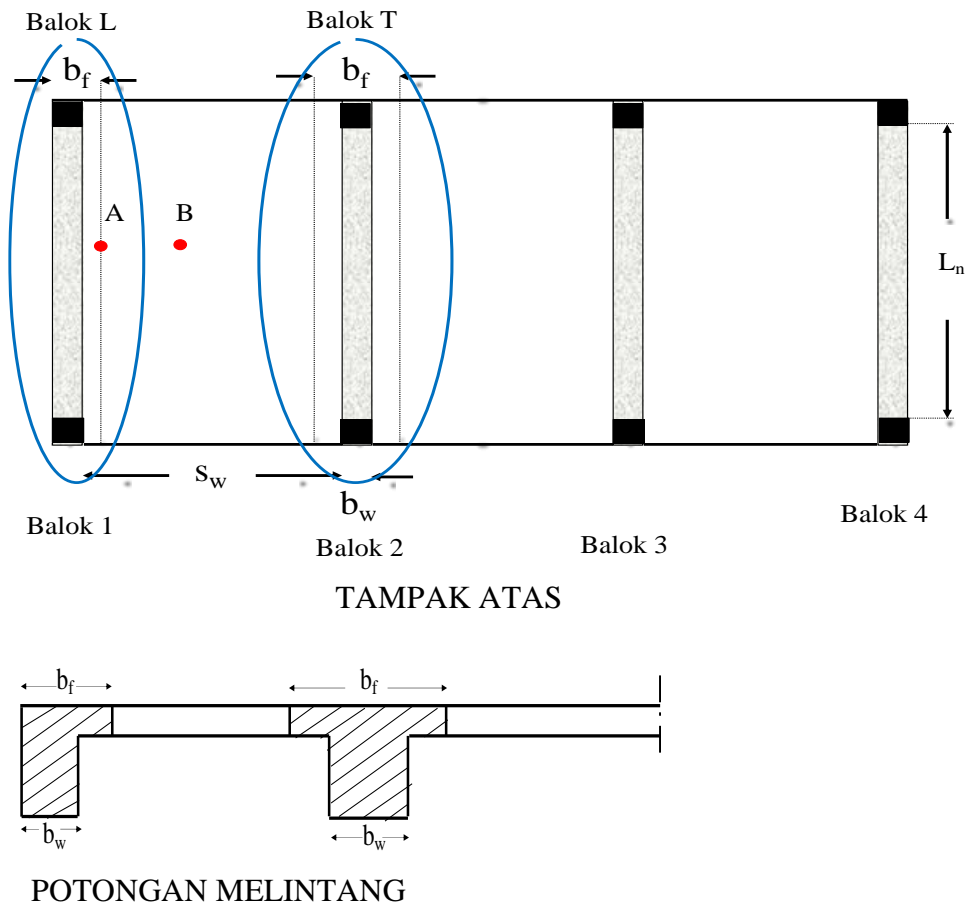


**4.1. PENDAHULUAN**

Pelat biasanya dicor bersama balok menjadi satu kesatuan (monolit). Pasal 6.3.2.1 menyatakan bahwa untuk balok T nonprategang yang dibuat menyatu (monolit) atau pelat komposit terdapat bagian pelat yang memberikan kontribusi pada balok. Posisi pelat di daerah tekan di samping balok yang di cor monolit (titik A) dapat memberikan kontribusi pada balok dalam menahan tekan. Semakin jauh titik di dalam pelat dari balok (B), semakin kecil kontribusinya (Gambar 4.1).



**Gambar 4.1. Balok T dan L**

Pelat yang terletak disebelah menyebelah balok disebut balok T, sedangkan yang ada di satu sisi balok disebut balok L (Gambar 4.1). Lebar pelat yang memberikan kontribusi kepada balok ( $b_f$ ) tergantung keberadaan balok didekatnya (beberapa balok ada dalam satu sistem atau disebut balok tidak terpisah). Keberadaan balok tersebut mempengaruhi kekakuan pelat dalam berkontribusi. Balok yang mandiri atau terpisah, berarti tidak ada balok lain didekatnya; dengan demikian tidak ada dukungan kekakuan.

## 4.2. LEBAR SAYAP EFEKTIF

### 4.2.1. Balok T Tidak Terpisah

Lebar sayap efektif  $b_f$  (Gambar 4.1) harus mencakup lebar badan balok  $b_w$  ditambah lebar efektif sayap yang menjorok sesuai Tabel 6.3.2.1 SNI. Lebar efektif sayap dipengaruhi ketebalan pelat ( $h$ ), jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan adalah  $s_w$ , dan bentang bersih atau  $L_n$  (Gambar 4.1) seperti Tabel 6.3.2.1 SNI [15] atau Tabel 4.1.

