

### 3 PERANCANGAN PELAT LENTUR

Pelat lentur merupakan salah satu elemen penting dari struktur bangunan gedung. Pada umumnya bangunan gedung tersusun dari pelat lantai, balok anak, balok induk, kolom, dan pondasi. Idealisasi pelat lentur juga dapat dijumpai pada pelat atap, lantai jembatan maupun pelabuhan. Berdasarkan komponen gaya dalam yang bekerja, pelat lentur dapat dibedakan menjadi dua yaitu: (1) pelat satu arah dimana momen lentur dianggap hanya bekerja pada satu sumbu dengan arah lenturan utama pada arah sisi yang lebih pendek, dan (2) pelat dua arah dimana momen lentur dianggap bekerja pada dua sumbu dengan lenturan terjadi pada dua arah yang saling tegak lurus. Apabila perbandingan ukuran sisi panjang terhadap sisi pendek pelat lebih besar dari 2 (dua) maka pelat tersebut dapat digolongkan sebagai pelat satu arah, dengan asumsi perencanaan layaknya elemen balok dengan tinggi setebal pelat dan lebar satu satuan panjang (umumnya diambil 1 meter lebar).

Berdasarkan kondisi tumpuannya, pelat dapat digolongkan menjadi dua yaitu: (1) pelat dengan balok sebagai tumpuan pada masing-masing sisinya, dan (2) pelat tanpa balok penumpu yang seringkali disebut sebagai pelat datar. Pada kasus pelat datar panel pelat langsung ditumpu oleh kolom sehingga muncul kerawanan terhadap timbulnya akumulasi gaya geser setempat yang disebut dengan *pons*, dimana kolom seolah-olah akan menembus panel pelat ke arah atas. Untuk menanggulangi fenomena ini biasanya diberikan penebalan pelat setempat pada posisi kolom, yang selanjutnya disebut sebagai *drop panel* atau dilakukan pembesaran ukuran ujung kolom yang disebut sebagai *kapital kolom* atau kepala kolom. Dengan demikian pelat tanpa balok penumpu dapat dibedakan dibagi dua, yaitu: (1) tanpa penebalan, dan (2) dengan penebalan.

## A. Perencanaan Dimensi Tampang

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

### 1. Tebal minimum untuk balok atau pelat satu arah

Untuk menjamin kekuatan dan kemampuan layan serta menghindari terjadinya retak dan defleksi yang berlebihan pada elemen balok dan pelat satu arah, SNI 03-2847-2002 mempersyaratkan ketebalan minimum yang dihitung dengan ketentuan berikut:

**TABEL 3-1** Ketebalan minimum balok non-pratekan dan plat satu arah bila lendutan tidak diperhitungkan

Komponen struktur	Tebal Minimum, $h$			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

Catatan: Untuk  $f_y$  selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$

dengan:

$l$  = panjang bentang balok atau pelat satu arah, dengan ketentuan:

- 1) Panjang bentang dari komponen struktur yang tidak menyatu dengan struktur pendukung dihitung sebagai bentang bersih ditambah dengan tinggi dari komponen struktur. Besarnya bentang tersebut tidak perlu melebihi jarak pusat ke pusat komponen struktur pendukung yang ada.

- 2) Dalam analisis untuk menentukan momen pada rangka atau struktur menerus, panjang bentang harus diambil sebesar jarak pusat ke pusat komponen struktur pendukung.

## 2. Tebal minimum untuk pelat dua arah dengan balok penumpu

Tebal minimum untuk pelat dua arah dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- 1) Untuk  $\alpha_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 diterapkan ketentuan sebagaimana dipersyaratkan pada pelat tanpa balok interior
- 2) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (3-1)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

- 3) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-2)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

dengan:

$l_n$  = 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)

$\alpha$  = rasio kekakuan lentur tampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok

$\alpha_m$  = nilai rata-rata  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi-tepi suatu panel

$\beta$  = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah

- 4) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (3-1) atau Pers. (3-2) harus dinaikan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

### 3. Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua, harus memenuhi ketentuan Tabel 2-2 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

- 1) Pelat tanpa penebalan disyaratkan tebal pelat minimal 120 mm
- 2) Pelat dengan penebalan disyaratkan tebal pelat minimal 100 mm

**TABEL 3-2** Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tegangan leleh $f_y$ (MPa)	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa Balok Pinggir	Dengan Balok Pinggir		Tanpa Balok Pinggir	Dengan Balok Pinggir	
300	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
400	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
500	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

Catatan: Nilai  $\alpha$  untuk balok diantara kolom pada tepi luar tidak boleh kurang dari 0,8.

Dimensi penebalan panel setempat harus sesuai dengan hal-hal berikut ini:

- Penebalan panel setempat disediakan pada kedua arah sejarak tidak kurang daripada seperenam jarak pusat-ke-pusat tumpuan pada arah yang ditinjau.
- Tebal penebalan panel setempat tidak boleh kurang daripada seperempat tebal pelat diluar daerah penebalan panel setempat.

## B. Analisis Gaya Dalam

Semua komponen struktur beton bertulang harus direncanakan terhadap pengaruh maksimum dari beban terfaktor yang dihitung dengan metode elastis

### 1. Analisis balok dan pelat satu arah diatas banyak tumpuan

Sebagai alternatif, metode pendekatan berikut ini dapat digunakan untuk menentukan momen lentur dan gaya geser dalam perencanaan balok menerus dan pelat satu arah, yaitu pelat beton bertulang di mana tulangnya hanya direncanakan untuk memikul gaya-gaya dalam satu arah, selama:

- 1) jumlah minimum bentang yang ada haruslah minimum dua,
- 2) panjang bentang tidak terlalu berbeda, rasio bentang terbesar terhadap bentang terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 1,2,
- 3) beban yang bekerja merupakan beban terbagi rata,
- 4) beban hidup per satuan panjang tidak melebihi tiga kali beban mati-nya, dan
- 5) komponen struktur adalah prismatis.

Momen positif pada bentang-bentang ujung:

Tumpuan ujung terletak bebas	$\frac{W_u l_n^2}{11}$
Tumpuan ujung menyatu dengan struktur pendukung	$\frac{W_u l_n^2}{14}$
Momen positif pada bentang-bentang dalam	$\frac{W_u l_n^2}{16}$

Momen negatif pada sisi luar dari tumpuan dalam pertama:

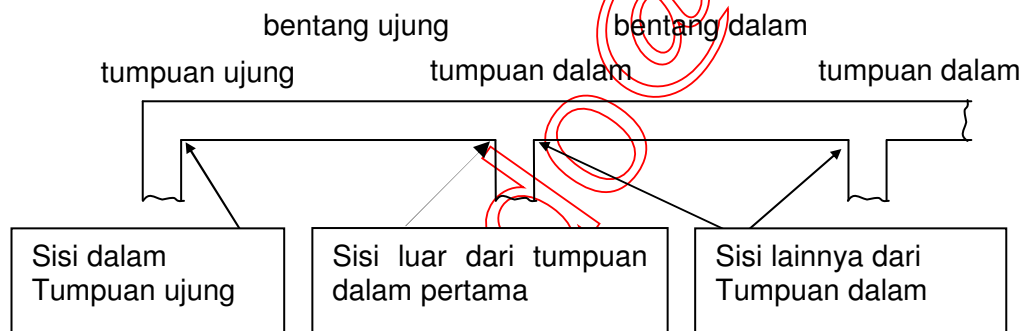
Dua bentang	$\frac{W_u l_n^2}{9}$
Lebih dari dua bentang	$\frac{W_u l_n^2}{10}$
Momen negatif pada sisi-sisi lain dari tumpuan-tumpuan dalam	$\frac{W_u l_n^2}{11}$

