

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Arie Putra Usman

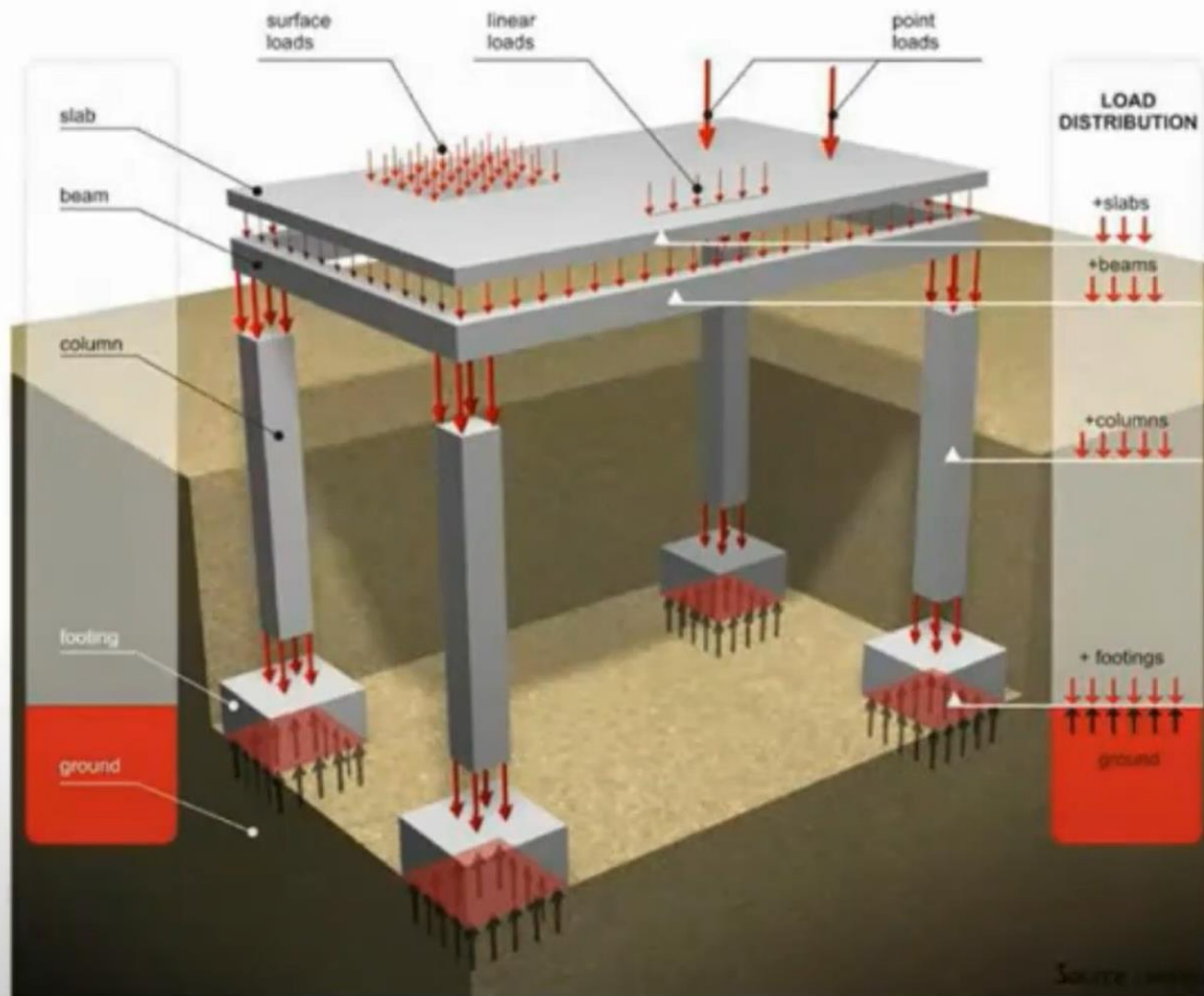
Pelat

Pelat lantai atau *slab* merupakan elemen bidang tipis yang memikul beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan dari pelat.



- **Pelat lantai** dibuat untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan, atau jenis struktur lainnya.
- **Pelat lantai** dapat **ditumpu oleh dinding, balok, kolom, atau dapat juga terletak langsung di atas tanah (slab on ground)**.
- Pada struktur balok-pelat, umumnya **balok dan pelat dicor secara bersamaan** sehingga menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit.
- **Ketebalan dari pelat lantai** umumnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran bentangannya.
- Secara umum sistem pelat lantai dapat dibedakan atas :
 - a. **Pelat Satu Arah (*One way slab*)**
 - b. **Pelat Dua Arah (*Two way Slab*)**

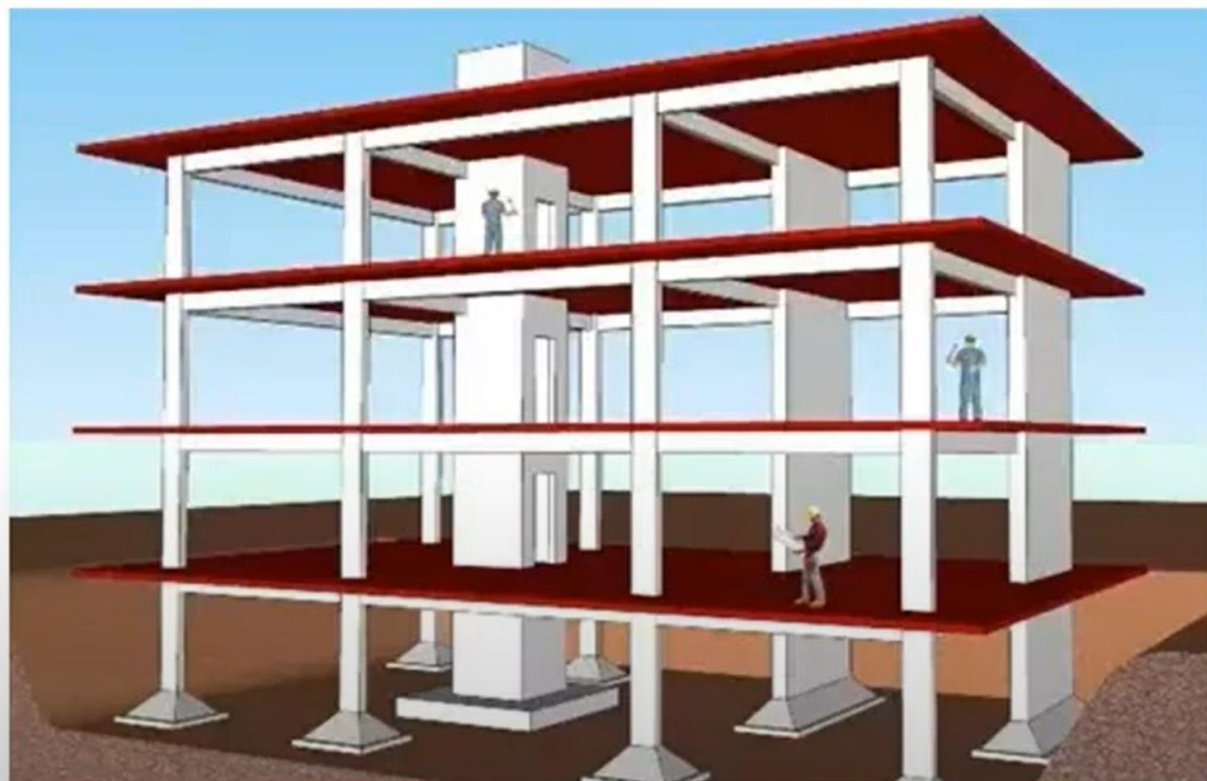
Load Path



Building loads



- Pelat beton dibuat untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau jenis struktur lainnya.
- Pelat beton dapat ditumpu oleh dinding, balok, kolom, atau dapat juga terletak langsung di atas tanah (*slab on ground*).
- Pada struktur balok-pelat, umumnya balok dan pelat dicor secara bersamaan sehingga menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit.
- Ketebalan dari pelat beton umumnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran bentangnya