**Tabel 4.1. Lebar sayap efektif untuk balok T tidak terpisah**

Lokasi sayap	Lebar efektif sayap di luar penampang balok	
Kedua sisi (balok T)	Sekurangnya	$8h$ $s_w/2$ $L_n/8$
Satu sisi balok (L)	Sekurangnya	$6h$ $s_w/2$ $L_n/12$

$$b_f = b_w + \text{Lebar sayap efektif di luar penampang balok}$$

### 4.2.2. Balok T Terpisah/ Mandiri

Bila balok T merupakan struktur terpisah, dimana sebagian pelat (sayap T) nya dapat digunakan untuk menambah luas daerah tekan, maka Pasal 6.3.2.2 mensyaratkan seperti Tabel 4.2.

**Tabel 4.2. Tebal dan lebar sayap efektif untuk balok T mandiri**

Tebal sayap	$h \geq 0,5 b_w$
Lebar sayap efektif	$b_f \leq 4b_w$

Jika tulangan lentur utama pada pelat dianggap sebagai bagian dari sayap balok-T yang sejajar dengan sumbu memanjang balok, tulangan yang tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok harus disediakan di bagian atas pelat sesuai a) dan b). Ketentuan ini tidak berlaku untuk konstruksi pelat berusuk (Pasal 7.5.2.3).

- Tulangan pelat yang tegak lurus terhadap balok harus dirancang untuk menahan beban terfaktor yang bekerja pada sayap balok T yang diasumsikan bekerja sebagai kantilever
- Hanya lebar efektif sayap balok-T yang sesuai Pasal 6.3.2 yang perlu dipertimbangkan

Ketentuan ini hanya berlaku bila balok-T sejajar dengan bentang pelat satu arah. Tulangan utama pelat dipasang sejajar balok, dan tulangan tegak lurus biasanya dipasang untuk pengaruh suhu dan susut (R7.5.2.3).

### 4.3. BALOK T PALSU

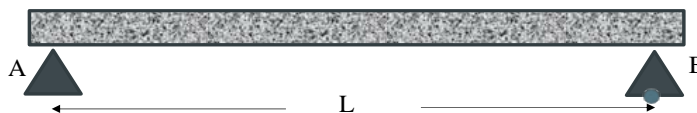
Balok T palsu adalah suatu istilah dimana di lokasi momen positif, didesain sebagai balok T, namun dari pengecekan dengan lebar balok tertekan ( $b_f$ ) sama dengan asumsi awal tinggi tekan  $a$  = tebal pelat, ternyata mendapatkan momen lebih dari momen yang harus ditahan sehingga perhitungan selanjutnya seperti balok biasa.

### 4.4. CONTOH SOAL

#### CONTOH SOAL 1:

DIKETAHUI:

Balok terletak di atas kolom dengan tumpuan sendi-rol (Gambar 4.2). Struktur di daerah pantai, rawan gempa, menahan beban hidup  $65 \text{ KN/m}^2$ , bentang  $9\text{m}$ ,  $h = 600\text{mm}$ ;  $b = 300\text{mm}$ , tebal pelat  $120\text{mm}$ , penutup lantai  $10\text{mm}$ , kolom  $600/600 \text{ (mm)}$ . Di atas balok terdapat dinding dengan tebal  $200 \text{ mm}$ , tinggi dinding  $3\text{m}$ . Mutu bahan  $f_c' 28 \text{ MPa}$ ,  $f_y 400 \text{ MPa}$ , mutu Sengkang  $f_{yt} 240 \text{ MPa}$ . BJ beton  $24 \text{ KN/m}$ , BJ dinding  $20\text{KN/m}^3$ .



Gambar 4.2. Balok di atas tumpuan sendi-rol

SOAL: Hitung dan gambar tulangan balok

PENYELESAIAN:

Karena terletak di pantai, maka tebal selimut  $40\text{mm}$  (Pasal 20.6.1)

Sengkang dianggap D10

Dengan asumsi D 19, terpasang 1 baris, maka tinggi efektif

$$d = h - \text{selimut} - \text{sengkang} - 0,5 D = 600 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 19 = 540,5 \text{ mm}$$

Faktor reduksi  $\phi$  diasumsikan  $0,9$

Spasi antar tulangan  $25 \text{ mm}$

#### 1. Pemeriksaan lendutan

Pasal 9.3.1.1: tinggi balok minimum tanpa perhitungan lendutan, tumpuan sederhana