Momen negatif pada sisi semua tumpuan untuk:

Pelat dengan bentang tidak lebih dari 3 m; dan balok dengan rasio jumlah kekakuan kolom-balok melebihi delapan pada setiap tumpuan	$\frac{W_u l_n^2}{12}$
--	------------------------

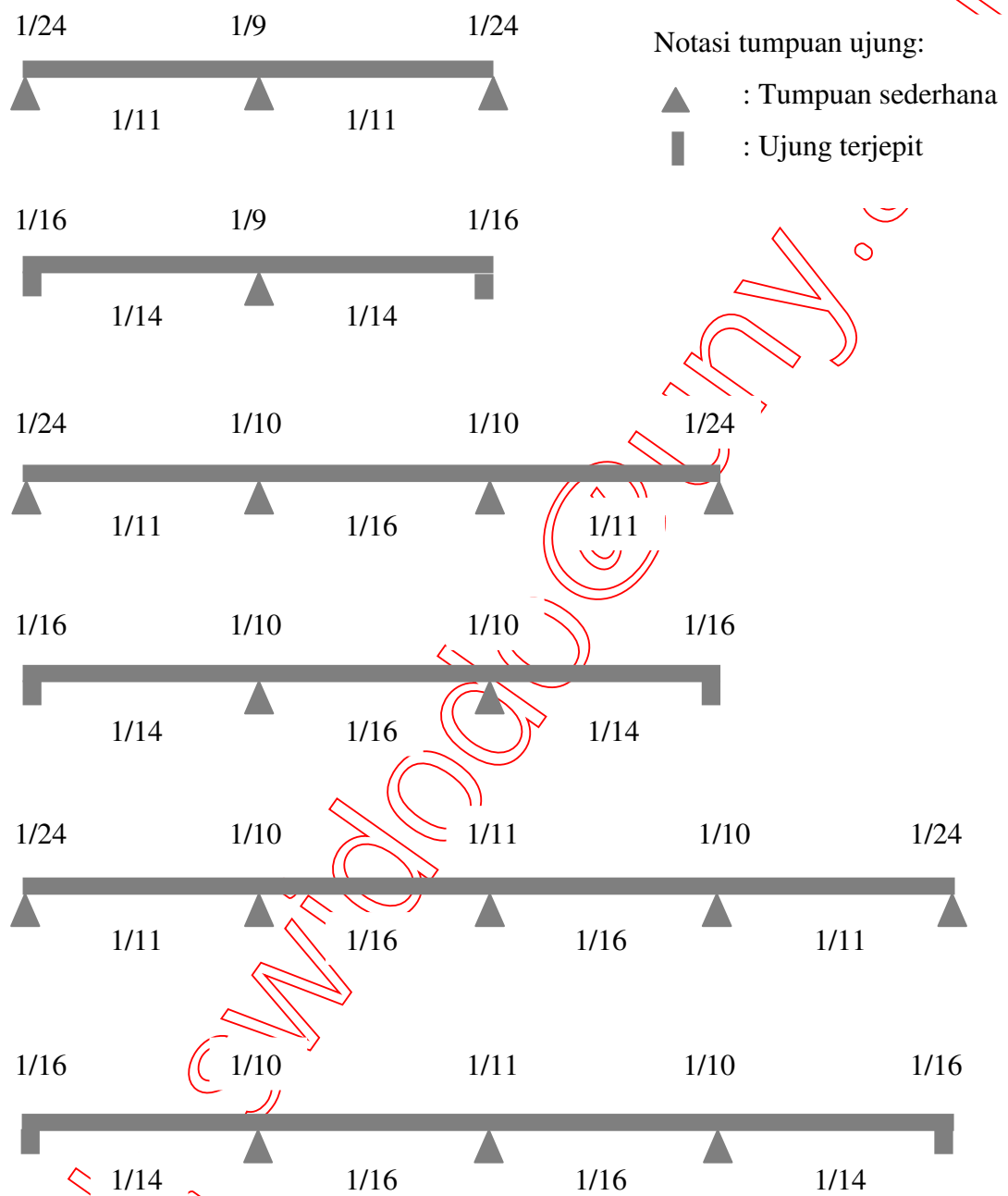
Momen negatif pada sisi dalam dari tumpuan yang untuk komponen struktur yang dibuat menyatu (monolit) dengan struktur pendukung:

Struktur pendukung adalah balok spandrel	$\frac{W_u l_n^2}{24}$
Struktur pendukung adalah kolom	$\frac{W_u l_n^2}{16}$
Gaya geser pada sisi dari tumpuan dalam pertama	$\frac{1,15 W_u l_n}{2}$
Gaya geser pada sisi dari semua tumpuan-tumpuan lainnya	$\frac{W_u l_n}{2}$



**Gambar 3-1** Terminologi balok/pelat satu arah di atas banyak tumpuan

E-mail: SWI



**Gambar 3-2** Contoh Penerapan Metode Pendekatan untuk Analisis Balok/Pelat Satu Arah diatas Banyak Tumpuan

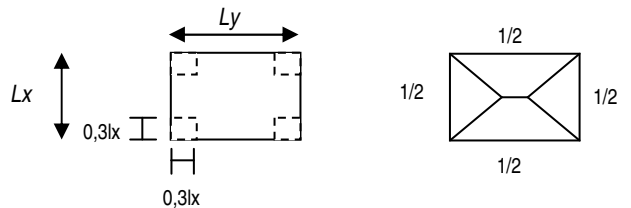
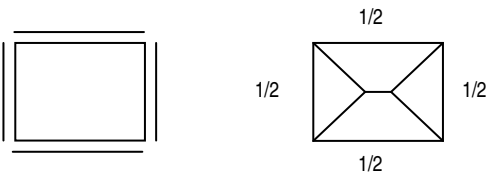
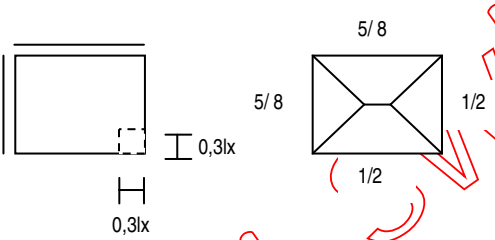
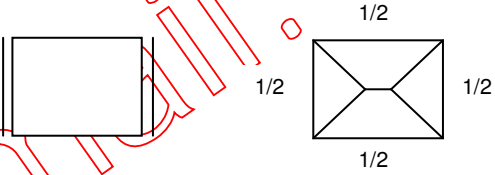
## 2. Analisis pelat dua arah

Sebagai alternatif, metode pendekatan berikut ini dapat digunakan untuk menentukan momen lentur pada bagian lapangan maupun tumpuan panel pelat dua arah dimana momen lentur dianggap bekerja pada dua sumbu dengan lenturan terjadi pada dua arah yang saling tegak lurus dengan perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek kurang dari 2 (dua). Cara pendekatan yang ditunjukkan pada Tabel 3-3 dapat dipergunakan dengan syarat:

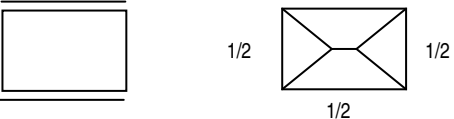
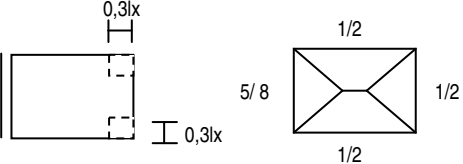
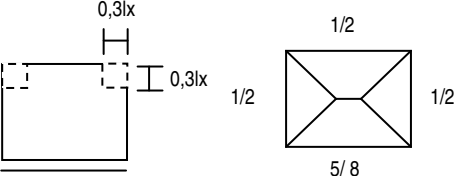
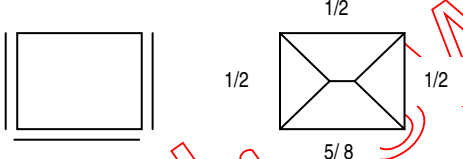
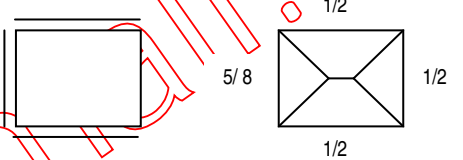
- 1) beban yang bekerja berupa beban terbagi rata,
- 2) perbedaan yang terbatas antara besarnya beban maksimum dan minimum pada panel pelat memenuhi  $W_{U_{\min}} \geq 0,4.W_{U_{\max}}$ ,
- 3) perbedaan yang terbatas antara beban maksimal pada panel pelat yang berbeda-beda tipe memenuhi  $W_{U_{\max} \text{ terkecil}} \geq 0,8.W_{U_{\max} \text{ terbesar}}$ ,
- 4) perbedaan yang terbatas pada panjang bentang, dimana bentang terpendek lebih besar dari 0,8 bentang terpanjang.



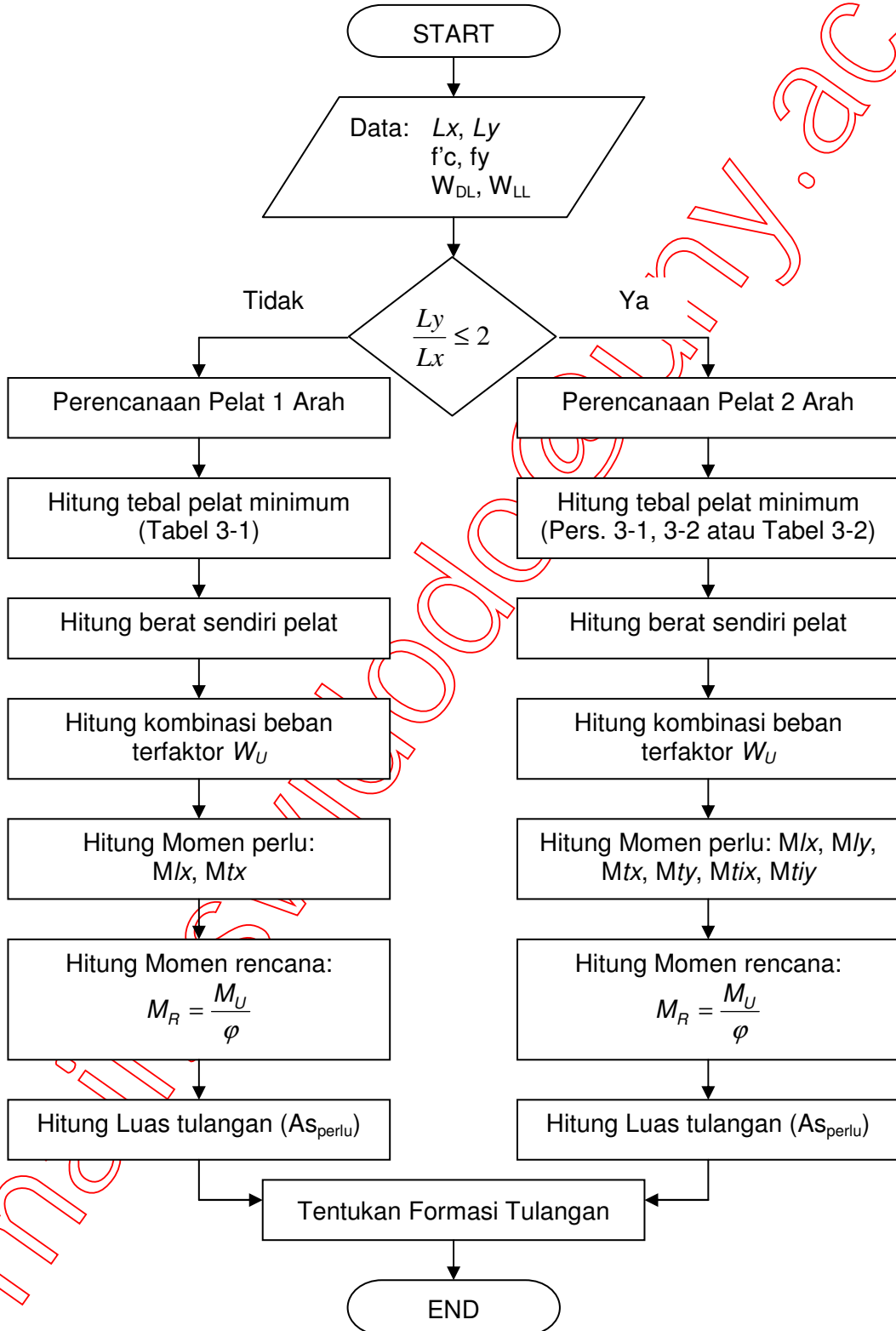
**TABEL 3-3** Besaran Momen yang Menentukan per-meter Lebar Jalur Tengah pada Pelat Dua Arah Akibat Beban Terbagi Rata

Skema	Penyaluran beban berdasarkan "metode amplop" kali $W_u$ lantai lx	Momen per meter lebar	$l_y/l_x$					
			1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	$M_lx = 0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot x$ $M_ly = 0,001$ $M_{tix} = \frac{1}{2} M_lx$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} M_ly$	41 54	54 35	67 31	79 28	87 26	97 25	
	$M_lx = 0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot x$ $M_ly = 0,001$ $M_{tx} = -0,001$ $M_{ty} = -0,001$	25 25 51 51	34 22 63 54	42 18 72 55	49 15 78 54	53 15 81 54	58 15 82 53	
	$M_lx = 0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot x$ $M_ly = 0,001$ $M_{tx} = -0,001$ $M_{ty} = -0,001$ $M_{tix} = \frac{1}{2} M_lx$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} M_ly$	30 30 68 68	41 27 84 74	52 23 97 77	61 22 106 77	67 20 113 77	72 19 117 76	
	$M_lx = 0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot x$ $M_ly = 0,001$ $M_{ty} = -0,001$ $M_{tix} = \frac{1}{2} M_lx$	24 33 69	36 33 85	49 32 97	63 29 105	74 27 110	85 24 112	