Suspended slabs

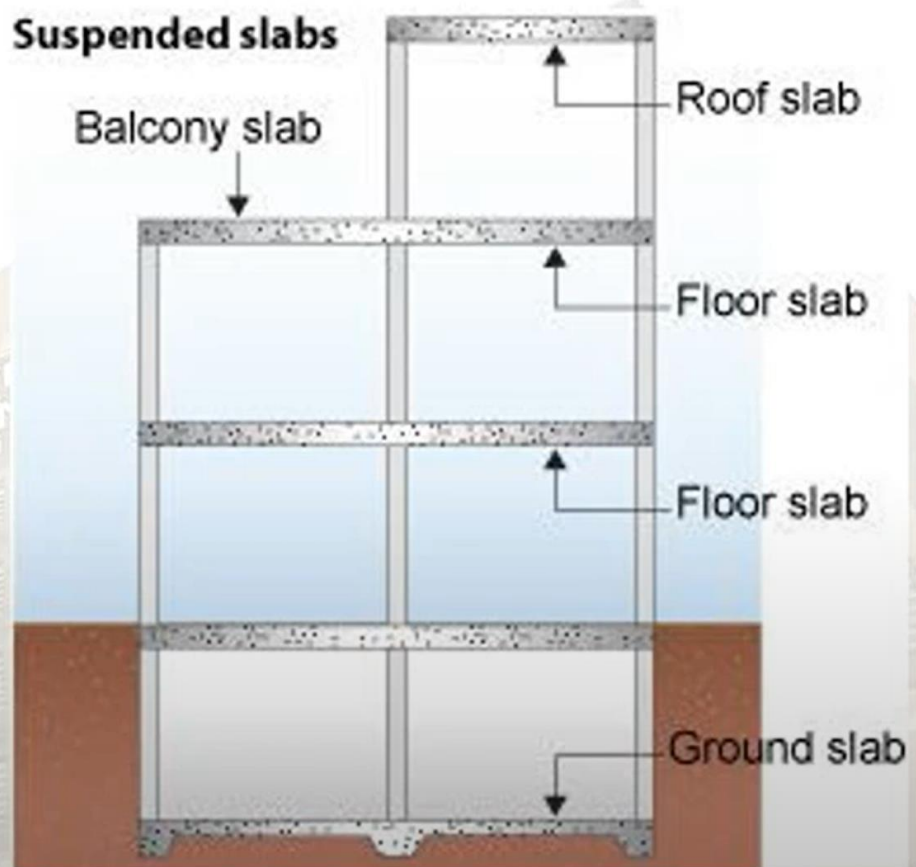
Balcony slab

Roof slab

Floor slab

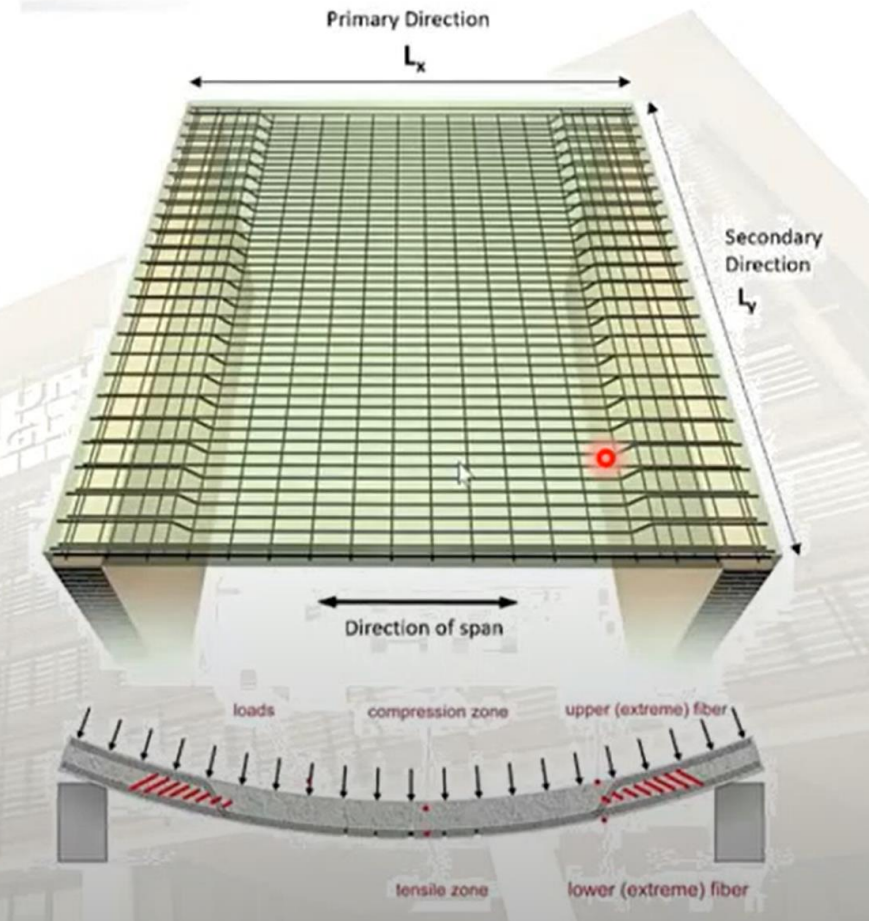
Floor slab

Ground slab



- **Pelat Satu Arah**

- Sistem pelat 1 arah hanya ditumpu di kedua sisinya, sehingga pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan.
- Beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja yaitu ke arah tumpuan.



