401	16,401	16,401	16,401	16,930
Mn (KNm)	41,508	41,508	41,508	41,508	42,709
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	13,763	13,293	12,823	11,882	11,411
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	7,548	7,672	7,796	8,043	8,167
γf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00124	0,00124	0,00124	0,00124	0,00124
fps (MPa)	1254,943	1254,943	1254,943	1254,943	1396,606
a (mm)	16,775	16,775	16,775	16,775	17,679
Mn (KNm)	75,394	75,394	75,394	75,394	79,209
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	5,661	5,754	5,847	6,032	6,125
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	234049	234049	234049	234049	234049
Mt (Nmm) →Tabel Cross	108393569	104689069	100984570	93575570	89871070
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,597	1,566	1,535	1,473	1,442
Vucd (MPa)	-0,453	-0,391	-0,330	-0,207	-0,146
0,6Vc (MPa)	1,391	1,408	1,425	1,460	1,477
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	530879	530879	530879	530879	530879
Mt (Nmm) →Tabel Cross	45288993	46031392	46773792	48258590	49000990
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,656	1,660	1,663	1,671	1,674
Vucd (MPa)	1,206	1,203	1,199	1,192	1,188
0,6Vc (MPa)	1,391	1,408	1,425	1,460	1,477



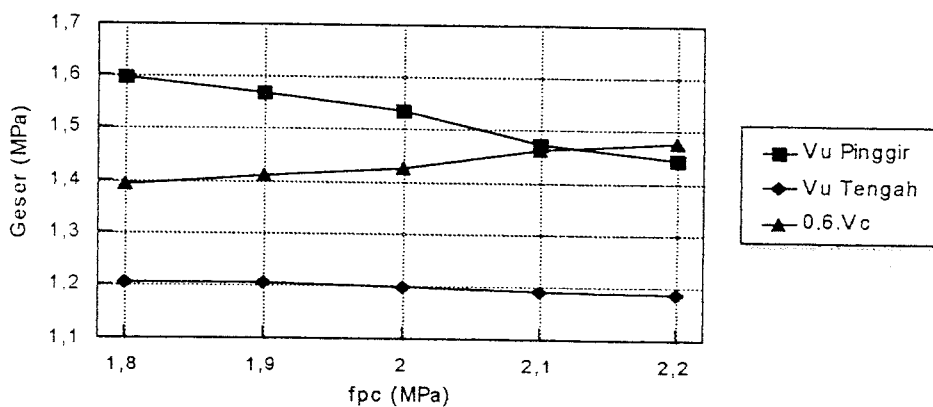
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal C1-C4