Tabel lanjutan

	$Mlx = 0,001 Wu \cdot lx^2 \cdot x$ $Mly = 0,001$ $Mtx = - 0,001$ $Mty = \frac{1}{2} Mly$	33 24 69	40 20 76	47 18 80	52 17 82	55 17 83	58 17 83
	$Mlx = 0,001 Wu \cdot lx^2 \cdot x$ $Mly = 0,001$ $Mty = - 0,001$ $Mtx = \frac{1}{2} Mlx$ $Mty = \frac{1}{2} Mly$	31 39 91	45 37 102	58 34 108	71 30 111	81 27 113	91 25 114
	$Mlx = 0,001 Wu \cdot lx^2 \cdot x$ $Mly = 0,001$ $Mtx = - 0,001$ $Mtx = \frac{1}{2} Mlx$ $Mty = \frac{1}{2} Mly$	39 31 91	47 25 98	57 23 107	64 21 113	70 20 118	75 19 120
	$Mlx = 0,001 Wu \cdot lx^2 \cdot x$ $Mly = 0,001$ $Mtx = - 0,001$ $Mty = - 0,001$ $Mtx = \frac{1}{2} Mlx$	25 28 54 60	36 27 72 69	47 23 88 74	57 20 100 76	64 18 108 76	70 17 114 76
	$Mlx = 0,001 Wu \cdot lx^2 \cdot x$ $Mly = 0,001$ $Mtx = - 0,001$ $Mty = - 0,001$ $Mty = \frac{1}{2} Mly$	28 25 60 54	37 21 70 55	45 19 76 55	50 18 80 54	54 17 82 53	58 17 83 53

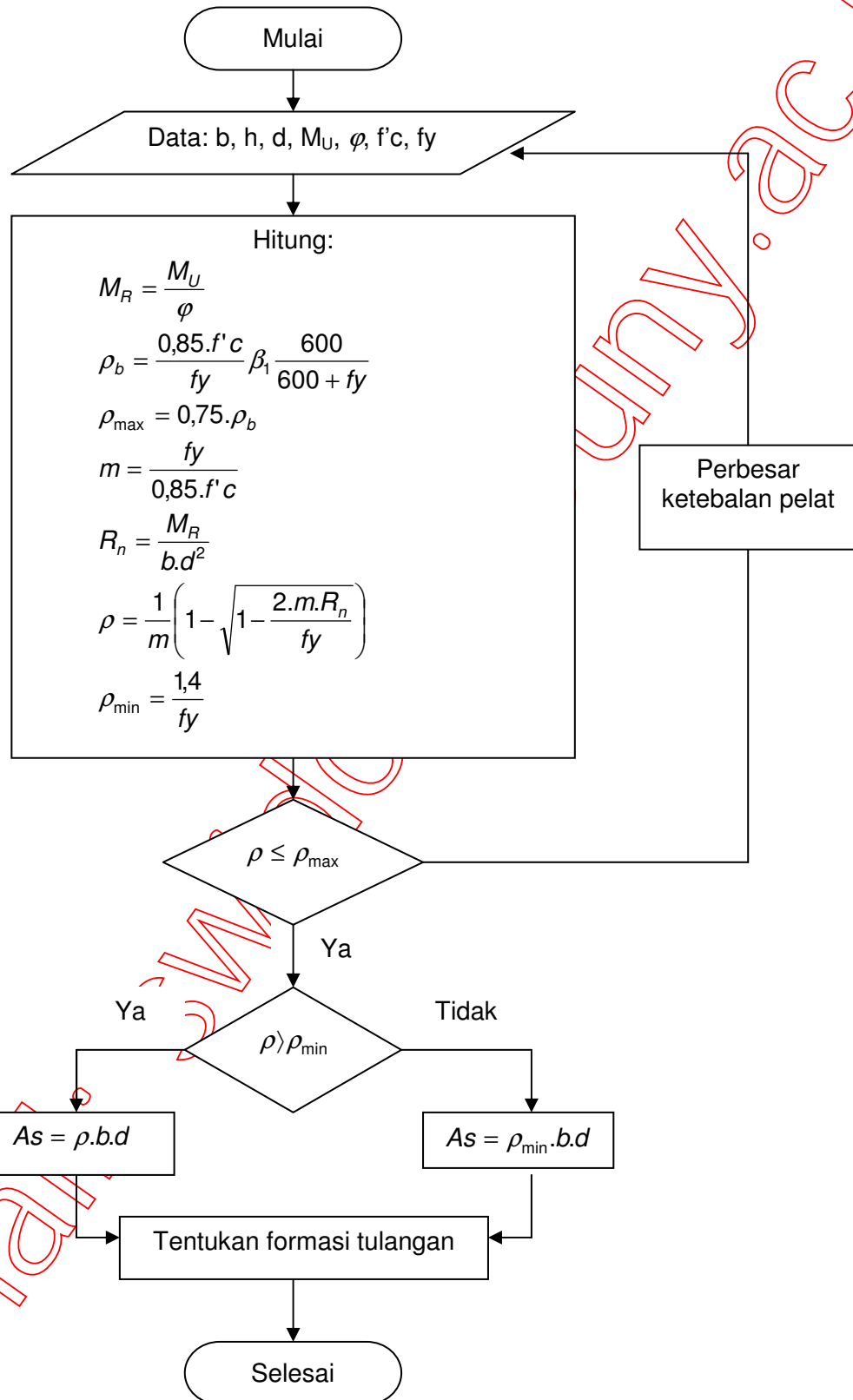
### C. Perencanaan Tulangan Lentur



**Gambar 3-3** Langkah-Langkah Perencanaan Tulangan Pelat Lentur

Perencanaan elemen struktur pelat lentur dapat dijabarkan dalam beberapa tahap perhitungan berikut:

1. Berdasarkan denah bangunan dan fungsi pelat, dapat ditentukan bentang memanjang ( $l_y$ ), bentang melintang ( $l_x$ ), beban mati ( $W_{DL}$ ) dan beban hidup ( $W_{LL}$ ) yang bekerja,
2. Rasio bentang memanjang dan melintang  $l_y/l_x$  dihitung sebagai dasar penentuan tipe pelat (satu arah atau dua arah),
3. Berdasarkan tipe pelat yang ditentukan pada langkah diatas, selanjutnya dapat dihitung tebal minimum pelat yang dibutuhkan dengan menggunakan Tabel 3-1 untuk pelat satu arah, Persamaan 3-1 atau 3-2 untuk pelat dua arah dengan balok sebagai tumpuan, serta Tabel 3-2 untuk pelat dua arah tanpa balok,
4. Hasil perhitungan tebal pelat selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan berat sendiri pelat (berat per satuan luas),
5. Setelah semua beban yang bekerja dapat diidentifikasi jenis maupun besarnya, selanjutnya dilakukan perhitungan beban terfaktor sesuai dengan kombinasi pembebanan yang berlaku (beban per satuan panjang),
6. Hasil perhitungan beban terfaktor (per satuan panjang) digunakan sebagai masukan (*input*) dalam perhitungan momen perlu ( $M_U$ ) pada bagian lapangan maupun tumpuan (digunakan metode pendekatan), sebagaimana ditunjukkan Gambar 3-1 dan 3-2 untuk pelat satu arah, dan Tabel 3-3 untuk pelat dua arah dengan memperhatikan syarat batas yang harus dipenuhi.
7. Setelah diketahui nilai kuat perlu yang harus dipenuhi ( $M_U$ ), selanjutnya harus dihitung kuat rencana minimal ( $M_R$ ) sebagai dasar perhitungan luas tulangan perlu untuk setiap satuan lebar yang diusahakan terpasang pada satu sisi atau dikenal dengan istilah tulangan tunggal (*single reinforced*) pada setiap segmen, dengan langkah perhitungan yang ditunjukkan pada Gambar 3-4.
8. Hasil perhitungan luas tulangan perlu disesuaikan dengan ketentuan spasi penulangan untuk pelat, dan selanjutnya harus dinyatakan dalam bentuk gambar detail dengan mencantumkan formasi tulangan yang menunjukkan ukuran dan jarak tulangan terpasang.