- **Pelat Satu Arah**

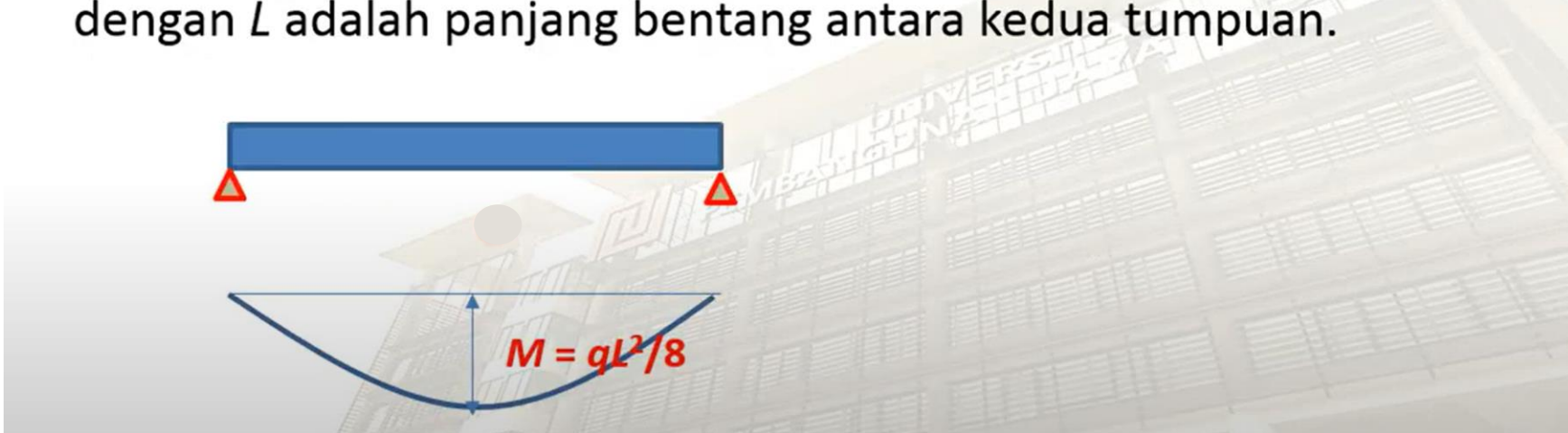
- Apabila pelat tertumpu di keempat sisinya, dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 2, maka hampir 95% beban akan dilimpahkan dalam arah bentang pendek, dan pelat akan menjadi sistem pelat satu arah.
- Sistem pelat satu arah cocok digunakan pada bentangan 3-6 meter, dengan beban hidup sebesar 2,5 – 5 kN/m²

One Way Slab

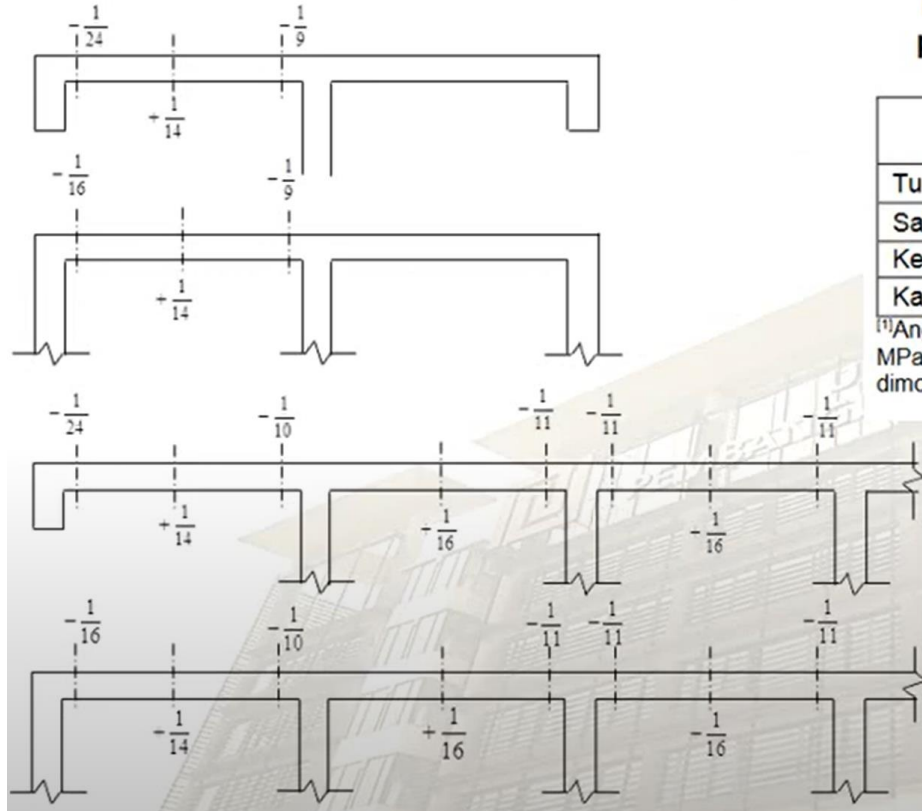


$$L / W \geq 2$$

- Jika pelat hanya terdiri dari satu bentangan saja, dengan anggapan tertumpu sederhana di kedua sisinya, maka momen lentur yang timbul akibat beban q yang terdistribusi merata, adalah $M = qL^2/8$, dengan L adalah panjang bentang antara kedua tumpuan.



- Bila pelat yang sama tertumpu pada beberapa tumpuan, maka akan timbul momen positif dan momen negatif pada pelat yang dapat dihitung melalui prosedur analisis struktur, atau dapat juga menggunakan koefisien momen yang diberikan dalam [SNI 2847:2019, pasal 6.5.2](#)
- Nilai koefisien momen tersebut dapat digunakan jika :
 - Beda panjang bentang tidak terlalu jauh, dengan batasan panjang bentang tidak boleh melebihi 20% dari bentang terpendek
 - Beban yang bekerja adalah beban merata
 - Beban hidup tidak melebihi 3 kali beban mati



Tabel 7.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi tumpuan	$h^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

⁽¹⁾Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

f_y selain 400 MPa, maka nilai dalam Tabel 7.3.1.1 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

Koefisien menerus untuk balok dan pelat menerus
SNI 2847:2019, pasal 6.5.2

Batasan Lendutan Pelat Tabel 24.2.2 SNI 2847-2019

Jenis Struktur Pelat	Lendutan Yang Diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$l/180$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$l/360$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup)	$l/480$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar		$l/240$

Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari **20 mm**, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah

- Luas tulangan minimum pelat satu arah diatur dalam SNI 2847-2019 ps. 7.6.1.1.
- tulangan lentur minimum harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan tarik beton akibat beban