Gambar 4.13 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal C1-C4



Gambar 4.14 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal C1-C4

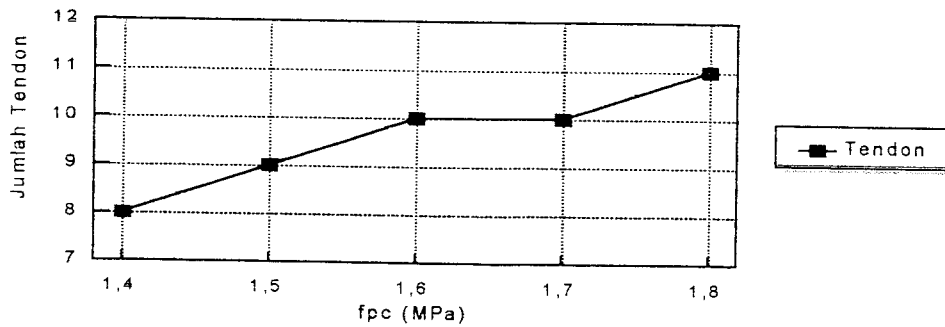


Gambar 4.15 Hubungan antara geser dengan fpc portal C1-C4

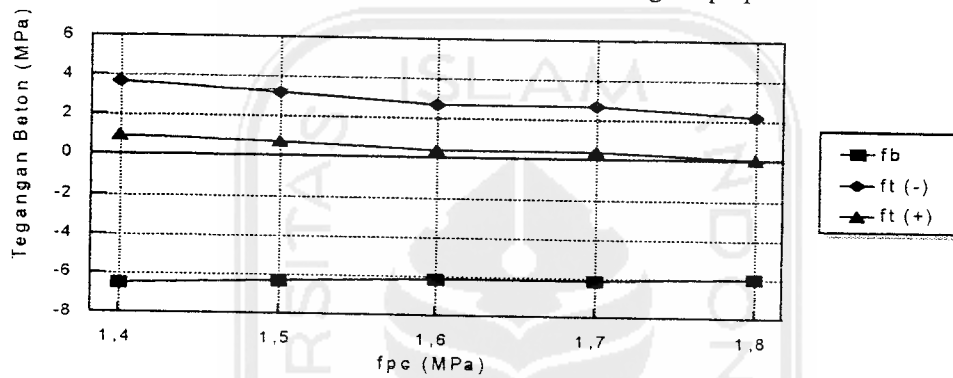
Tabel 4.9 Perhitungan Portal D1-D4

PERHITUNGAN PORTAL D1-D4					
Tegangan rata-rata	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Lebar portal (mm)	3250	3250	3250	3250	3250
Panjang portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	90,152	90,152	90,152	90,152	90,152
e bentang dalam (mm)	127,3	127,3	127,3	127,3	127,3
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	252	270	288	306	324
Po awal(KN/m)	315	337,5	360	382,5	405
Jumlah tendon	7,95	8,52	9,09	9,66	10,23
Dipakai tendon	8	9	10	10	11
Po aktual (KN/m)	316,836	356,441	396,045	396,045	435,650
Pe aktual (KN/m)	253,469	285,152	316,836	316,836	348,520
fpc (MPa)	1,408	1,584	1,760	1,760	1,936
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	2,856	3,213	3,570	3,570	3,927
Wunb bentang luar (KN/m ²)	5,164	4,807	4,450	4,450	4,093
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	4,033	4,537	5,042	5,042	5,546
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	3,987	3,483	2,978	2,978	2,474
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	2,664	2,307	1,950	1,950	1,593
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	1,487	0,983	0,478	0,478	-0,026
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
DF portal dalam	0,127	0,127	0,127	0,127	0,127
FEMbal bentang luar (KNm)	15,234	17,138	19,042	19,042	20,946
FEMbal bentang dalam (KNm)	21,511	24,200	26,889	26,889	29,578
FEMunb bentang luar (KNm)	27,540	25,635	23,731	23,731	21,827
FEMunb bentang dalam (KNm)	21,262	18,573	15,885	15,885	13,196
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	14,206	12,302	10,398	10,398	8,494
FEMWDsisa bentang dalam(KN/m)	7,929	5,240	2,551	2,551	-0,138
FEM Beban ultimit (KNm)	56,661	56,661	56,661	56,661	56,661
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	14,279	12,152	10,024	10,024	7,896
Mmaks muka kolom (KNm)	11,622	9,830	8,039	8,039	6,247
S (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-3,912	-3,801	-3,689	-3,689	-3,577
ft (Mpa)	0,392	-0,160	-0,712	-0,712	-1,263
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	28,455	26,328	24,200	24,200	22,073
Mmaks muka kolom (KNm)	27,464	25,673	23,881	23,881	22,090
fb (MPa)	-6,494	-6,338	-6,183	-6,183	-6,027
ft (Mpa)	3,678	3,170	2,662	2,662	2,154
Mmaks Lapangan (KNm)	12,824	12,100	11,377	11,377	10,652
ft (Mpa)	0,967	0,657	0,347	0,347	0,036
Tulangan Lektan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000
Jumlah tulangan	9,554	9,554	9,554	9,554	9,554
Dipakai tulangan	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	52,030	51,919	51,808	51,808	51,697
d (mm)	153,650	153,650	153,650	153,650	153,650
p	0,001581	0,001779	0,001977	0,001977	0,002174
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1223,954	1211,657	1201,819	1201,819	1193,770
a (mm)	12,801	13,938	15,074	15,074	16,211

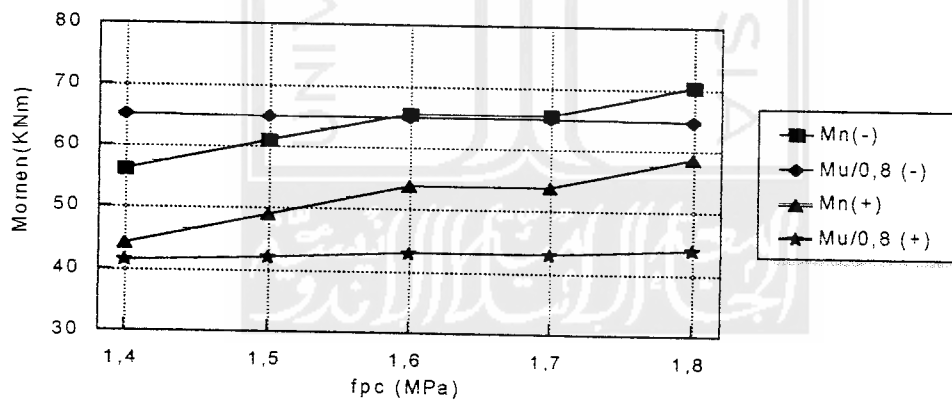
Mn (KNm)	56,078	60,821	65,526	65,526	70,192
Mu/0,8 (KNm)	65,038	64,899	64,761	64,761	64,622
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	33,075	33,703	34,331	34,331	34,960
a (mm)	9,995	11,132	12,268	12,268	13,405
Mn (KNm)	44,204	49,042	53,841	53,841	58,602
Mu/0,8 (KNm)	41,344	42,129	42,914	42,914	43,700
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	29,099	27,509	25,920	25,920	24,330
Lebar efektif (mm)	770,000	770,000	770,000	770,000	770,000
γ_f	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848
fps	1174,716	1174,716	1174,716	1174,716	1174,716
a (mm)	21,966	21,966	21,966	21,966	21,966
Mn (KNm)	39,760	39,760	39,760	39,760	39,760
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	22,169	20,958	19,747	19,747	18,536
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	7,196	7,713	8,231	8,231	8,748
γ_f	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00167	0,00167	0,00167	0,00167	0,00167
fps (MPa)	1218,165	1218,165	1218,165	1218,165	1218,165
a (mm)	22,340	22,340	22,340	22,340	22,340
Mn (KNm)	72,916	72,916	72,916	72,916	72,916
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	5,397	5,785	6,173	6,173	6,561
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	133405	133405	133405	133405	133405
Mt (Nmm) →Tabel Cross	94571016	89405178	84239341	84239341	79073503
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000
Ac (mm ²)	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000
Cab (mm)	143,000	143,000	143,000	143,000	143,000
Ccd (mm)	429,000	429,000	429,000	429,000	429,000
g (mm)	179,000	179,000	179,000	179,000	179,000
Jc (mm ⁴)	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344
Vuab (MPa)	1,496	1,445	1,395	1,395	1,345
Vucd (MPa)	-1,247	-1,097	-0,947	-0,947	-0,796
0,5Vc (MPa)	1,318	1,350	1,382	1,382	1,413
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	280931	280931	280931	280931	280931
Mt (Nmm) →Tabel Cross	23387800	25068655	26749510	26749510	28430365
d (mm)	153,650	153,650	153,650	153,650	153,650
bo (mm)	2460,950	2460,950	2460,950	2460,950	2460,950
Ac (mm ²)	277691,645	277691,645	277691,645	277691,645	277691,645
Cab (mm)	184,102	184,102	184,102	184,102	184,102
Ccd (mm)	360,898	360,898	360,898	360,898	360,898
g (mm)	110,898	110,898	110,898	110,898	110,898
Jc (mm ⁴)	9206923911	9206923911	9206923911	9206923911	9206923911
Vuab (MPa)	0,951	0,964	0,977	0,977	0,990
Vucd (MPa)	1,131	1,105	1,079	1,079	1,053
0,5Vc (MPa)	1,318	1,350	1,382	1,382	1,413