**Gambar 3-4** Diagram Alir Perencanaan Luas Tulangan Pelat

Perencanaan luas tulangan perlu untuk panel pelat lentur pada setiap segmen (lapangan dan tumpuan dalam arah sumbu x untuk pelat satu arah, serta lapangan dan tumpuan dalam arah sumbu x dan y untuk pelat dua arah) dapat dijabarkan dalam beberapa tahap perhitungan berikut:

1. Hitung kebutuhan tulangan untuk setiap satuan lebar pelat (biasanya per meter

lebar), dengan tinggi efektif  $d = h - s - \frac{\phi}{2}$

dimana  $d$  = tinggi efektif

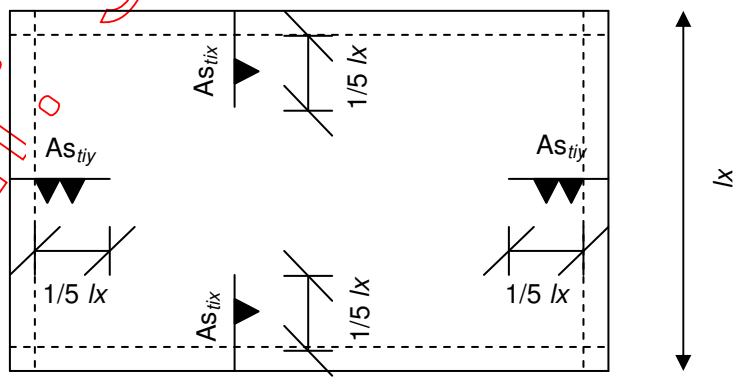
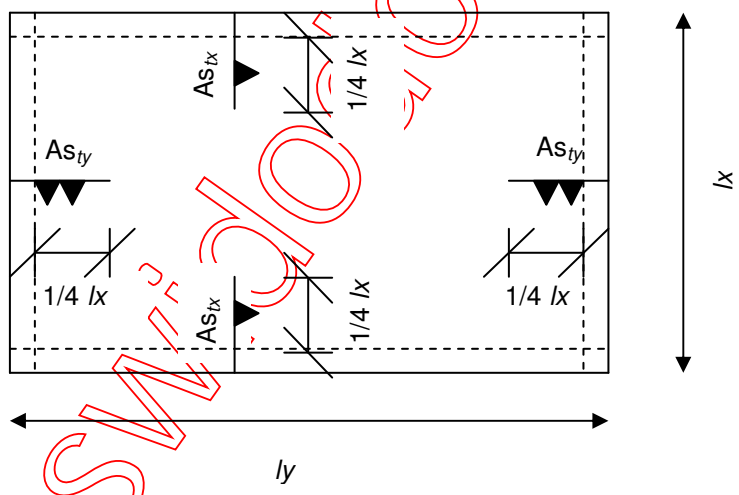
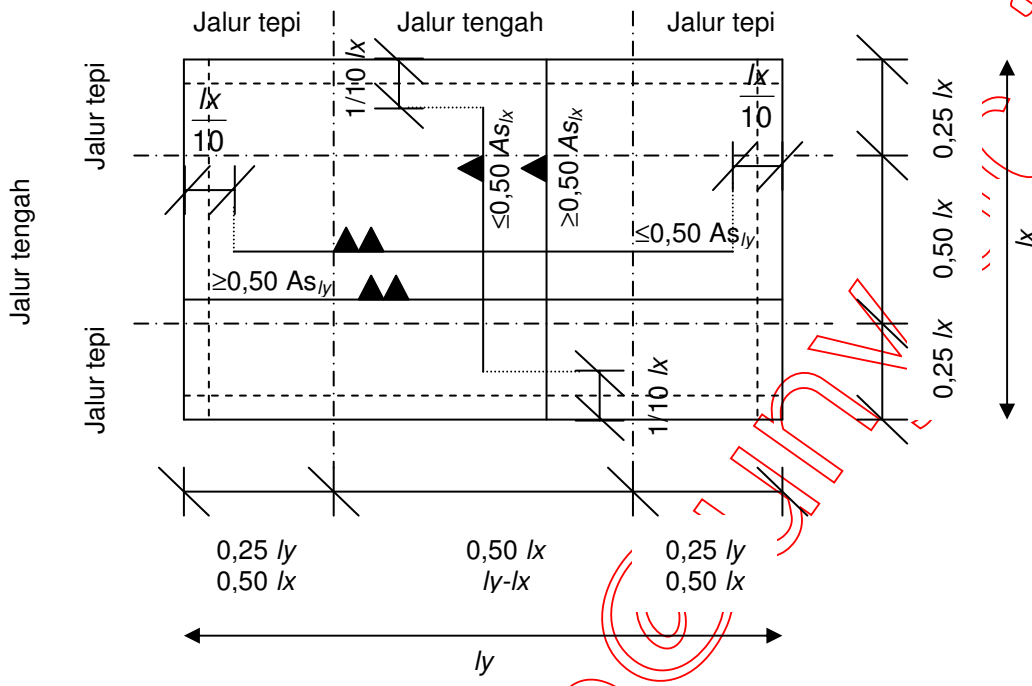
$h$  = tebal pelat

$s$  = tebal selimut beton

$\phi$  = diameter tulangan

2. Hitung batasan rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ ) dan minimum ( $\rho_{\min}$ )
3. Hitung rasio tulangan perlu ( $\rho_{\text{perlu}}$ )
4. Jika  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$  lanjutkan dengan menghitung  $A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$ , tetapi jika  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$  hitung  $A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$ , dan jika  $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\max}$  maka tebal pelat harus diperbesar
5. Untuk pelat satu arah, harus dihitung kebutuhan pemasangan tulangan susut dan suhu (dalam arah sumbu y) paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:
  - a. Pelat dengan batang tulangan ulir mutu 300, disyaratkan rasio tulangan susut minimum 0,0020,
  - b. Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) mutu 400, disyaratkan rasio tulangan susut minimum 0,0018,
  - c. Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35%, disyaratkan minimum  $0,0018 \times 400 / f_y$ ,
  - d. Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau 500 mm.

6. Tentukan formasi tulangan dan cantumkan dalam gambar detail, dengan ketentuan diantaranya:
- Masing-masing panel pelat harus dibagi menjadi jalur-jalur (tepi dan tengah) seperti ditunjukkan pada Gambar 3-5,
  - Jalur tengah dalam arah-y mempunyai lebar  $0,50 l_x$  dan kedua lajur tepi masing-masing mempunyai lebar  $0,25 l_x$ ,
  - Kedua jalur tepi dalam arah-x mempunyai lebar  $0,25 l_y$  atau  $0,50 l_x$ , tergantung dari mana yang lebih kecil (untuk  $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$ , sisanya terdapat pada jalur tengah  $0,50 l_y$  atau  $(l_y - l_x)$ ),
  - Tulangan lapangan pada jalur tepi tidak boleh kurang dari setengah tulangan lapangan pada jalur tengah disebelahnya dan harus menerus tanpa berkurang hingga melewati muka tumpuan,
  - Jarak antara batang tidak boleh lebih dari 250 mm,
  - Tulangan lapangan pada jalur-jalur tengah boleh disesuaikan dengan bentuk momen lentur, dengan syarat sekurang-kurangnya setengah dari tulangan harus menerus melewati bidang muka tumpuan, atau secara praktis setengah dari tulangan lapangan dapat ditiadakan sejarak  $\frac{1}{10} l_x$  sebelum mencapai muka tumpuan,
  - Tulangan untuk melawan momen tumpuan pada jalur tepi tidak boleh dikurangi, dan harus menerus hingga jarak dari muka tumpuan tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{4} l_x$  (baik dalam arah-x maupun arah-y, dengan menganggap  $l_x$  sebagai bentang arah-x terbesar dari dua panel yang bersebelahan).
  - Untuk momen jepit tak terduga harus dipasang menerus hingga jarak dari muka tumpuan tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{5} l_x$  (baik dalam arah-x maupun arah-y).