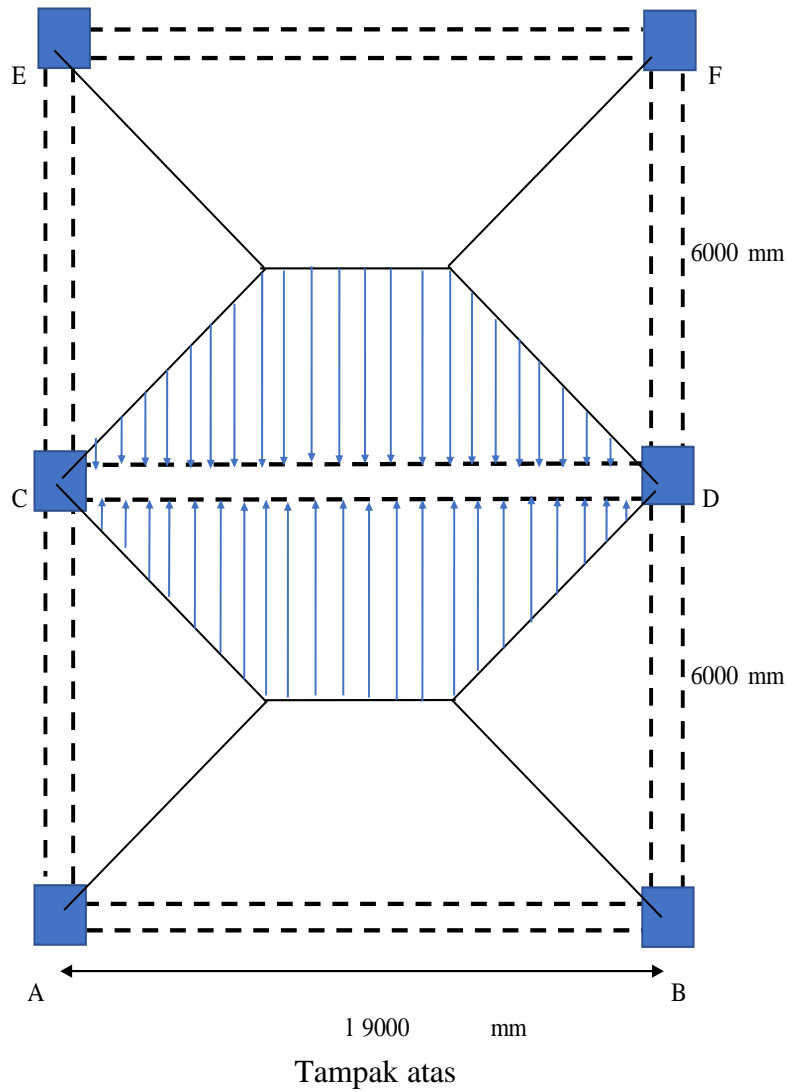
$$h_{\min} = l/16 = 9000/16 = 562,5 \text{ mm}$$

Dengan  $h = 600\text{mm}$  maka sudah aman terhadap lendutan

#### 2. Transfer beban pelat ke balok

Beban pelat ditransfer ke balok seperti Gambar 4.3.

Balok dengan beban terbesar adalah balok C-D. Beban pelat yang ditanggung oleh balok C-D berbentuk trapezium sebanyak 2 buah sebelah menyebelah.

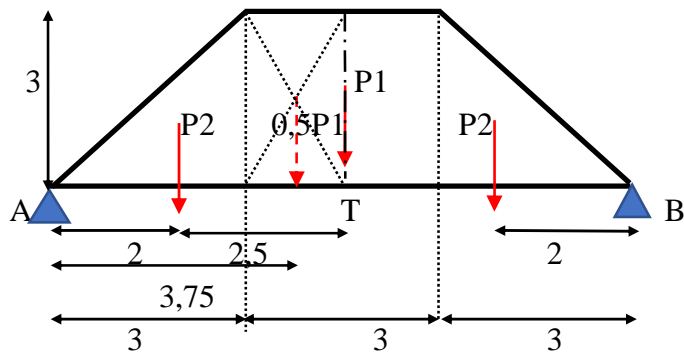


**Gambar 4.3. Transfer beban pelat ke balok**

Beban pelat trapezium tersebut diubah menjadi beban terbagi rata ekuivalen ( $q_{ek}$ ). Dasar penentuan  $q_{ek}$  adalah:

$$\begin{aligned} M_{\max q_{ek}} &= M_{\max \text{ sesungguhnya}} \\ \frac{1}{8} q_{ek} l^2 &= M_{\max \text{ sesungguhnya}} \end{aligned}$$

Beban sesungguhnya dari 1 trapezium



**Gambar 4.4. Beban trapezium menjadi beban titik**

Trapezium tersebut dibagi menjadi bentuk segitiga dan empat persegi panjang. q adalah beban mati atau beban hidup per m persegi

Bentuk	Beban	Luas (m <sup>2</sup> )	P= luas.q (KN)
Empat persegi panjang	P <sub>1</sub>	(9-3.2)3	9 q
Segitiga	P <sub>2</sub>	0,5.3.3	4,5 q

$$R_A = R_B = 0,5 P_1 + P_2 = (0,5.9 + 4,5) q = 9 q$$

M max sesungguhnya terletak di T

$$M_{Tq} \text{ sesungguhnya} = R_A \cdot 4,5 - P_2 \cdot 2,5 - 0,5 P_1 \cdot (3/4) \\ = (9 \cdot 4,5 - 4,5 \cdot 2,5 - 4,5 \cdot 0,75) q$$

$$M_{Tq} \text{ sesungguhnya} = 25,875 q \text{ KNm}$$

M max beban q<sub>ek</sub> terletak di T

$$M_{Tq_{ek}} = 1/8 q_{ek} l^2 = 1/8 \cdot 9^2 \cdot q_{ek} = 10,125 q_{ek}$$

Persamaan:

$$M_{Tq_{ek}} = M_{Tq} \text{ sesungguhnya}$$

$$10,125 q_{ek} = 25,875 q$$

$$q_{ek \text{ 1 trapezium}} = 2,56 q$$

$$q_{ek \text{ 2 trapezium}} = 5,11 q$$

Pengolahan Beban:

a. Beban mati dan hidup dari pelat

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat: tebal pelat. BJ beton} = 0,12 \cdot 24 = 2,88 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Berat penutup lantai: tebal penutup lantai. BJ beton} = 0,01 \cdot 24 = 0,24 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban mati lain} = 0,38 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{D pelat} = 3,5 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{L pelat} = 65 \text{ KN/m}^2$$