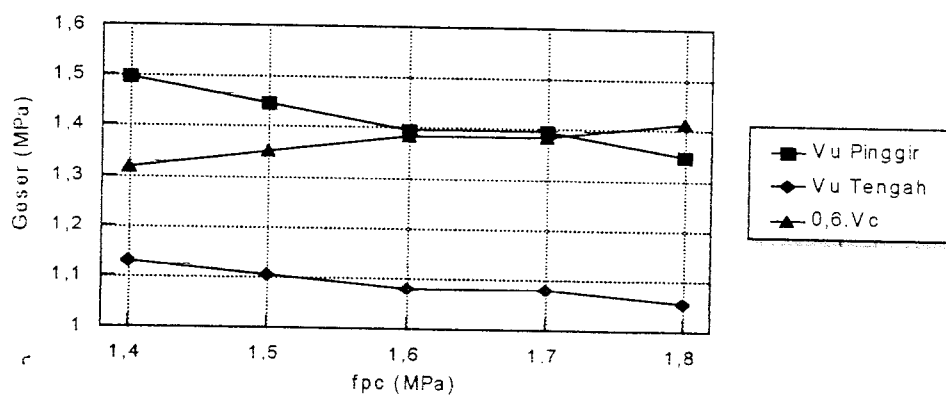
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal D1-D4



Gambar 4.17 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal D1-D4



Gambar 4.18 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal D1-D4

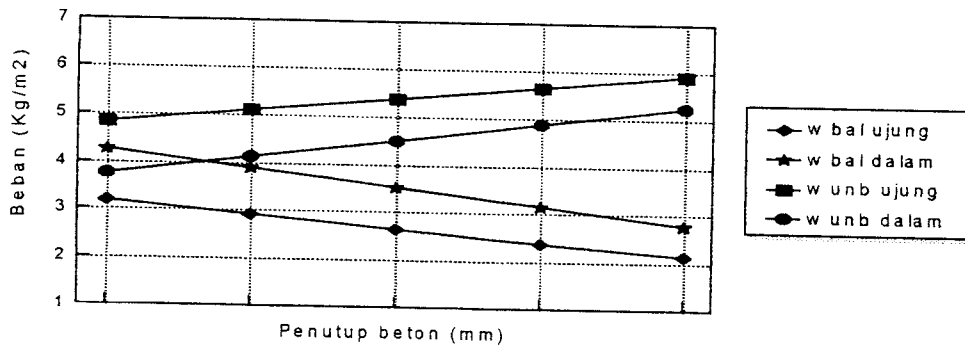


Gambar 4.19 Hubungan antara geser dengan fpc portal D1-D4

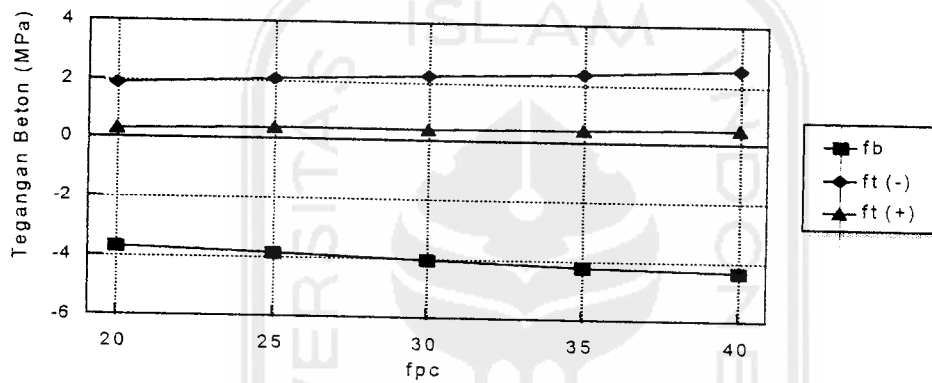
Tabel 4.10 Perhitungan Portal 2A-2D dengan Variasi Penutup Beton

PERHITUNGAN PORTAL 2A-2D					
Penutup beton (mm)	20	25	30	35	40
Lebar portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Panjang portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	85,39	78,32	71,24	64,15	57,06
e bentang dalam (mm)	114,6	104,6	94,6	84,6	74,6
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	162	162	162	162	162
Po awal (KN/m)	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5
Jumlah tendon	12,59	12,59	12,59	12,59	12,59
Dipakai tendon	13	13	13	13	13
Po aktual (KN/m)	209,161	209,161	209,161	209,161	209,161
Pe aktual (KN/m)	167,329	167,329	167,329	167,329	167,329
fpc (MPa)	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	3,175	2,912	2,649	2,385	2,122
Wunb bentang luar (KN/m ²)	4,845	5,108	5,371	5,635	5,898
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	4,261	3,889	3,518	3,146	2,774
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	3,759	4,131	4,502	4,874	5,246
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	2,345	2,608	2,871	3,135	3,398
WDsisa bentang dalam (KN/m ²)	1,259	1,631	2,002	2,374	2,746
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
DF portal dalam	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374
FEMbal bentang luar (KNm)	9,525	8,737	7,947	7,156	6,365
FEMbal bentang dalam (KNm)	12,784	11,668	10,553	9,437	8,322
FEMunb bentang luar (KNm)	14,535	15,323	16,113	16,904	17,695
FEMunb bentang dalam (KNm)	11,276	12,392	13,507	14,623	15,738
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	7,035	7,823	8,613	9,404	10,195
FEMWDsisa bentang dalam (KNm)	3,776	4,892	6,007	7,123	8,238
FEM Beban utimit (KNm)	31,872	31,872	31,872	31,872	31,872
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	3,595	3,691	3,787	3,883	15,949
Mmaks muka kolom (KNm)	1,716	1,626	1,536	1,446	13,326
S (mm ²)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-1,480	-1,463	-1,446	-1,430	-3,630
ft (Mpa)	-0,844	-0,861	-0,878	-0,894	1,306
Saat Layan					
Mmaks unb (KNm) →Tabel Cross	15,683	16,746	17,809	18,874	19,938
Mmaks muka kolom (KNm)	15,053	15,930	16,808	17,687	18,565
fb (MPa)	-3,717	-3,880	-4,042	-4,205	-4,368
ft (Mpa)	1,858	2,020	2,183	2,346	2,508
Mmaks Lapangan (KNm)	6,829	7,030	7,232	7,435	7,640
ft (Mpa)	0,335	0,372	0,410	0,447	0,485
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	810,000	810,000	810,000	810,000	810,000
Jumlah tulangan	7,166	7,166	7,166	7,166	7,166
Dipakai tulangan	8	8	8	8	8
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	27,405	27,531	27,858	28,086	28,314
d (mm)	140,950	135,950	130,950	125,950	120,950
ρ	0,00114	0,00118	0,00122	0,00127	0,00133
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1420,863	1409,952	1399,041	1388,130	1377,219
a (mm)	8,572	8,513	8,454	8,396	8,337