Gambar 3-5 Skema Ketentuan Detail Penulangan

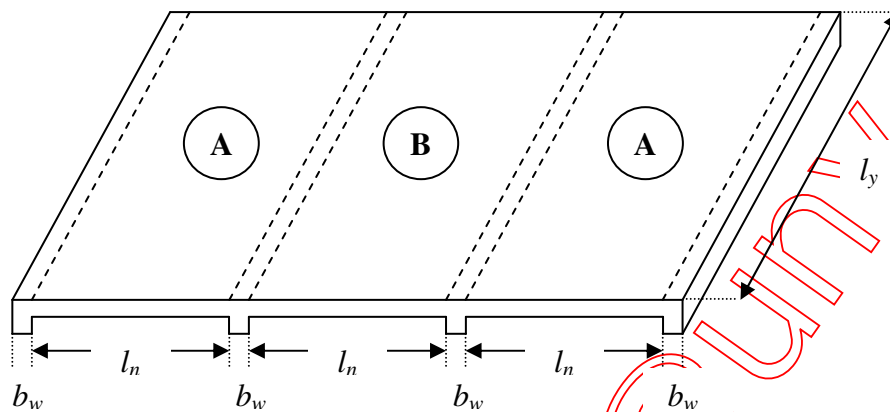
Email: SW@id.com



## D. Contoh-Contoh Aplikasi

### Contoh 3-1

Rencanakan penulangan pelat tergambar di bawah ini, jika diketahui:



Bentang bersih arah-x ( $l_n$ )	= 3,25 m
Bentang teoritis (as-as) arah-y ( $l_y$ )	= 8 m
Kuat tekan karakteristik beton ( $f'_c$ )	= 25 MPa
Kuat leleh baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
Fungsi bangunan	= ruang kuliah
Lebar tumpuan ( $b_w$ )	= 30 cm
Tumpuan ujung	= jepit sempurna

Penyelesaian: (Cara perencanaan sesuai bagan alir pada Gambar 3-3)

Hitung bentang teoritis arah-x dihitung sebagai jarak dari pusat ke pusat tumpuan

$$l_x = l_n + 2 \times \frac{b_w}{2} = 3250 + 2 \times \frac{300}{2} = 3550 \text{ mm}$$

Periksa jenis pelat menurut rasio bentang terpanjang dan terpendek

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{8000}{3550} = 2,2535 > 2 \text{ maka tergolong pelat satu arah}$$

Hitung ketebalan pelat (Tabel 3-1)

Untuk panel pelat tipe A

$$h_{\min} = \frac{l_x}{24} = \frac{3550}{24} = 147,9167 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Untuk panel pelat tipe B

$$h_{\min} = \frac{l_x}{28} = \frac{3550}{28} = 126,7857 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm}$$

Maka ditetapkan ketebalan pelat ( $h$ ) = 150 mm

Hitung beban layan

- Untuk jenis beban mati
 

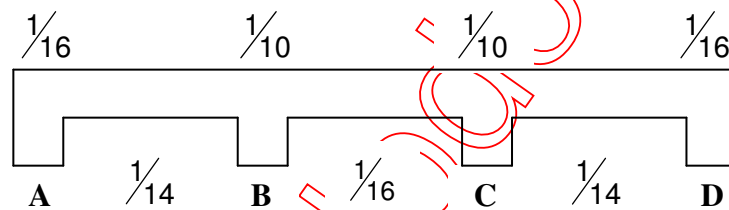
Penutup lantai (tegel)	= 24 x 1	= 24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi	= 21 x 2	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Pasir urug	= 1600 x 0,03	= 48 kg/m <sup>2</sup>
Berat sendiri pelat	= 2400 x 0,15	= 360 kg/m <sup>2</sup>
Plafon dan penggantung		= 18 kg/m <sup>2</sup>
Beban mati total (W <sub>DL</sub> )		= 496 kg/m <sup>2</sup>
- Untuk jenis beban hidup
 

Fungsi bangunan sebagai ruang kuliah	= 250 kg/m <sup>2</sup>
--------------------------------------	-------------------------

Besaran beban terfaktor per-m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 W_u &= 1,2 \cdot W_{DL} + 1,6 \cdot W_{LL} \\
 &= 1,2 \cdot 492 + 1,6 \cdot 250 \\
 &= 990,4 \text{ kg/m}^2 \approx 1000 \text{ kg/m}^2 = 10 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Hitung momen nominal perlu per-meter lebar (ketentuan pada bagian B.1 dan Gambar 3-1 dan 3-2)



Nilai-nilai momen yang menentukan:

- Bagian tumpuan

$$M_A = M_D = \frac{1}{16} \cdot W_u \cdot l_x^2 = \frac{1}{16} \cdot 10 \cdot 3,55^2 = 7,8765 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_C = \frac{1}{10} \cdot W_u \cdot l_x^2 = \frac{1}{10} \cdot 10 \cdot 3,55^2 = 12,6025 \text{ kN.m}$$

- Bagian lapangan

$$M_{AB} = M_{CD} = \frac{1}{14} \cdot W_u \cdot l_x^2 = \frac{1}{14} \cdot 10 \cdot 3,55^2 = 9,0018 \text{ kN.m}$$

$$M_{BC} = \frac{1}{16} \cdot W_u \cdot l_x^2 = \frac{1}{16} \cdot 10 \cdot 3,55^2 = 7,8765 \text{ kN.m}$$

Hitung penulangan lentur (sesuai bagan alir pada Gambar 3-3)

Tinggi efektif balok ( $d$ ):

$$d = h - s - \frac{\phi}{2} = 150 - 30 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

▪ **Daerah tumpuan A dan D**

$$Mu = 7,8765 \text{ kN.m} = 7,8765 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{7,8765 \times 10^6}{0,8} = 9,8456 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \beta_1 \left( \frac{600}{600 + fy} \right); \text{ karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka:}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$Rn = \frac{Mn_{\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{9,8456 \times 10^6}{1000 \cdot 115^2} = 0,7445$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 0,7445}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0019$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0019 < \rho_{\text{max}} = 0,0203; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0019 < \rho_{\text{min}} = 0,0035; \text{ maka diperlukan luas tulangan minimum}$$

Luas tulangan perlu

$$As = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 115 = 402,5 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-200 = 471,239 \text{ mm}^2 > 402,5 \text{ mm}^2$$

▪ **Daerah tumpuan B dan C**

$$Mu = 12,6025 \text{ kN.m} = 12,6025 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{12,6025 \times 10^6}{0,8} = 15,7531 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \beta_1 \left( \frac{600}{600 + fy} \right); f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka } \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$Rn = \frac{Mn_{perlu}}{b.d^2} = \frac{15,7531 \times 10^6}{1000.115^2} = 1,1912$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2.m.Rn}{fy} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2.18,8235.1,1912}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0031$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$\rho = 0,0031 < \rho_{max} = 0,0203$  ; maka digunakan tulangan tunggal

$\rho = 0,0031 < \rho_{min} = 0,0035$  ; maka diperlukan luas tulangan minimum

Luas tulangan perlu

$$As = \rho_{min}.b.d = 0,0035.1000.115 = 402,5 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-200 = 471,239 \text{ mm}^2 > 402,5 \text{ mm}^2$$