Diubah ke q<sub>ek</sub>:

$$q_{ek \text{ D pelat}} = 5,11 \text{ D pelat} = 5,11 \cdot 3,5 = 17,9 \text{ KN/m}$$

$$q_{ek \text{ L pelat}} = 5,11 \text{ L pelat} = 5,11 \cdot 65 = 332,2 \text{ KN/m}$$

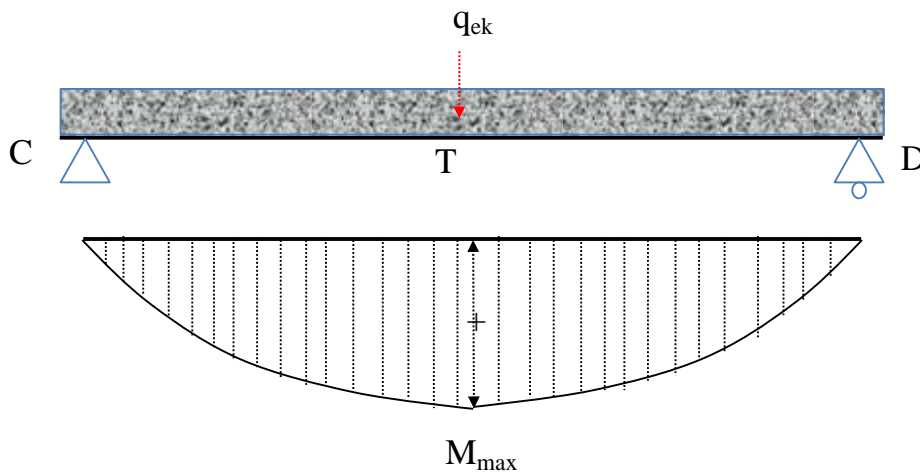
- b. Beban mati balok dan di atas balok  
 Berat sendiri balok = luas penampang balok. BJ= 0,3.0,6.24= 4,32 KN/m  
 Beban dinding = tebal dinding. tinggi. BJ dinding=0,2.3.20 = 1,20 KN/m  
 D balok 5,52 KN/m
- c. Beban mati pelat & balok dan beban hidup  
 $D = D \text{ pelat} + D \text{ balok} = 17,9 + 5,52 = 23,4 \text{ KN/m}$   
 Beban hidup hanya bekerja di pelat, maka  
 $L = q_{ek} L \text{ pelat} = 5,11 \cdot 65 = 332,2 \text{ KN/m}$
- d. Beban perlu  
 Beban utama adalah L, menurut Tabel 5.3.1 SNI 2847-2019  
 $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$   
 Karena bukan atap maka:  
 $U = 1,2 D + 1,6 L = 1,2 \cdot 23,4 + 1,6 \cdot 332,2 = 569 \text{ KN/m}$

### 3. Menghitung momen

Momen positif

$$L_n = l - 2 \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar kolom} = 9 - 2 \cdot 0,6/2 = 8,4 \text{ m}$$

$$M_{\max \text{ pos perlu}} = 1/8 q_{ek} u l^2 = 1/8 \cdot 569 \cdot 8,4^2 = 1\ 672,89 \text{ KNm}$$



**Gambar 4.5. Bidang Momen**

### 4. Desain momen positif

$$M_u = 1\ 672,89 \text{ KNm}; \text{ faktor reduksi dianggap } \phi = 0,9$$

$$M_n \text{ perlu} = M_u / \phi = M_u / 0,9 = 1\ 858,76 \text{ KNm}$$

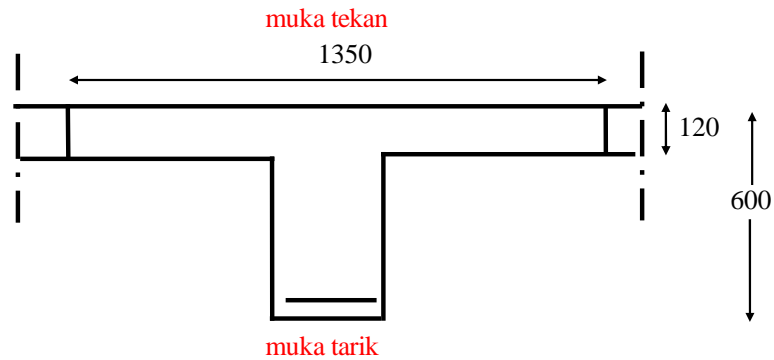
Karena momen positif, maka bagian atas tertekan bagian bawah tertarik. Pelat bagian atas dapat memberikan kontribusi dalam menahan tekan, sehingga balok menjadi balok T dengan dua sisi menerus (balok T).