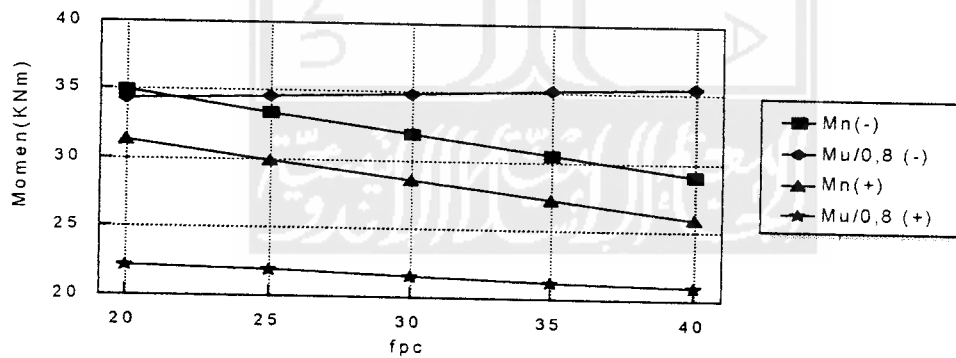
Mn (KNm)	34,852	33,354	31,873	30,410	28,964
Mu/0,8 (KNm)	34,256	34,539	34,823	35,108	35,393
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	17,735	17,478	17,222	16,964	16,707
a (mm)	7,660	7,601	7,542	7,484	7,425
Mn (KNm)	31,248	29,884	28,537	27,208	25,896
Mu/0,8 (KNm)	22,168	21,848	21,527	21,206	20,884
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	5,309	5,616	5,925	6,234	6,543
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
γf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237
a (mm)	15,176	15,176	15,176	15,176	15,176
Mn (KNm)	38,697	38,697	38,697	38,697	38,697
(Mu.γf)/0,8 (KNm)	4,044	4,279	4,514	4,749	4,985
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	2,644	2,614	2,584	2,555	2,526
γf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00135	0,00140	0,00145	0,00151	0,00157
fps (MPa)	1373,188	1363,968	1354,748	1345,528	1336,308
a (mm)	15,776	15,717	15,658	15,599	15,541
Mn (KNm)	64,948	62,289	59,648	57,025	54,420
(Mu.γf)/0,8 (KNm)	1,983	1,960	1,938	1,916	1,894
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	223448	223448	223448	223448	223448
Mt (Nmm) →Tabel Cross	42468461	44930682	47397638	49869330	52341023
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,014	1,035	1,055	1,076	1,097
Vucd (MPa)	0,579	0,538	0,497	0,456	0,415
0,6Vc (MPa)	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	541480	541480	541480	541480	541480
Mt (Nmm) →Tabel Cross	21151767	20910044	20672171	20438147	20204123
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,565	1,563	1,562	1,561	1,560
Vucd (MPa)	1,355	1,356	1,357	1,358	1,359
0,6Vc (MPa)	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232



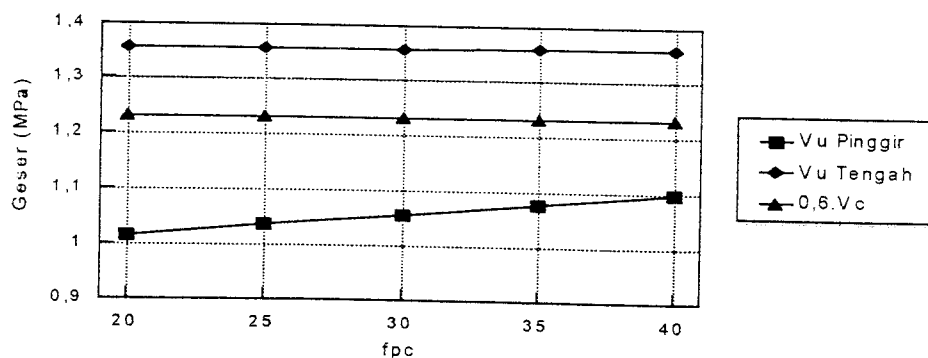
Gambar 4.20 Grafik hubungan antara beban dengan penutup beton portal 2A-2D



Gambar 4.21 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan penutup beton portal D1-D4



Gambar 4.22 Hubungan antara kapasitas momen dengan penutup beton portal 2A-2D



Gambar 4.23 Hubungan antara gaya geser dengan penutup beton portal 2A-2D

Tabel 4.11 Perhitungan Portal C1-C4 dengan Variasi Penutup Beton

PERHITUNGAN PORTAL C1-C4					
Penutup beton (mm)	20	25	30	35	40
Lebar portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Panjang portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	90,152	87,94	85,87	83,8	81,73
e bentang dalam (mm)	127,3	117,3	107,3	97,3	87,3
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	360	360	360	360	360
Po awal(KN/m)	450	450	450	450	450
Jumlah tendon	20,98	20,98	20,98	20,98	20,98
Dipakai tendon	21	21	21	21	21
Po aktual (KN/m)	450,501	450,501	450,501	450,501	450,501
Pe aktual (KN/m)	360,401	360,401	360,401	360,401	360,401
fpc (MPa)	2,002	2,002	2,002	2,002	2,002
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	4,061	3,962	3,868	3,775	3,682
Wunb bentang luar (KN/m ²)	3,959	4,058	4,152	4,245	4,338
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	5,735	5,284	4,834	4,383	3,933
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	2,285	2,736	3,186	3,637	4,087
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	1,459	1,558	1,652	1,745	1,838
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	-0,215	0,236	0,686	1,137	1,587
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,379	0,379	0,379	0,379	0,379
DF portal dalam	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
FEMbal bentang luar (KNm)	21,661	21,129	20,632	20,134	19,637
FEMbal bentang dalam (KNm)	30,586	28,183	25,781	23,378	20,975
FEMunb bentang luar (KNm)	21,113	21,644	22,142	22,639	23,136
FEMunb bentang dalam (KNm)	12,187	14,590	16,993	19,395	21,798
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	7,779	8,311	8,808	9,306	9,803
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	-1,146	1,257	3,659	6,062	8,465
FEM Beban ultimit (KNm)	56,661	56,661	56,661	56,661	56,661
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	5,507	5,138	4,738	4,330	3,916
Mmaks muka kolom (KNm)	3,984	3,314	2,614	1,906	1,192
S (mm ²)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-3,240	-3,117	-2,987	-2,856	-2,723
ft (Mpa)	-1,765	-1,889	-2,019	-2,150	-2,282
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	21,269	22,428	23,558	24,687	25,817
Mmaks muka kolom (KNm)	21,413	22,271	23,100	23,930	24,759
fb (MPa)	-5,968	-6,126	-6,280	-6,434	-6,587
ft (Mpa)	1,963	2,122	2,276	2,429	2,583
Mmaks Lapangan (KNm)	10,676	10,394	10,097	9,807	9,524
ft (Mpa)	-0,025	-0,077	-0,132	-0,186	-0,238
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000
Jumlah tulangan	9,554	9,554	9,554	9,554	9,554
Dipakai tulangan	10	10	10	10	10
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	52,281	51,637	50,965	50,293	49,621
d (mm)	153,650	148,650	143,650	138,650	120,950
ρ	0,002248	0,002324	0,002405	0,002492	0,002856
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1191,117	1188,584	1186,051	1183,518	1235,823
a (mm)	15,351	15,321	15,292	15,263	15,870