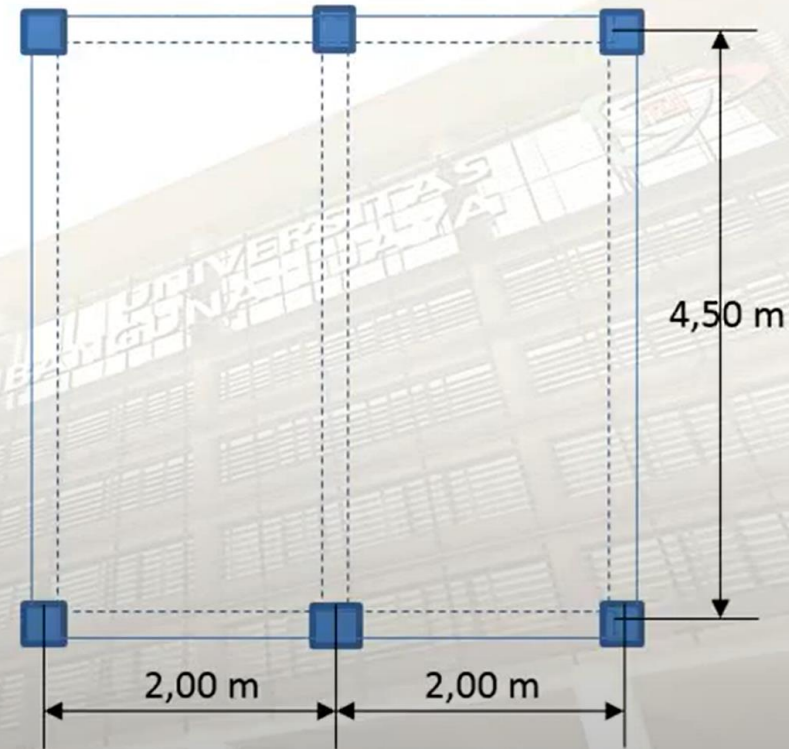
Tabel 7.6.1.1 – $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang

Tipe tulangan	f_y , MPa	$A_{s,min}$	
Batang ulir	< 420	0,0020 A_g	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			0,0014 A_g

- jarak antar tulangan utama pada pelat tidak boleh lebih dari 3 kali ketebalan pelat (**3h**) atau tidak lebih dari 450 mm (SNI 2847:2019, pasal 7.7.2.3)

Contoh :

- Denah suatu konstruksi pelat lantai ditunjukkan dalam gambar berikut ini. Pelat memikul beban mati sebesar 1 kN/m^2 , dan beban hidup sebesar $2,5 \text{ kN/m}^2$. Desainlah penulangan lentur yang diperlukan oleh pelat tersebut
- Gunakan mutu beton $f'_c = 20 \text{ MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$.



1. Menentukan tebal pelat minimum

Tabel 7.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi tumpuan	$h^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

⁽¹⁾Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

$$\frac{l}{24} = \frac{2000}{24} = 83,3 \text{ mm}$$

Ambil tebal pelat **120 mm**

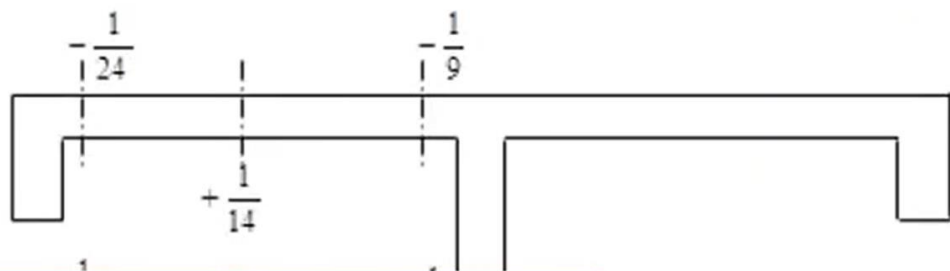
2. Hitung pembebanan pelat

$$q_D = 0,12(24) + 1 = 3,88 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 3,88 \text{ kN/m}'$$

$$q_L = 2,5 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 2,5 \text{ kN/m}'$$

$$q_u = 1,2q_D + 1,6q_L = 1,2(3,88) + 1,6(2,5) = 8,656 \text{ kN/m}'$$

3. Menghitung momen pelat.



$$M_u = 0,041667(8,656)(2)^2 = 1,442667 \text{ kN.m}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f'_c b d^2}} \right]$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,0020bh$$

$$= 0,0020(1000)(120) = 240 \text{ mm}^2$$

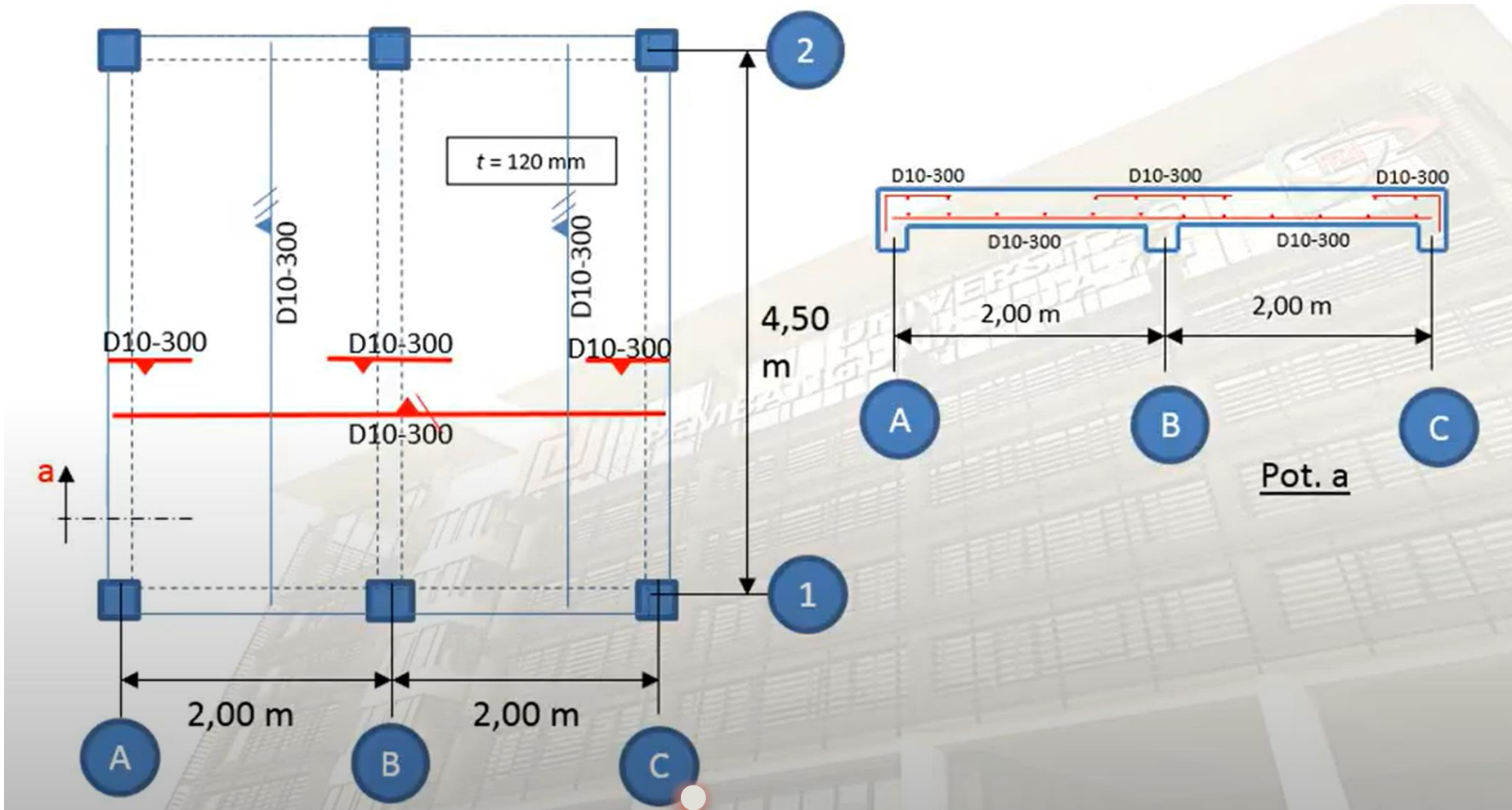
	A	B	C
Koefisien	0.041667	0.071429	0.111111
M_u	1.442667	2.473143	3.847111
ρ	0.000498	0.000857	0.00134
A_s (mm ²)	44.78898	77.10879	120.6405
$A_{s \text{ min}}$	240	240	240
$A_{s \text{ pasang}}$	240	240	240
$\Sigma D10$	3.06	3.06	3.06
pasang	3D10	3D10	3D10