Jenis balok adalah bukan balok mandiri, dan merupakan balok menerus dua sisi.  
 $s_w$ : jarak bersih antar balok = 6 - 0,6 = 5,4 m

a. Sayap balok

Tabel 6.3.2.1. SNI 2847-2019 menyatakan lebar sayap di luar lebar badan:

$$\begin{aligned}
 6h &= 8 \cdot 600 = 4800 \text{ mm} \\
 s_w/2 &= 5400/2 = 2700 \text{ mm} \\
 l_n/8 &= 8400/8 = 1050 \text{ mm} \\
 \text{diambil nilai yang terkecil} &= 1050 \text{ mm}; \text{ lebar 1 sayap} = 1050/2 = 525 \text{ mm} \\
 b_f &= b + \text{lebar sayap} = 300 + 1050 = 1350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.6. Penampang balok T**

b. Pemeriksaan balok T sebenarnya atau palsu

$$\begin{aligned}
 \text{Dianggap } a &= h_{\text{pelat}} \\
 C &= 0,85 f_c' a b_f = 0,85 f_c' h_{\text{pelat}} b_f = 0,85 \cdot 28 \cdot 120 \cdot 1350 = 3\,855\,600 \text{ N} \\
 \text{Lengan momen } jd &= d - 0,5 h_{\text{pelat}} = 540,5 - 0,5 \cdot 120 = 480,5 \text{ mm} \\
 \text{Momen nominal } &= M_n = C \cdot jd = 3\,855\,600 \cdot 480,5 = 1\,852,6 \text{ KNm} < M_{n \text{ perlu}} \\
 &= 1\,852,6 \text{ KNm} < 1\,858,76 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

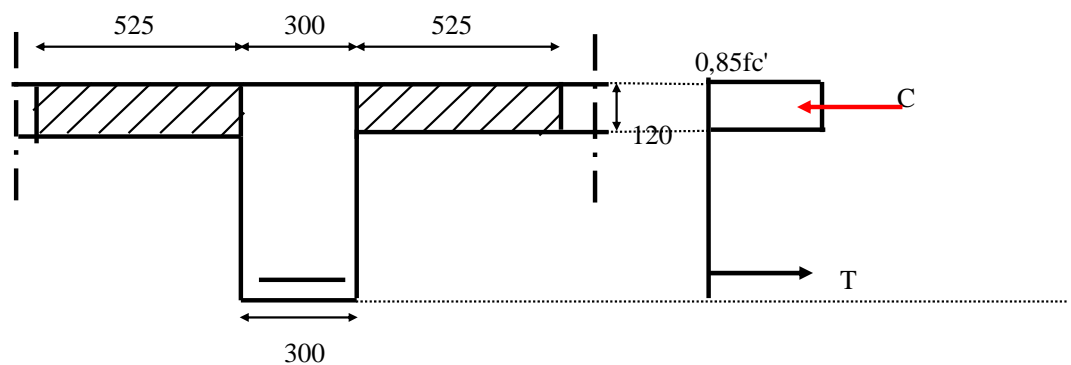
Dengan demikian  $a > h_{\text{pelat}}$ , jadi merupakan balok T

**5. Perhitungan balok T**

Perhitungan balok T dilaksanakan 2 tahap yaitu kontribusi sayap dan badan.

a. Perhitungan kontribusi sayap

Kontribusi sayap dihitung sebagai berikut.



**Gambar 4.7. Penampang balok T bagian sayap di luar badan**

$$C = 0,85 f_c' a (b_f - b_w) = 0,85 f_c' h_{\text{pelat}} (b_f - b_w) = 0,85 \cdot 28 \cdot 120 \cdot (1350 - 300) = 2\,998\,800 \text{ N}$$

$$\text{Lengan momen } jd = d - 0,5 h_{\text{pelat}} = 540,5 - 0,5 \cdot 120 = 480,5 \text{ mm}$$

$$\text{Momen nominal sayap} = M_n \cdot \text{sayap} = C \cdot jd = 2\,998\,800 \cdot 480,5 = 1\,441\,000 \text{ KNm}$$

$$M_n \cdot \text{sayap} = 1\,441\,000 \text{ KNm}$$

$$M_u \cdot \text{sayap} = M_n \cdot \text{sayap} \cdot \phi = 1\,441 \cdot 0,9 = 1\,297 \text{ KNm}$$

$$\text{Momen nominal yang tidak ditahan sayap} = M_n \text{ pos} - M_n \cdot \text{sayap} = 1858,76 - 1\,441 = 418 \text{ KNm}$$

Momen nominal ini ditahan oleh badan balok.