Mn (KNm)	66,665	64,265	61,873	59,491	53,358
Mu/0,8 (KNm)	65,351	64,547	63,706	62,866	62,026
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	33,424	33,114	32,811	32,507	32,204
a (mm)	13,831	13,802	13,772	13,743	14,350
Mn (KNm)	60,377	58,202	56,035	53,877	48,572
Mu/0,8 (KNm)	41,780	41,393	41,013	40,634	40,255
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	16,831	16,980	17,105	17,229	17,353
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
γ_f	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
p	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1196,259	1196,259	1196,259	1196,259	1279,237
a (mm)	16,401	16,401	16,401	16,401	16,930
Mn (KNm)	41,508	41,508	41,508	41,508	42,709
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	12,823	12,937	13,031	13,126	13,221
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	7,796	6,842	5,866	4,891	3,915
γ_f	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
p	0,00124	0,00128	0,00132	0,00137	0,00157
fps (MPa)	1254,943	1250,333	1245,723	1241,113	1336,308
a (mm)	16,775	16,746	16,716	16,687	17,294
Mn (KNm)	75,394	72,679	69,973	67,276	60,091
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	5,847	5,131	4,400	3,668	2,937
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	234049	234049	234049	234049	234049
Mt (Nmm) →Tabel Cross	100984570	101882370	102628156	103373942	104119728
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,535	1,543	1,549	1,555	1,561
Vucd (MPa)	-0,330	-0,345	-0,357	-0,369	-0,382
0.5Vc (MPa)	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	530879	530879	530879	530879	530879
Mt (Nmm) →Tabel Cross	46773792	41051793	35198657	29345521	23492386
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,663	1,635	1,606	1,577	1,548
Vucd (MPa)	1,199	1,227	1,257	1,286	1,315
0.5Vc (MPa)	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425

Dari tabel-tabel di atas, dapat ditentukan jumlah tendon yang efektif pada struktur *flat plate* beton prategang. Untuk portal 1A-1D, walaupun dengan asumsi tegangan rata-rata, $f_{pc} = 0,8$ Mpa sudah aman, akan tetapi adanya pembatasan keretakan dan tarikan yang berlebihan, maka diambil $f_{pc} = 0,9$ Mpa. Hasil perhitungan yang digunakan untuk disain adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan yang Digunakan Untuk Disain

	Portal 2A-2D	Portal 1A-1D	Portal C1-C4	Portal D1-D4
Asumsi tegangan rata-rata (Mpa)	0,9	0,9	2,0	1,6
Jumlah tendon	13	7	21	10
Lebar jalur kolom (mm)	3000	1750	3000	1750
Jumlah tendon jalur kolom	9,1	4,9	14,7	7
Dipakai tendon	9	5	15	7
Lebar jalur tengah (mm)	5000	2500	3000	1500
Jarak tendon (mm)	333,333	350	200	250
Lebar jalur tengah (mm)	5000	2500	3000	1500
Jumlah tendon jalur tengah	4	2	6	3
Jarak tendon (mm)	1250	1250	500	500
V_u maks kolom tepi (Mpa)	1,014	1,023	1,535	1,395
V_u maks kolom tengah (Mpa)	1,565	1,338	1,663	1,079
ϕV_c (Mpa)	1,232	1,234	1,425	1,382

4.2.2 Perhitungan Tulangan Geser

Agar lebih mudah dalam pelaksanaan, perencanaan tulangan geser diseragamkan untuk kolom pojok, kolom tepi dan kolom tengah. Gaya geser yang digunakan dalam perhitungan diambil gaya geser maksimum, V_u maks pada masing-masing jenis kolom dari tabel 4.12.

Perhitungan tulangan geser kolom tepi,

$$b_o = 2432 \text{ mm}$$

$$d = 144 \text{ mm}$$

$$V_u \text{ maks} = 1,535 \text{ MPa} = 1,535 \times 2432 \times 144 = 537569,28 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 1,425 \text{ MPa} = 1,425 \times 2432 \times 144 = 499046,4 \text{ N}$$

Kuat geser nominal penampang maksimum apabila memakai tulangan geser,

$$\phi V_n = \phi(0,5\sqrt{f'_c})$$

$$= 0,6(0,5\sqrt{35}) = 1,775 \text{ MPa} \geq V_u \longrightarrow \text{tulangan geser dapat dipakai}$$

Kapasitas geser penampang beton apabila memakai tulangan geser,

$$\phi V_c = \phi \sqrt{f'_c}/6 b_o d = 0,6 \times (\sqrt{35}/6) \times 2432 \times 144 = 207185,847 \text{ N}$$

Gaya geser yang ditahan oleh tulangan geser,

$$V_s = V_u - \phi V_c = 537569,28 - 207185,847 = 330383,433 \text{ N}$$

Dipakai sengkang U ganda D12 dengan jarak antar sengkang 130 mm,

$$A_v \text{ perlu} = \frac{V_s s}{f_y d} = \frac{330383,433 \times 140}{240 \times 144} = 1338,359 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ perlu tiap sisi} = \frac{1338,359}{3} = 446,12 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ ada} = 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 12^2 = 452,16 \text{ mm}^2$$