#### ▪ Daerah lapangan A-B dan C-D

$$Mu = 9,0018 \text{ kN.m} = 9,0018 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{perlu} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{9,0018 \times 10^6}{0,8} = 11,2523 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85.f'c}{fy} \cdot \beta_1 \left( \frac{600}{600 + fy} \right) ; f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka } \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85.25}{400} \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{fy}{0,85.f'c} = \frac{400}{0,85.25} = 18,8235$$

$$Rn = \frac{Mn_{perlu}}{b.d^2} = \frac{11,2523 \times 10^6}{1000.115^2} = 0,8508$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2.m.Rn}{fy} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2.18,8235.0,8508}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0022$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$\rho = 0,0022 < \rho_{max} = 0,0203$  ; maka digunakan tulangan tunggal

$\rho = 0,0022 < \rho_{min} = 0,0035$  ; maka diperlukan luas tulangan minimum

Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 115 = 402,5 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-200 = 471,239 \text{ mm}^2 > 402,5 \text{ mm}^2$$

#### ▪ Daerah lapangan B-C

$$M_u = 7,8765 \text{ kN.m} = 7,8765 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = M_{n_{\text{perlu}}} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7,8765 \times 10^6}{0,8} = 9,8456 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right); f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka } \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$R_n = \frac{M_{n_{\text{perlu}}}}{b \cdot d^2} = \frac{9,8456 \times 10^6}{1000 \cdot 115^2} = 0,7445$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 0,7445}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0019$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0019 < \rho_{\max} = 0,0203; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0019 < \rho_{\min} = 0,0035; \text{ maka diperlukan luas tulangan minimum}$$

Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 115 = 402,5 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-200 = 471,239 \text{ mm}^2 > 402,5 \text{ mm}^2$$

#### ▪ Tulangan pembagi (arah-y)

Rasio tulangan susut minimum 0,0018, karena digunakan tulangan ulir mutu 400

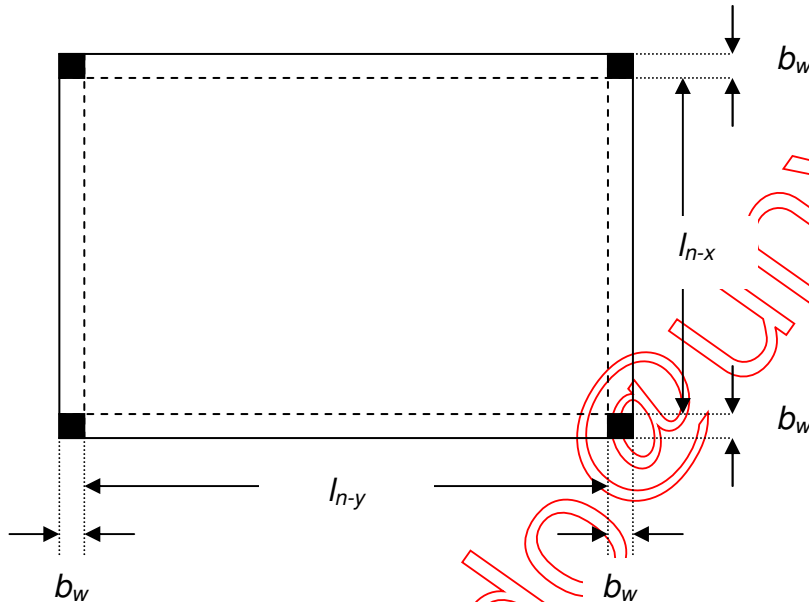
$$\begin{aligned} A_s &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 150 \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipasang tulangan pembagi:

$$D10-250 = 314,1593 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$$

### Contoh 3-2

Rencanakan penulangan pelat yang hanya ditumpu empat buah kolom, seperti tergambar di bawah ini, jika diketahui:



- Bentang bersih arah-x ( $l_{n-x}$ ) = 4,7 m
- Bentang bersih arah-y ( $l_{n-y}$ ) = 5,7 m
- Kuat tekan karakteristik beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa
- Kuat leleh baja ( $f_y$ ) = 400 MPa
- Fungsi bangunan = ruang kantor
- Dimensi balok = 300 mm x 500 mm
- Balok pada keempat sisi ditumpu kolom pada setiap sudutnya

Penyelesaian: (Cara perencanaan sesuai bagan alir pada Gambar 3-3)

Hitung bentang teoritis arah-x dihitung sebagai jarak dari pusat ke pusat tumpuan

$$l_x = l_n + 2x \frac{b_w}{2} = 4700 + 2x \frac{300}{2} = 5000 \text{ mm}$$

Hitung bentang teoritis arah-y dihitung sebagai jarak dari pusat ke pusat tumpuan

$$l_y = l_n + 2x \frac{b_w}{2} = 5700 + 2x \frac{300}{2} = 6000 \text{ mm}$$

Periksa jenis pelat menurut rasio bentang terpanjang dan terpendek

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{6000}{5000} = 1,20 < 2 \quad \text{maka tergolong pelat dua arah}$$

Hitung ketebalan pelat

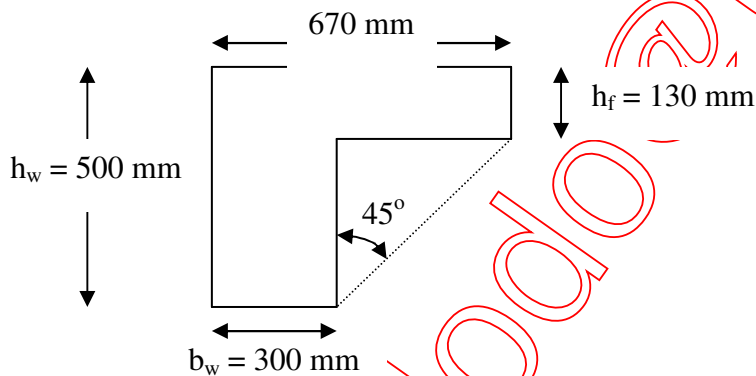
Karena nilai  $\alpha_m$  belum diketahui maka dilakukan pendekatan dengan Persamaan (3-2), dimana diasumsikan  $\alpha_m > 2$

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$\beta = \frac{l_{n-y}}{l_{n-x}} = \frac{5700}{4700} = 1,2128$$

$$h = \frac{5700 \left( 0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 9 \cdot 1,2128} = 129,5955 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan taksiran awal tebal pelat 130 mm