3D10 untuk lebar 1 m', atau dapat dihitung jarak antar tulangan = $1000/3 = 333,3 \text{ mm}$ **Pasang D10 – 300**

300 mm masih kurang dari $3h$ (= 360 mm) atau 450 mm (SNI ps. 7.7.2.3) **o.k.**

Dalam arah tegak lurus tulangan utama biasanya dipasang tulangan pembagi atau tulangan susut yang besarnya diatur dalam SNI 2847:2019 ps. 24.4.3.2, yang besarnya sama dengan tulangan minimum

Sehingga dalam arah tegak lurus tulangan utama, dipasang juga tulangan pembagi D10 – 300

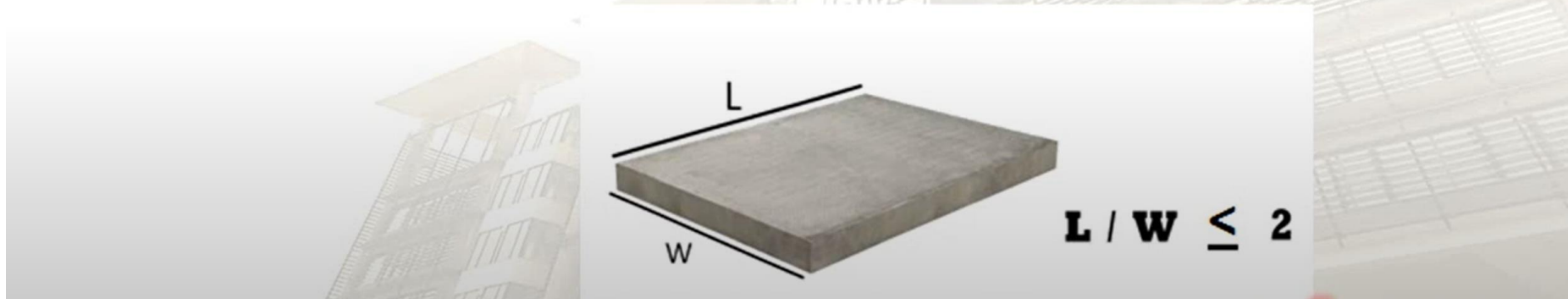


Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

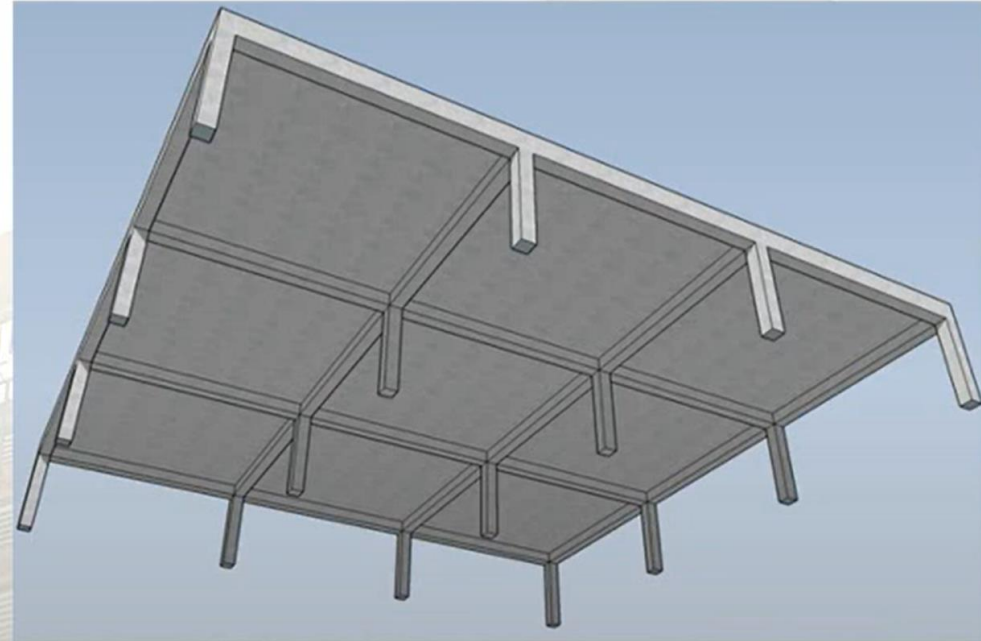
Arie Putra Usman

Pelat dua arah

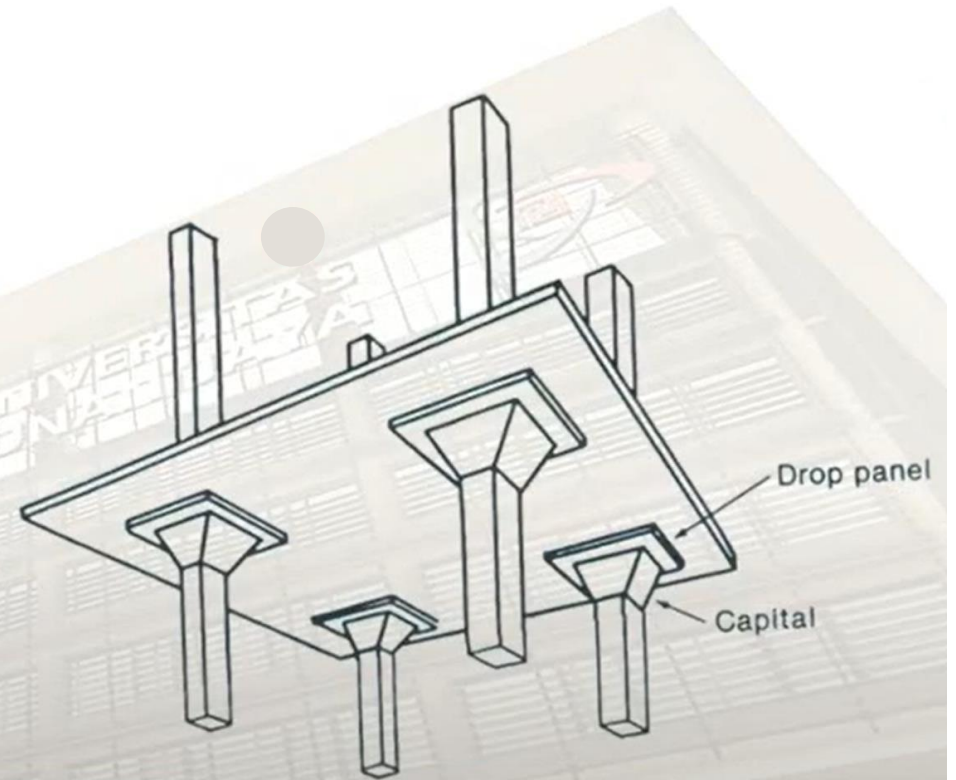
- Apabila struktur pelat beton ditopang di keempat sisinya, dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan sebagai sistem pelat dua arah.