Distribusi tulangan geser sengkang dalam daerah kritis b_o didasarkan pada kapasitas geser penampang beton maksimum,

$$V_u = (1/6)\sqrt{f'_c} b_o d$$

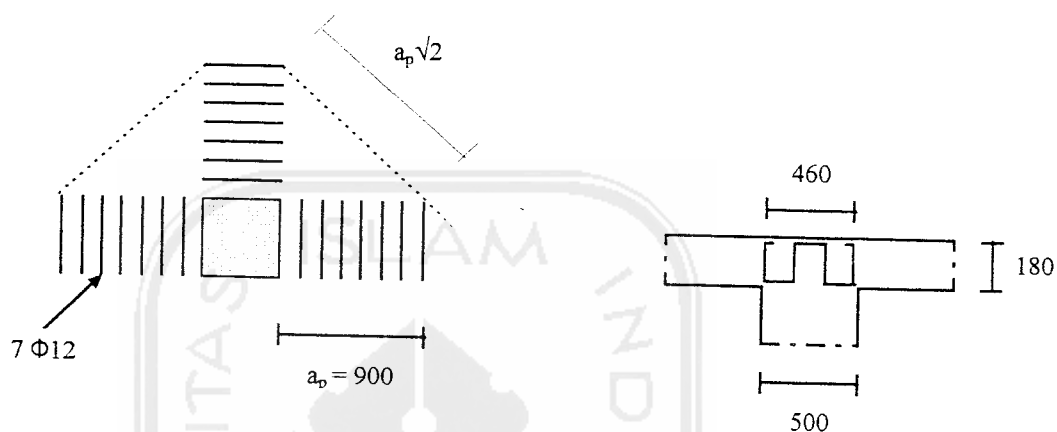
lebar sengkang 460 mm,

$$537569,28 = (1/6)\sqrt{f'_c} (3c + 2a_p\sqrt{2}) d$$

$$a_p = \left(\frac{537569,28 \times 6}{\sqrt{35} \times 144} - 3 \times 500 \right) \times \frac{1}{2\sqrt{2}} = 850,676 \text{ mm} \longrightarrow \text{dipakai } 900 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah sengkang} = \frac{900}{140} = 6,429 \longrightarrow \text{dipakai 7 sengkang}$$

Penempatan tulangan geser untuk kolom tepi dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Penempatan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser untuk kolom pojok dan kolom tengah diperlihatkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perhitungan Tulangan Geser

Jenis Kolom	Kolom tepi	Kolom pojok	Kolom tengah
V_u maks (MPa)	1,535	1,395	1,663
f_y (MPa)	240	240	240
\bar{f}_c (MPa)	35	35	35
b_o (mm)	2432	2288	2576
d (mm)	144	144	144
V_n maks (MPa)	1,775	1,775	1,775
ϕV_c (N)	207185,847	194918,264	219453,430
V_s (N)	330383,433	264695,176	397426,442
Jarak sengkang (mm)	140	115	150
A_v (mm ²)	1338,359	880,785	1724,941
A_v tiap sisi (mm ²)	446,120	440,393	431,235
$A_s \phi 12$ (mm ²)	452,160	452,160	452,160
Lebar sengkang (mm)	460	460	500
Jarak penempatan sengkang, a_p (mm)	850,676	1638,391	414,480
a_p terpakai (mm)	900	1700	420
Jumlah sengkang	6,429	14,783	2,800
Sengkang terpakai	7	15	3

4.2.3 Perhitungan Lendutan

1. Arah portal 2A-2B

$$M_t = 5,309 \text{ KNm (Tabel 4.5)}$$

$$K_{ec} = 1,816 \times 10^6 \times E_c$$

Inersia portal ekivalen

$$I_{cs} = \frac{b h^3}{12} = \frac{8000 \times 180^3}{12} = 3,888 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur kolom

$$I_c = \frac{b h^3}{12} = \frac{3000 \times 180^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur tengah

$$I_s = \frac{b h^3}{12} = \frac{5000 \times 180^3}{12} = 2,430 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Defleksi dasar

$$\delta' = \frac{W_{net} l^4}{384 E_c I_{cs}} = \frac{4,845 \times 10^{-3} \times 6000^4}{384 \times 27805,575 \times 3,888 \times 10^9} = 1,210 \text{ mm}$$

Di distribusi untuk jalur kolom δ_c dan jalur tengah δ_s sesuai distribusi momen

$$\delta_c = \delta' \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_c I_c} = 1,21 \times 0,692 \times \frac{3,888 \times 10^9}{1,458 \times 10^9} = 2,234 \text{ mm}$$

$$\delta_s = \delta' \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_s I_s} = 1,21 \times 0,308 \times \frac{3,888 \times 10^9}{2,430 \times 10^9} = 0,596 \text{ mm}$$

Rotasi yang terjadi

$$\theta_{2A} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{5,309 \times 10^6 \times 8}{1,816 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,000631 \text{ rad}$$

$$\theta_{2B} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{2,644 \times 10^6 \times 8}{1,816 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,000419 \text{ rad}$$

$$\delta'' = \frac{\theta l}{8} = \frac{(0,000631 + 0,000419) \times 6000}{8} = 1,050 \text{ mm}$$

Defleksi jalur kolom

$$\delta_{cy} = \delta_c + \delta'' = 2,234 + 1,050 = 3,284 \text{ mm}$$

Defleksi jalur tengah

$$\delta_{sy} = \delta_s + \delta'' = 0,596 + 1,050 = 1,645 \text{ mm}$$

2. Arah portal B1-B2

$$M_t = 16,831 \text{ KNm}$$

$$K_{ec} = 2,469 \times 10^6 \times E_c$$

Inersia portal ekivalen

$$I_{cs} = \frac{b h^3}{12} = \frac{6000 \times 180^3}{12} = 2,916 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur kolom

$$I_c = \frac{b h^3}{12} = \frac{3000 \times 180^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur tengah

$$I_s = \frac{b h^3}{12} = \frac{3000 \times 180^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Defleksi dasar

$$\delta' = \frac{W_{\text{net}} l^4}{384 E_c I_{cs}} = \frac{3,959 \times 10^{-3} \times 8000^4}{384 \times 27805,575 \times 2,916 \times 10^9} = 3,125 \text{ mm}$$