Periksa lebar efektif sayap (*flens*) yang dianggap menyumbang kekakuan balok

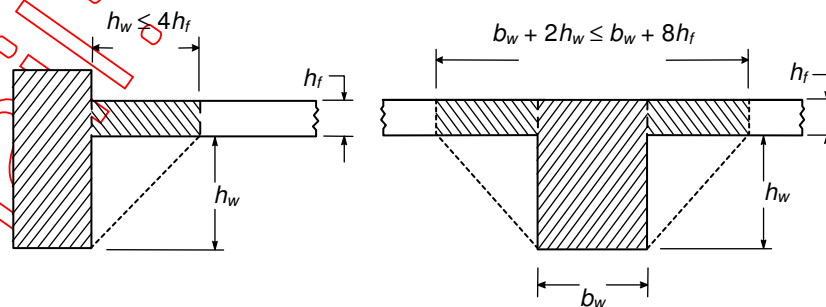
$$(h_w - h_f) < 4 \cdot h_f$$

$$(500 \text{ mm} - 130 \text{ mm}) < 4 \cdot 130 = 520 \text{ mm}$$

maka ditetapkan  $b = 670 \text{ mm}$

*Catatan:*

Batasan maksimum lebar efektif sayap (*flens*) yang dianggap menyumbang kekakuan balok pada bagian eksterior dan interior ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Hitung momen inersia balok

$$y = \frac{(435 \times 670 \times 130) + (185 \times 300 \times 370)}{(670 \times 130) + (300 \times 370)} = 294,9192 \text{ mm}$$

$$I_b = \left( \frac{1}{12} \cdot 670 \cdot 130^3 \right) + (670 \cdot 130 \cdot (435 - 294,9192)^2) +$$

$$\left( \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 370^3 \right) + (300 \cdot 370 \cdot (185 - 294,9192)^2)$$

$$= 4439249541 \text{ mm}^4$$

Hitung rasio kekakuan balok-pelat

- Untuk arah memanjang bangunan

$$I_{b1} = I_b$$

$$I_{p1} = \frac{1}{12} \cdot 6000 \cdot 130^3 = 1098500000 \text{ mm}^4$$

$$E_{cb} = E_{cp} = E_c$$

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_{p1}} = \frac{4439249541}{1098500000} = 4,0412$$

- Untuk arah memanjang bangunan

$$I_{b2} = I_b$$

$$I_{p2} = \frac{1}{12} \cdot 5000 \cdot 130^3 = 915416666,7 \text{ mm}^4$$

$$E_{cb} = E_{cp} = E_c$$

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_{p1}} = \frac{4439249541}{915416666,7} = 4,8494$$

Hitung rasio kekakuan rata-rata

$$\alpha_m = \frac{(2 \times 4,0412 + 2 \times 4,8494)}{4} = 4,4453 > 2$$

Karena  $\alpha_m > 2$  maka asumsi yang digunakan benar sehingga tetap digunakan tebal pelat 130 mm

Hitung beban layan

- Untuk jenis beban mati

$$\text{Penutup lantai (tegel)} = 24 \times 1 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 21 \times 2 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pasir urug} = 1600 \times 0,03 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat sendiri pelat} = 2400 \times 0,13 = 312 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban mati total (W}_{DL}) = 444 \text{ kg/m}^2$$

- Untuk jenis beban hidup

$$\text{Fungsi bangunan sebagai ruang kuliah} = 250 \text{ kg/m}^2$$

Besaran beban terfaktor per- $\text{m}^2$



$$\begin{aligned}
 W_u &= 1,2.W_{DL} + 1,6.W_{LL} \\
 &= 1,2.444 + 1,6.250 \\
 &= 932,8 \frac{kg}{m^2} \approx 950 \frac{kg}{m^2} = 9,5 \frac{kN}{m^2}
 \end{aligned}$$

Nilai-nilai momen yang menentukan menggunakan Tabel 3-3 tergolong kasus I dengan  $l_y/l_x = 1,2$

- Bagian lapangan

$$\begin{aligned}
 M_{l_x} &= 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot x \\
 &= 0,001 \cdot 9,5 \cdot 5^2 \cdot 54 = 12,825 kN.m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{l_y} &= 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot x \\
 &= 0,001 \cdot 9,5 \cdot 5^2 \cdot 35 = 8,3125 kN.m
 \end{aligned}$$

- Bagian tumpuan

$$M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx} = \frac{1}{2} \cdot 12,825 = 6,4125 kN.m$$

$$M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly} = \frac{1}{2} \cdot 8,3125 = 4,1563 kN.m$$

Hitung penulangan lentur

- Daerah lapangan arah-x

Tinggi efektif balok ( $d$ ):

$$d = h - s - \frac{\phi}{2} = 130 - 25 - \frac{10}{2} = 100 mm$$

$$Mu = 12,825 kN.m = 12,825 \times 10^6 N.mm$$

$$M_R = Mn_{perlu} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{12,825 \times 10^6}{0,8} = 16,0313 \times 10^6 N.mm$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right); \quad \text{karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka:}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$Rn = \frac{Mn_{perlu}}{b \cdot d^2} = \frac{16,0313 \times 10^6}{1000 \cdot 100^2} = 1,60313$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 1,60313}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0042$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0042 < \rho_{\max} = 0,0203 ; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0042 > \rho_{\min} = 0,0035 ; \text{ memenuhi syarat}$$

Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0042 \cdot 1000 \cdot 100 = 417,1612 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-200 = 471,239 \text{ mm}^2 > 417,1612 \text{ mm}^2$$

#### ▪ Daerah lapangan arah-y

Tinggi efektif balok ( $d$ ):

$$d = h - s - \phi_x - \frac{\phi}{2} = 130 - 25 - 10 - \frac{10}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$M_u = 8,3125 \text{ kN.m} = 8,3125 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = M_{n_{\text{perlu}}} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8,3125 \times 10^6}{0,8} = 10,3906 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) ; \text{ karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka:}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$R_n = \frac{M_{n_{\text{perlu}}}}{b \cdot d^2} = \frac{10,3906 \times 10^6}{1000 \cdot 90^2} = 1,2828$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 1,2828}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0033$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0033 < \rho_{\max} = 0,0203 ; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0033 < \rho_{\min} = 0,0035 ; \text{ maka diperlukan luas tulangan minimum}$$

Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 90 = 315 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-250 = 314,1593 \text{ mm}^2 \approx 315 \text{ mm}^2$$

▪ **Daerah tumpuan arah-x**

Tinggi efektif balok ( $d$ ):

$$d = h - s - \frac{\phi}{2} = 130 - 25 - \frac{10}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$Mu = 6,4125 \text{ kN.m} = 6,4125 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{6,4125 \times 10^6}{0,8} = 8,0156 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + fy} \right); \quad \text{karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka:}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$Rn = \frac{Mn_{\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{8,0156 \times 10^6}{1000 \cdot 100^2} = 0,80156$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 0,80156}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0021$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$$\rho = 0,0021 < \rho_{\text{max}} = 0,0203; \text{ maka digunakan tulangan tunggal}$$

$$\rho = 0,0021 < \rho_{\text{min}} = 0,0035; \text{ maka diperlukan luas tulangan minimum}$$

Luas tulangan perlu

$$As = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 100 = 350 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-200 = 471,239 \text{ mm}^2 > 350 \text{ mm}^2$$

▪ **Daerah tumpuan arah-y**

Tinggi efektif balok ( $d$ ):

$$d = h - s - \phi - \frac{\phi}{2} = 130 - 25 - 10 - \frac{10}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$Mu = 4,1563 \text{ kN.m} = 4,1563 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_R = Mn_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{4,1563 \times 10^6}{0,8} = 5,1954 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \left( \frac{600}{600 + fy} \right); \quad \text{karena } f'c = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa, maka:}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,8235$$

$$Rn = \frac{Mn_{\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{5,1954 \times 10^6}{1000 \cdot 90^2} = 0,6414$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{18,8235} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 0,6414}{400} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0016$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Kontrol rasio penulangan perlu

$\rho = 0,0016 < \rho_{\max} = 0,0203$  ; maka digunakan tulangan tunggal

$\rho = 0,0016 < \rho_{\min} = 0,0035$  ; maka diperlukan luas tulangan minimum

Luas tulangan perlu

$$As = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 90 = 315 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan tarik:

$$D10-250 = 314,1593 \text{ mm}^2 \approx 315 \text{ mm}^2$$