*b. Perhitungan kontribusi badan balok*

Momen yang ditahan badan balok = 418 KNm

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$\epsilon_y = 400 / 200000 = 0,002$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 28} = 16,8$$

$$\rho_{\text{max longitudinal atas maupun bawah}} = 0,025 \text{ Pasal 18.6.3}$$

$$\rho_{\text{max As}} = \rho_{\text{max longitudinal atas maupun bawah}} = 0,025$$

$\rho_{\text{min}}$  adalah nilai terbesar dari persamaan di bawah ini (Pasal 9.6.1.2)

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\text{min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{28}}{400} = 0,003307 \\ \rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \end{aligned} \right\} \rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{418\,000\,000}{300 \cdot 540,5^2} = 4,219 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{16,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1 \cdot 16,8 \cdot 4,219}{400}} \right) = 0,0119 < \rho_{\text{max long}}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0119 \cdot 300 \cdot 540,5 = 1933,05 \text{ mm}^2$$

Dipakai D19

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 D19} &= 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,6 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / \text{luas 1 tulangan} = 1933,05 / 283,6 = 6,8 \text{ buah} \sim 7 \text{ buah} \end{aligned}$$



Pemeriksaan kecukupan tepat bagi tulangan dalam 1 baris:

Ruang untuk tulangan =  $b - 2 \text{ selimut} - 2 \text{ sengkang} = 300 - 2.40 - 2.10 = 200 \text{ mm}$

Ruang untuk 7 D19 =  $7.19 = 133 \text{ mm}$

Ruang untuk spasi =  $200 - 133 = 67 \text{ mm}$

Jarak antar tulangan =  $67 / (\text{jumlah tulangan} - 1) = 11 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$  (tidak OK)

Jadi dibuat 2 baris. Tinggi efektif  $d$  dihitung lagi dengan statis momen ke sisi bawah sebagai berikut:

Posisi	Jumlah tulangan	Uraian	Jarak ke sisi bawah	Statis momen
Lapis 1	5	$40+10+1/2. 19$	59,5	297,5
Lapis 2	4	$40+10+19+25+1/2.19$	103,5	414
	9	y	163	711,5

$$y = 711,5/9 = 79,05 \text{ mm}$$

$$d_2 \text{ baris} = h - y = 600 - 79,05 = 520,95 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{418\,000\,000}{300.520,95^2} = 5,134 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{16,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.16,8.5,134}{400}} \right) = 0,0146 < \rho_{\text{max}}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0146 \cdot 300 \cdot 520,95 = 2\,287,03 \text{ mm}^2$$

$$n = A_s \text{ perlu} / \text{luas 1 tulangan} = 2\,287,03 / 283,6 = 8,06 \text{ buah} \sim 9 \text{ buah}$$

Jumlah sama dengan perhitungan sebelumnya, jadi tidak perlu dihitung lagi.

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ terpasang} = 9 \cdot 283,6 = 2552,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{longitudinal}} = A_s \text{ terpasang} = 2552,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan praktis } 2D12 = 2.0,25.22/7.12^2 = 226,3 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{longitudinal}} = 2552,8 + 226,3 = 2779,1 \text{ mm}^2$$

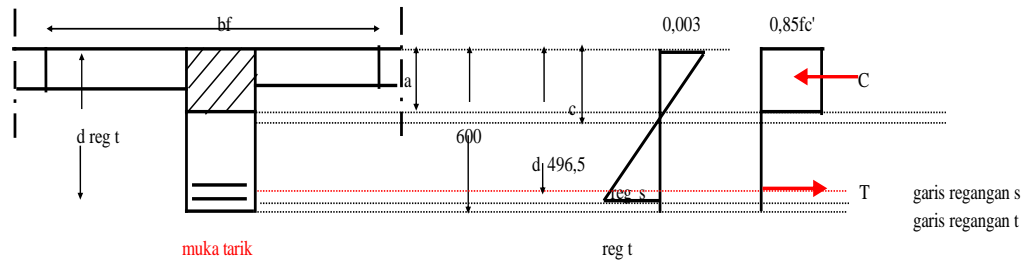
$$\rho_{\text{terpasang longitudinal}} = A_{\text{longitudinal}} / (b \cdot d) = 2\,779,1 / (300.520,95) = 0,01778$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{terpasang}} < \rho_{\text{max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$T_{\text{terpasang}} = A_s \text{ terpasang } f_y = 2552,8 \cdot 400 = 1\,021\,114,3 \text{ N}$$

*Keseimbangan*

$$\begin{aligned}
C &= T \\
0,85 f_c' a b &= A_s f_y \\
0,85 \cdot 28 \cdot 300 a &= 2552,8 \cdot 400 \\
a &= 143,01 \text{ mm} \\
\beta_1 &= 0,85 \text{ (Tabel 22.2.2.4.3)} \\
c &= a/\beta_1 = 168,25 \text{ mm}
\end{aligned}$$



**Gambar 4.8. Penampang balok T bagian badan, regangan dan tegangan**

$$\frac{\epsilon_s}{0,003} = \frac{d - c}{c} = \frac{520,95 - 168,25}{168,25}$$

$\epsilon_s = 0,0063 > \epsilon_y \rightarrow$  jadi tulangan tarik leleh

## 6. Perhitungan regangan t

$$d_{et} = d_{lapis \ ke \ 1}$$

$$d_{et} = h - \text{selimut} - \text{sengkan} - 0,5D = 600 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 19 = 540,5 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon_t}{0,003} = \frac{d_{et} - c}{c} = \frac{540,5 - 168,25}{168,25} = 0,00664$$