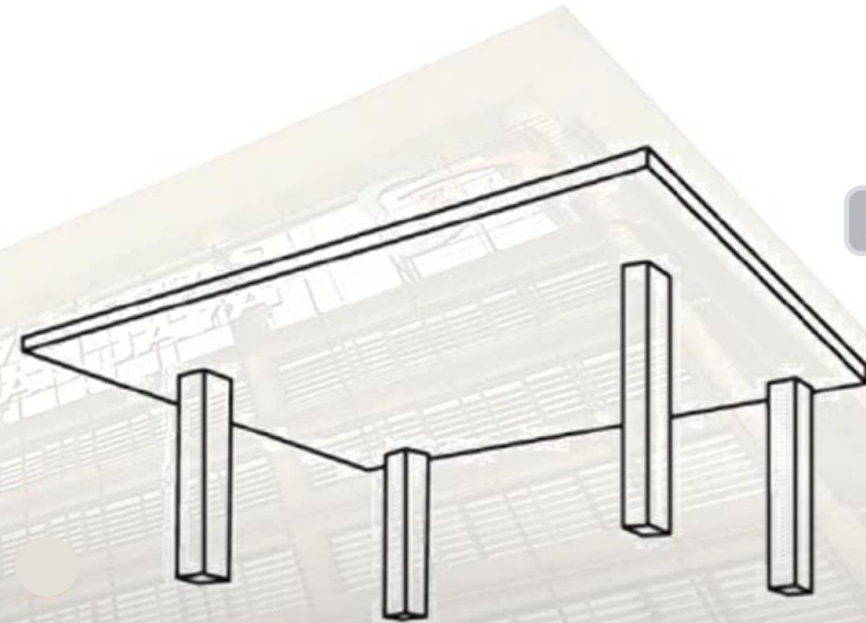
- **Sistem balok-pelat dua arah**, pada sistem struktur ini pelat beton ditumpu oleh balok di keempat sisinya.
- Beban dari pelat ditransfer ke keempat balok penumpu yang selanjutnya mentransfer bebannya ke kolom.
- Sistem pelat dua arah dengan balok ini dapat digunakan untuk bentangan 6-9 meter, dengan beban hidup sebesar 2,5 – 5,5 kN/m².
- Balok akan meningkatkan kekakuan pelat, sehingga lendutan yang terjadi akan relatif kecil



- **Sistem slab datar (flat slab)**, merupakan sistem struktur pelat beton dua arah yang tidak memiliki balok penumpu di masing-masing sisinya.
- Beban pelat ditransfer secara langsung ke kolom. Kolom cenderung akan menimbulkan kegagalan geser pons pada pelat, yang dapat dicegah dengan beberapa alternatif :
 - *drop panel+ column capital*
 - *Drop panel*
 - *Column capital*
- Sistem slab datar dapat digunakan untuk bentangan 6-9 meter, dengan beban hidup sebesar $4 - 7 \text{ kN/m}^2$



- **Sistem plat datar (*flat plate*)**, terdiri dari pelat yang tertumpu langsung ke kolom tanpa adanya penebalan panel dan kepala kolom.
- Potensi kegagalan struktur terbesar akan timbul akibat geser pons, yang akan menghasilkan tegangan tarik diagonal.
- Sebagai akibat tidak adanya penebalan panel dan kepala kolom, maka dibutuhkan ketebalan pelat yang lebih besar atau dengan memberikan penulangan ekstra di area sekitar kolom.
- Sistem plat datar dapat digunakan untuk struktur pelat dengan bentangan 6 – 7,5 m dan beban hidup sebesar 2,5 – 4,5 kN/m².



•Ketebalan Minimum Pelat

SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.2 menentukan ketebalan minimum pelat dua arah untuk mencegah terjadinya lendutan berlebih. Karena perhitungan lendutan dari pelat dua arah cukup rumit, dan untuk mencegah lendutan yang besar, maka ketebalan pelat dapat ditentukan menggunakan rumus empiris sebagai berikut :

Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad \text{Namun tidak kurang dari 125 mm} \quad (1)$$

Untuk $\alpha_{fm} > 2,0$

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad \text{Namun tidak kurang dari 90 mm.} \quad (2)$$

Untuk $\alpha_{fm} < 0,2$

h = ketebalan minimum pelat tanpa balok (Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019)

dengan :

l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok, dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya (mm)

β adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek dari pelat dua arah

α_{fm} adalah nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu pelat

α_f adalah rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_{cb}I_b$) terhadap kekakuan lentur pelat ($E_{cs}I_s$), yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari pelat-pelat yang bersebelahan pada tiap sisi balok

$$\alpha_f = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$$

I_b adalah momen inersia brutto dari penampang balok terhadap sumbu berat, 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

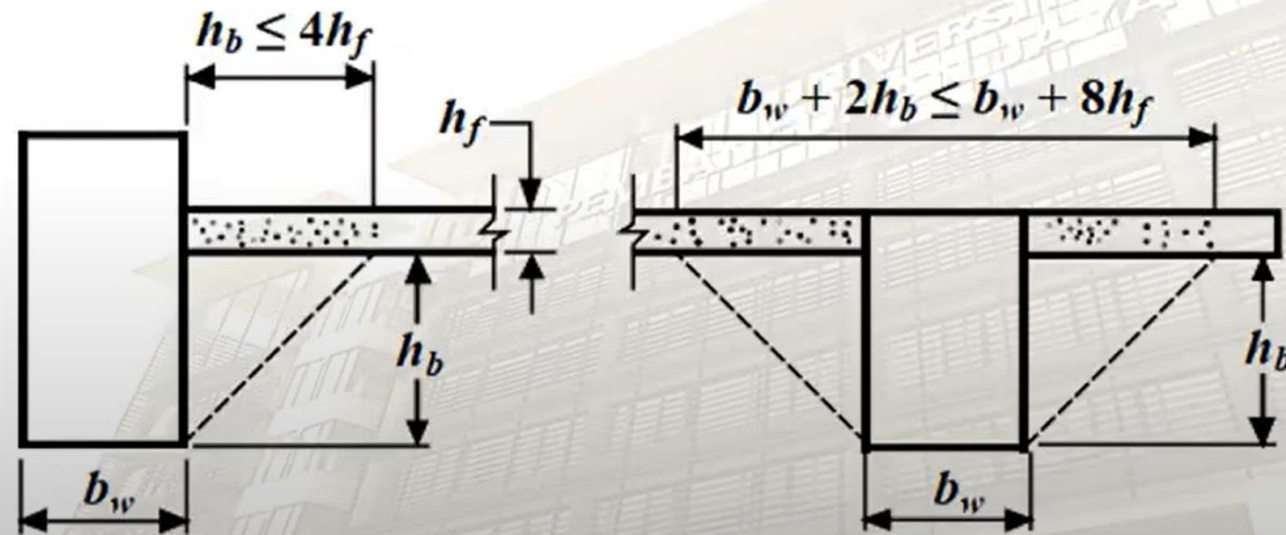
I_s adalah momen inersia brutto dari penampang pelat