Di distribusi untuk jalur kolom δ_c dan jalur tengah δ_s sesuai distribusi momen

$$\delta_c = \delta' \cdot 0,667 \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_c I_c} = 3,125 \times 0,714 \times \frac{2,916 \times 10^9}{1,458 \times 10^9} = 4,464 \text{ mm}$$

$$\delta_s = \delta' \cdot 0,316 \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_s I_s} = 3,125 \times 0,286 \times \frac{2,916 \times 10^9}{1,458 \times 10^9} = 1,785 \text{ mm}$$

Rotasi yang terjadi

$$\theta_{B1} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{16,831 \times 10^6 \times 6}{2,469 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,002 \text{ rad}$$

$$\theta_{B2} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{7,796 \times 10^6 \times 6}{2,469 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,00068 \text{ rad}$$

$$\delta'' = \frac{\theta l}{8} = \frac{(0,002 + 0,00068) \times 8000}{8} = 1,982 \text{ mm}$$

Defleksi jalur kolom

$$\delta_{cx} = \delta_c + \delta'' = 4,464 + 1,982 = 6,446 \text{ mm}$$

Defleksi jalur tengah

$$\delta_{sx} = \delta_s + \delta'' = 1,785 + 1,982 = 3,767 \text{ mm}$$

3. Total defleksi

$$\Delta = \delta_{sx} + \delta_{cy} = \delta_{sy} + \delta_{cx}$$

$$\Delta_{\text{tot}} = \frac{(\Delta_{(2A-2B)} + \Delta_{(B1-B2)})}{2} = \frac{(3,767 + 3,284) + (1,645 + 6,446)}{2}$$

$$= 7,571 \text{ mm}$$

4. Lendutan jangka panjang

Arah 2A - 2B

$$W_{\text{sust}} = (W_{\text{unb}} - WL) + 0,65WL = (4,845 - 2,5) + 0,65 \times 2,5 = 3,970 \text{ KN/m}^2$$

$$\delta_{\text{long-t}} = \frac{W_{\text{sust}}}{W_{\text{unb}}} \times \Delta_{\text{tot}} \times \text{Faktor Creep} = \frac{3,970}{4,845} \times \frac{(3,767 + 3,284)}{2} \times 2$$

$$= 5,778 \text{ mm}$$

Arah B1 - B2

$$W_{\text{sust}} = (W_{\text{unb}} - WL) + 0,65WL = (3,104 - 2,5) + 0,65 \times 2,5 = 2,229 \text{ KN/m}^2$$

$$\delta_{\text{long-t}} = \frac{W_{\text{sust}}}{W_{\text{unb}}} \times \Delta_{\text{tot}} \times \text{Faktor Creep} = \frac{2,229}{3,104} \times \frac{(1,645 + 6,446)}{2} \times 2$$

$$= 6,303 \text{ mm}$$

$$\text{Kedua arah} = 5,778 + 6,303 = 12,080 \text{ mm}$$

Defleksi total setelah jangka panjang,

$$\Delta_{\text{tot-long-t}} = 12,080 + 7,571 = 19,652 \text{ mm}$$

Defleksi batas

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{6000}{240} = 25,0 \text{ mm} \geq 19,652 \text{ mm } (\Delta_{\text{tot-long-t}} \text{ yang terjadi}) \text{ Aman !!}$$

Untuk mengetahui pengaruh eksentrisitas terhadap lendutan, berikut ini tabel hasil perhitungan lendutan dengan variasi penutup beton.

Tabel 4.14 Perhitungan Lendutan dengan Variasi Penutup Beton

Penutup Beton	20 mm		25 mm		30 mm		35 mm		40 mm	
	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2
Tinjauan										
lebar portal ekuivalen(mm)	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000
lebar jalur kolom (mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
lebar jalur tengah (mm)	5000	3000	5000	3000	5000	3000	5000	3000	5000	3000
panjang portal (mm)	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000
Mt tepi (KNm)	5,309	16,831	5,616	16,980	5,925	17,105	6,234	17,229	6,543	17,353
Mt tengah (KNm)	2,644	7,796	2,614	6,842	2,584	5,866	2,555	4,891	2,526	3,915
Wbal (KN/m ²)	3,175	4,061	2,912	3,962	2,649	3,868	2,385	3,775	2,122	3,682
Wunb (KN/m ²)	4,845	3,959	5,108	4,058	5,371	4,152	5,635	4,245	5,898	4,338
Jumlah tendon	13	21	13	21	13	21	13	21	13	21
Tendon jalur kolom	9	15	9	15	9	15	9	15	9	15
(ncol/ntot)	0,692	0,714	0,692	0,714	0,692	0,714	0,692	0,714	0,692	0,714
(nteng/ntot)	0,308	0,286	0,308	0,286	0,308	0,286	0,308	0,286	0,308	0,286
Faktor creep	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kec	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627
l port ekiv (mm ⁴)	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000
l jalur kolom (mm ⁴)	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000
l jalur tengah (mm ⁴)	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000
δ' (mm)	1,210039	3,124688	1,275723	3,203345	1,341406	3,276954	1,407250	3,350562	1,473093	3,424170
δc (mm)	2,23392	4,46384	2,35518	4,57621	2,47644	4,68136	2,59800	4,78652	2,71956	4,89167
δs (mm)	0,59571	1,78554	0,62805	1,83048	0,66038	1,87255	0,69280	1,91461	0,72521	1,95667
θ kolom tepi (rad/mm)	0,000631	0,001961	0,000667	0,001979	0,000704	0,001993	0,000741	0,002008	0,000777	0,002022
θ kolom tengah (rad/mm)	0,000419	0,000681	0,000414	0,000598	0,000409	0,000513	0,000405	0,000427	0,000400	0,000342
δ'' (mm)	1,050	1,982	1,081	1,933	1,113	1,879	1,145	1,826	1,178	1,773
δc tot (mm)	3,284	6,446	3,437	6,509	3,590	6,561	3,743	6,613	3,897	6,665
δs tot (mm)	1,645	3,767	1,710	3,763	1,774	3,752	1,838	3,741	1,903	3,730
Δ Total dua arah (mm)	7,571	7,709	7,708	7,838	7,838	7,968	7,968	8,097	8,097	8,226
Lendutan jangka panjang										
W _{sust} (KN/m ²)	3,970	3,084	4,233	3,183	4,496	3,277	4,760	3,370	5,023	3,463
δl ong-t (mm)	5,778	6,303	5,966	6,446	6,146	6,578	6,322	6,709	6,496	6,840
δ tot long-t (mm)	12,080	12,413	12,413	12,724	12,724	13,031	13,031	13,335	13,335	13,643
Δ Jangka panjang (mm)	19,652	19,652	20,122	20,562	20,562	20,999	20,999	21,433	21,433	21,867
Δ Batas (mm)	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000