$\epsilon_s > 0,005$  sehingga faktor reduksi  $\phi = 0,9$  (Pasal R21.2.2b)

Asumsi awal benar sehingga tidak perlu diubah. Dipasang 9 D19

## 7. Panjang penyaluran

Panjang penyaluran tulangan tarik dipilih yang memakai kait

### Pasal 18.8.5.1

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f_c'}} = \frac{400 \cdot 19}{5,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{28}} \geq 265,975 \text{ mm}$$

### Pasal 25.4.3.1.

$$\left[ \frac{0,24f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b = \left[ \frac{0,24 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1 \sqrt{28}} \right] 19 \geq 344,7 \text{ mm}$$

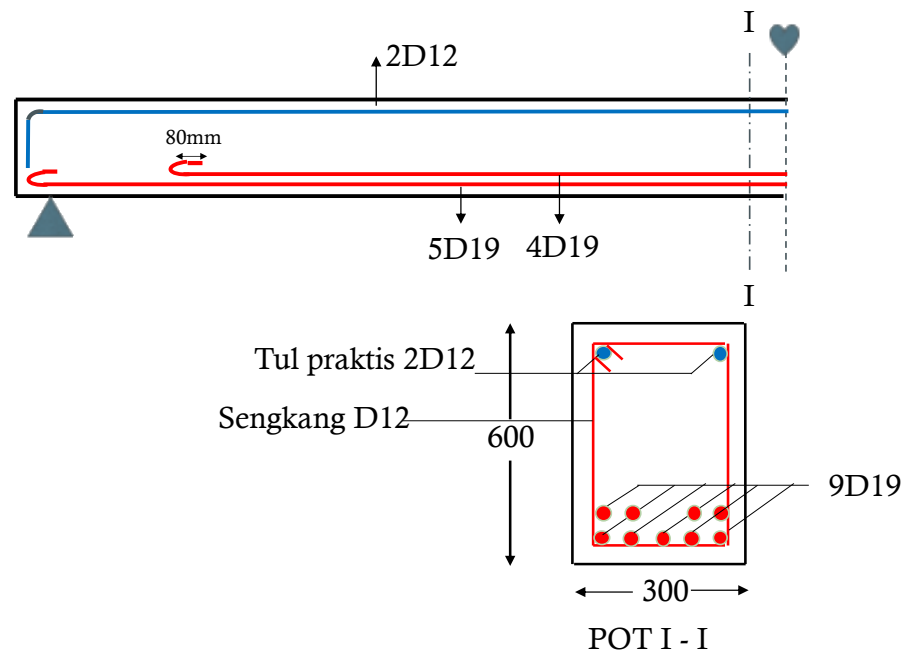
Pasal 18.8.5.1 dan Pasal 25.4.3.1:

$$l_{dh} \geq 8d_b \rightarrow = 8 \cdot 19 \geq 152 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