I_b

adalah momen inersia brutto dari penampang balok terhadap sumbu berat, 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

I_s

adalah momen inersia brutto dari penampang pelat



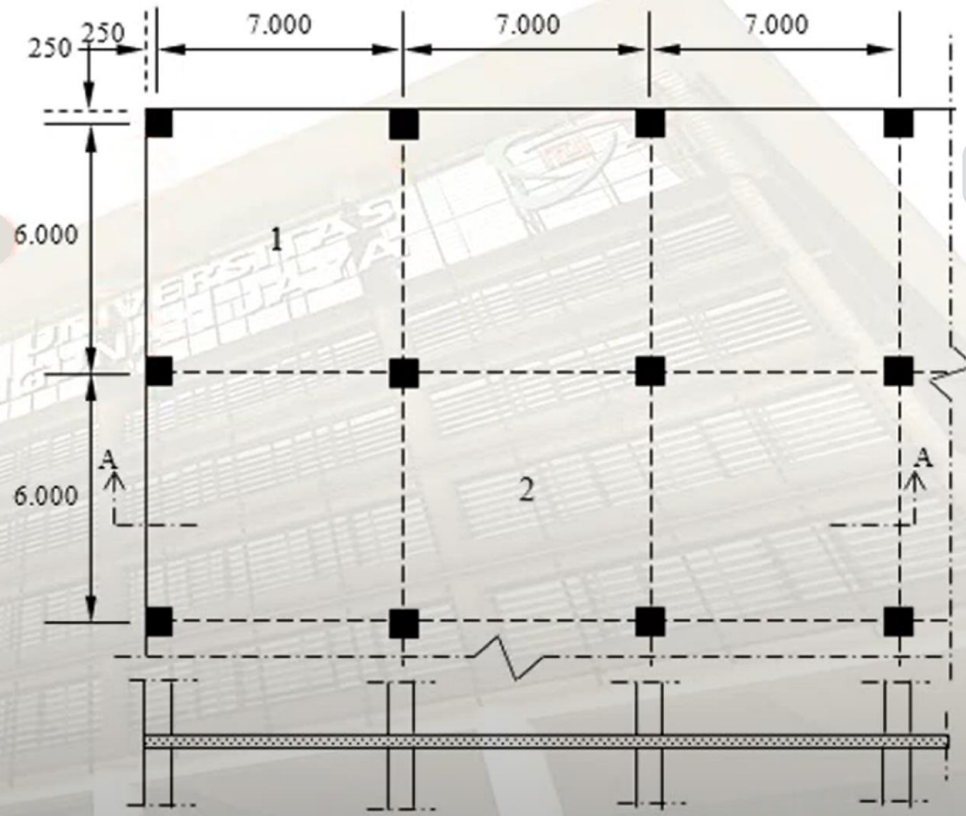
Tabel 8.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)^[1]

f_y , MPa ^[2]	Tanpa <i>drop panel</i> ^[3]			Dengan <i>drop panel</i> ^[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

- Tebal minimum pelat tanpa balok dalam seperti ditentukan dalam Tabel 8.3.1.1 tidak boleh kurang dari 125 mm (untuk pelat tanpa penebalan panel), atau tidak kurang dari 100 mm (untuk pelat dengan penebalan panel).
- Dalam SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.2.1. disyaratkan bahwa untuk panel dengan tepi yang tidak menerus, maka balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α yang tidak kurang dari 0,8.
- Atau sebagai alternatif, maka ketebalan maksimum yang dihitung dari persamaan (1) dan (2) harus dinaikkan minimal 10%.

Contoh 1

- Suatu sistem plat datar (*flat-plate*) dengan ukuran pelat 7 m × 6 m ditumpu oleh kolom persegi berukuran 500 mm × 500 mm. Tentukan ketebalan minimum pelat yang disyaratkan dalam peraturan SNI 2847:2019 untuk pelat dalam dan pelat sudut seperti dalam Gambar.
- Pada struktur ini tidak digunakan balok tepi.
- Gunakan $f'_c = 20$ MPa, $f_y = 420$ MPa.



Penyelesaian

- Untuk pelat sudut (1), tebal minimum adalah $l_n/30$ (dari Tabel 8.3.1.1)

$$l_n = 7.000 - 2(500/2) = 6.500 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = \frac{6.500}{30} = 216,67 \text{ mm}$$

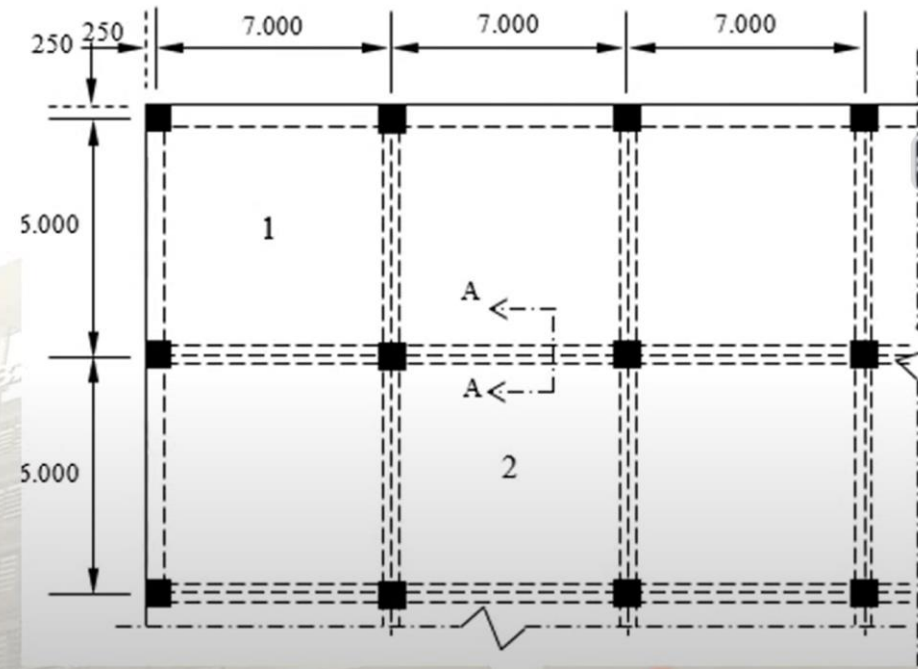
- Untuk pelat dalam (2), tebal minimum adalah $l_n/33$, sehingga :