4.2.4. Perencanaan Daerah Ujung (*End Block*)

1. Perhitungan momen dan tegangan daerah *endblock*

Diambil tinjauan $b = 200 \text{ mm}$

Siar tegangan $= h/9 = 20 \text{ mm}$

$$A_c = b h = 200 \times 180 = 3,6 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{b h^3}{12} = \frac{200 \times 180^3}{12} = 9,72 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

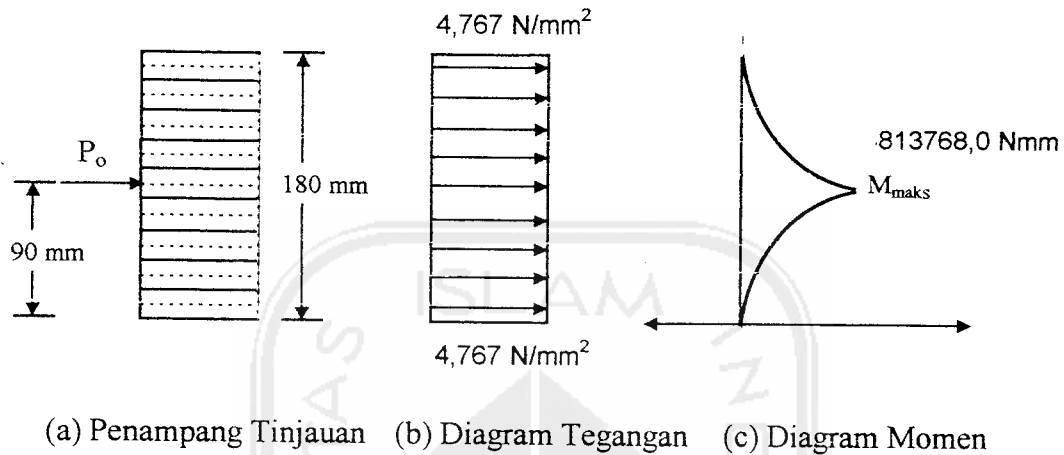
$$P_o \text{ per tendon} = \frac{P_o l}{n} = \frac{407,596 \times 8 \times 1000}{19} = 171619,56 \text{ N}$$

Perhitungan tegangan dan momen pada *end block* disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.15 Perhitungan Tegangan dan Momen pada *End Block*

h	b (mm)	f_b (N/mm ²)	M teg (Nmm)	M P_o (Nmm)	M net (Nmm)
180	200	-4,767	-15445760,40	15445760,40	0,00
170		-4,767			
160	200		-12204057,60	12013369,20	-190688,40
150		-4,767			
140	200		-9343731,60	8580978,00	-762753,60
130		-4,767			
120	200		-6864782,40	5148586,80	-1716195,60
110		-4,767			
100	200		-4767210,00	1716195,60	-3051014,40
90	200	-4,767	-3813768,00	0,00	-3813768,00
80	200		-3051014,40	0,00	-3051014,40
70		-4,767			
60	200		-1716195,60	0,00	-1716195,60
50		-4,767			
40	200		-762753,60	0,00	-762753,60
30		-4,767			
20	200		-190688,40	0,00	-190688,40
10		-4,767			
0	200	-4,767	0,00	0,00	0,00

Tegangan dan momen yang terjadi akibat penegangan pada daerah ujung diperlihatkan pada gambar 4.29.



Gambar 4.29 Diagram Tegangan dan Momen di Daerah Ujung

2. Perhitungan tulangan *endblock*

a. Perhitungan tulangan,

$$M_{maks} = 3813768,00 \text{ Nmm}$$

Asumsi tegangan tarik pada jarak x dari permukaan ujung,

$$x = \frac{h}{4} = \frac{180}{4} = 45 \text{ mm}$$

$$T = \frac{M_{maks}}{(h - x)} = \frac{3813768,00}{(180 - 45)} = 28250,133 \text{ N}$$

Kebutuhan tulangan sengkang ujung,

$$A_s = \frac{T}{f_y} = \frac{28250,133}{240} = 117,709 \text{ mm}^2$$

$$A_s \phi 12 \text{ mm} = 2(0,25 \times 3,14 \times 12^2) = 226,080 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan,

$$n = \frac{A_s}{A_s \phi 12} = \frac{117,709}{226,080} = 0,5206 \quad \text{dipakai 2 buah sengkang tertutup}$$

Didistribusikan pada jarak $h/2 = 90 \text{ mm}$

b. Penentuan luasan pelat angkur,

Tendon yang digunakan dari jenis Inryco CONA tipe CM, dengan luas pelat angkur $114,3 \text{ mm} \times 57,2 \text{ mm}$. Spesifikasi lain dari tendon tersebut dapat dilihat pada lampiran 2.

Diambil $A_2/A_1 = 2,0$

A_1 dipakai $(114,3 \times 57,20) \text{ mm}^2 = 17967,960 \text{ mm}^2$

$A_2 = 2,0 A_1 = 2,0 \times 17967,960 = 26053,543 \text{ mm}^2$ (200×130) mm^2

Kontrol tegangan blok ujung saat transfer

$$f_b = 0,8f'_c \sqrt{((A_2/A_1) - 0,2)}$$

$$f_b = 0,8 \times 35 \sqrt{((26053,543 / 17967,960) - 0,2)}$$

$$= 31,305 \text{ MPa} \leq 1,25f'_{ci} = 32,813 \text{ MPa} \quad \text{Aman !!}$$

Kontrol tegangan blok ujung saat layan

$$f_b = 0,6f'_c \sqrt{(A_2/A_1)}$$

$$f_b = 0,6 \times 35 \sqrt{(26053,543 / 17967,960)} = 25,287 \text{ Mpa} \leq f'_c = 35 \text{ MPa Aman !!}$$