$$h_{\min} = \frac{6.500}{33} = 196,97 \text{ mm}$$

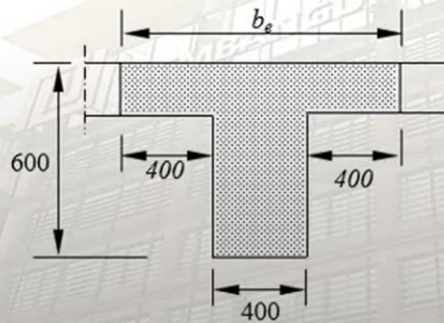
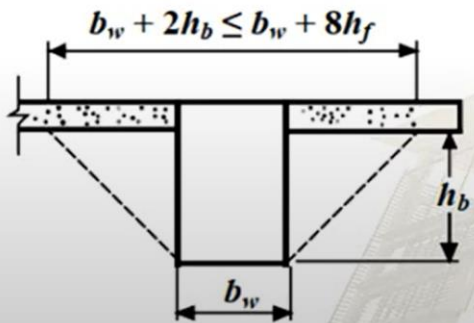
Jika akan digunakan tebal pelat yang seragam, maka dapat diambil tebal pelat sebesar **220 mm.**

Contoh 2

- Suatu sistem pelat lantai dua arah dengan balok ditunjukkan dalam Gambar.
- Pelat dan balok ditopang oleh kolom berukuran 500 mm × 500 mm.
- Ukuran balok 400 mm x 600 mm.
- Tentukan ketebalan minimum yang diperlukan untuk suatu pelat dalam (interior).
- Gunakan $f'_c = 20$ MPa, $f_y = 400$ MPa.



- Persyaratan tebal pelat dihitung dari persamaan (1) atau (2), sehingga nilai α_{fm} harus dihitung terlebih dahulu.
- Oleh karena itu nilai l_b , l_s , dan α_f untuk balok dan pelat dalam arah panjang maupun pendek harus ditentukan lebih dahulu.
- Asumsi awal tebal pelat diambil 200 mm.



$$b_w + 2h_b = 400 + 2(400) = 1.200 \text{ mm}$$

$$b_w + 8h_f = 400 + 8(200) = 2.000 \text{ mm}$$

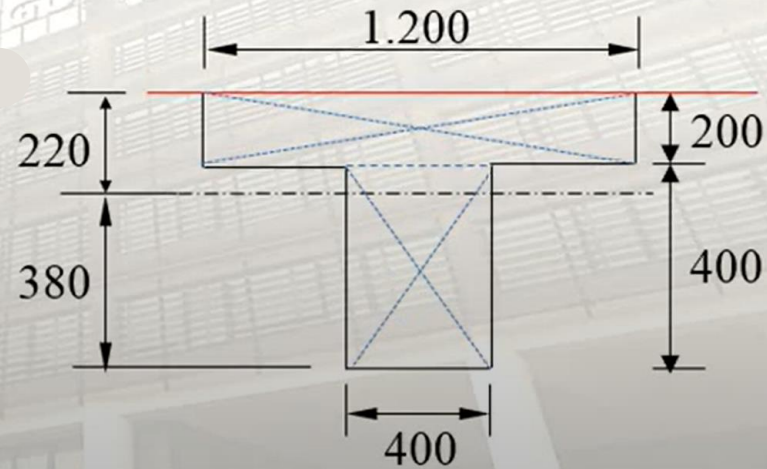
Maka $b_e = 1.200 \text{ mm}$

Tentukan titik berat penampang dengan mengambil statis momen terhadap sisi atas sayap :

- Luas bagian sayap = $200 \times 1.200 = 240.000 \text{ mm}^2$
- Luas bagian badan = $400 \times 400 = 160.000 \text{ mm}^2$
- Luas total = 400.000 mm^2

$$\bar{y} = \frac{240.000(100) + 160.000(400)}{400.000} = 220 \text{ mm}$$

$$I_b = \left[\frac{1}{12} \times 1.200 \times 200^3 + (240.000 \times 120^2) \right] + \left[\frac{1}{12} \times 400 \times 400^3 + (160.000 \times 180^2) \right]$$
$$= 11.573,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



- Momen inersia pelat dalam arah panjang adalah

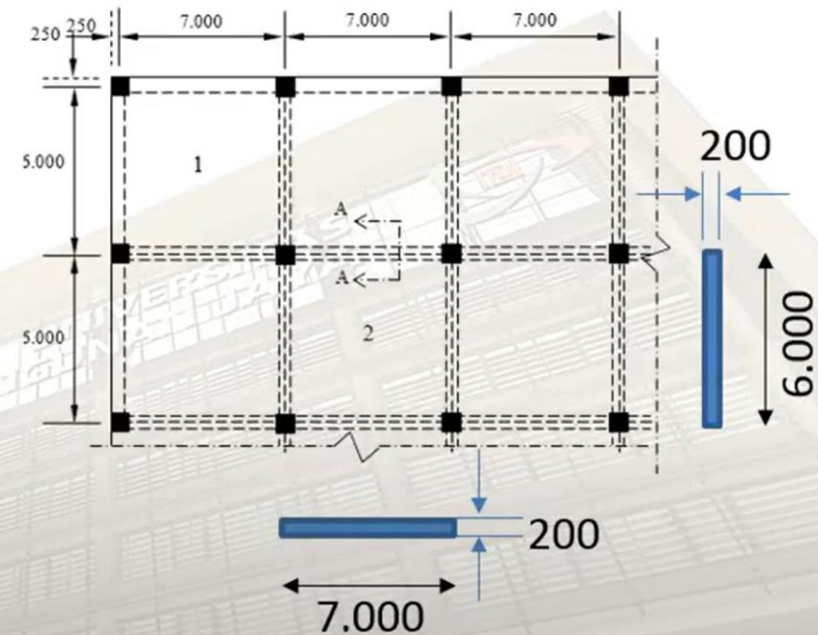
$$I_l = \frac{1}{12} \times 6.000 \times 200^3 = 4.000 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\alpha_{fl} = \frac{EI_b}{EI_l} = \frac{11.573,33 \cdot 10^6}{4.000 \cdot 10^6} = 2,893$$

- Momen inersia pelat dalam arah pendek adalah

$$I_s = \frac{1}{12} \times 7.000 \times 200^3 = 4.666,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\alpha_{fs} = \frac{EI_b}{EI_s} = \frac{11.573,33 \cdot 10^6}{4.666,67 \cdot 10^6} = 2,48$$



- Nilai α_{fm} diperoleh dari rata-rata α_{fl} dan α_{fs} :

$$\alpha_{fm} = \frac{2,893 + 2,48}{2} = 2,687$$

$$\beta = \frac{7.000 - 500}{6.000 - 500} = 1,182$$

- Karena $\alpha_{fm} > 2,0$, maka nilai h_{\min} dicari dengan menggunakan persamaan

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1.400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{(7.000 - 500) \left(0,8 + \frac{400}{1.400} \right)}{36 + 9(1,182)} = 151,32 \text{ mm} > 90 \text{ mm} \quad \text{o.k.}$$

Gunakan tebal pelat **200 mm**