Dipilih  $l_{dh}$  350 mm

## 8. Penggambaran: tulangan praktis 2 D12



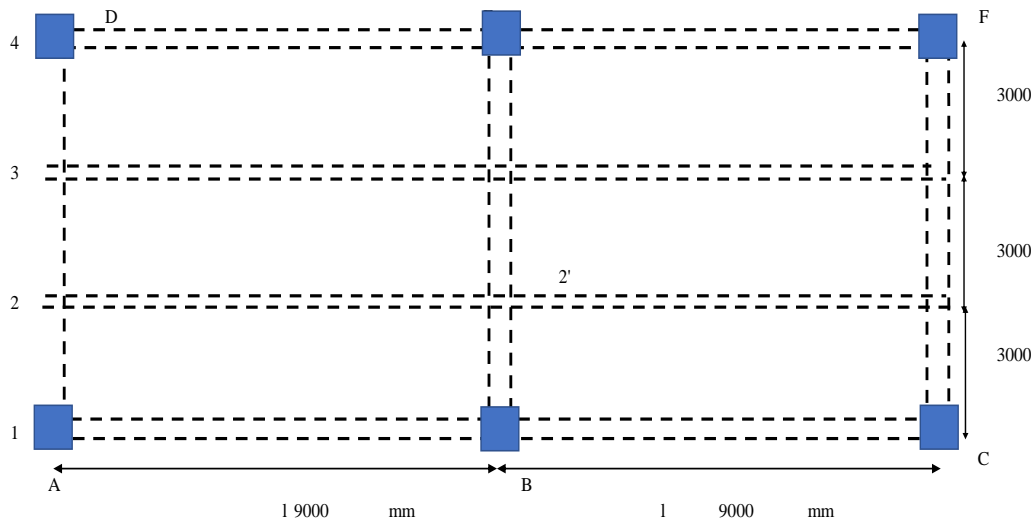
Gambar 4.9. Penulangan

## CONTOH SOAL 2

### METODE PENYEDERHANAAN

#### DIKETAHUI:

Struktur seperti di bawah di daerah pantai dengan gempa menahan beban hidup  $4,6 \text{ KN/m}^2$ . Bentang  $9 \text{ m}$ ,  $h = 600 \text{ mm}$ ;  $b = 300 \text{ mm}$ , tebal pelat  $120 \text{ mm}$ , penutup lantai  $10 \text{ mm}$ , kolom  $600/600 \text{ (mm)}$ . Di atas balok terdapat dinding dengan tebal  $200 \text{ mm}$ , tinggi dinding  $3 \text{ m}$ . Mutu bahan  $f'_c$   $28 \text{ MPa}$ ,  $f_y$   $400 \text{ MPa}$ ,  $f_{yt}$   $240 \text{ MPa}$ . BJ beton  $24 \text{ KN/m}$ , BJ dinding  $20 \text{ KN/m}^3$ .



**Gambar 4.10. Denah pembalokan**

**SOAL:**

Hitung dan gambar tulangan lentur balok ABC

**PENYELESAIAN:**

di daerah pantai, maka selimut 40mm (Pasal 20.6.1).

Faktor reduksi lentur,  $\phi$  dianggap = 0,9 (kondisi leleh, Pasal 21.2.2).

Sengkang dianggap 10mm, tulangan lentur D19 satu baris, maka:

Tinggi efektif  $d = h - \text{selimut} - \text{sengkang} - 0,5D$

Tinggi efektif  $d = 600 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 19 = 540,5 \text{ mm}$

### 1. Tinggi balok tanpa pemeriksaan lendutan

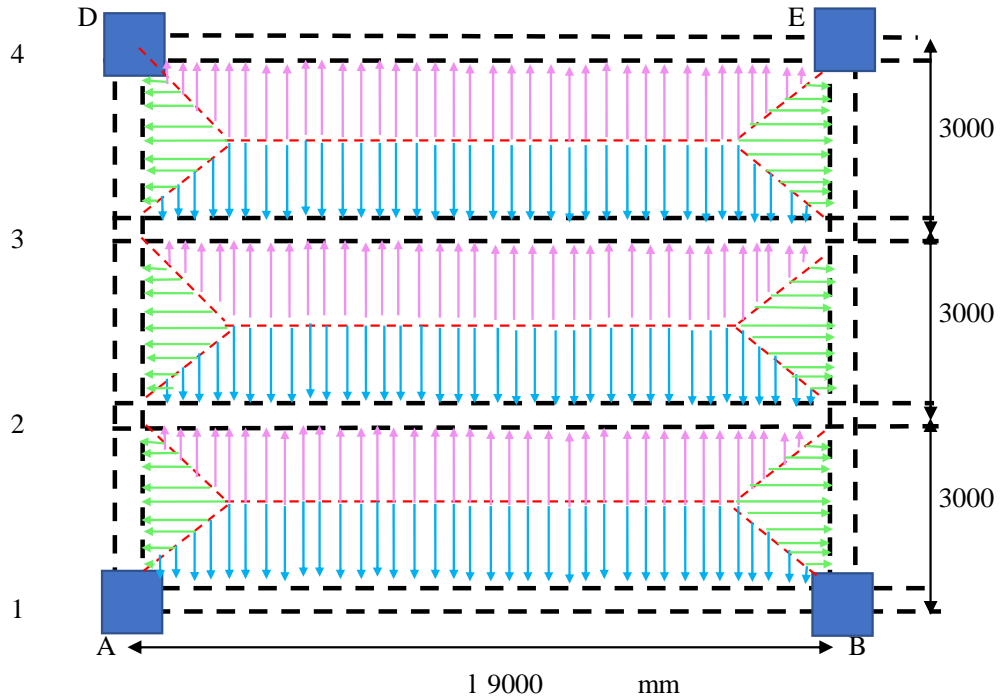
Tinggi balok minimum menerus satu sisi (Pasal 9.3.1.1):

$$h_{\min} = l/18,5 = 486,5 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm} > h_{\min} \text{ ---aman terhadap lendutan}$$

### 2. Distribusi beban pelat ke balok

Distribusi separo bagian disajikan pada Gambar 4.11.

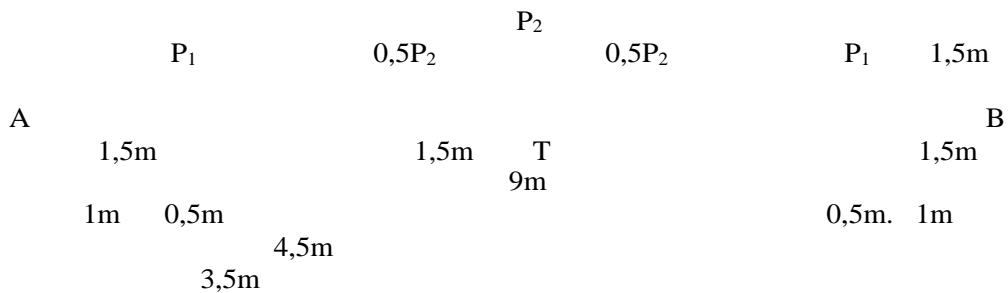


**Gambar 4.11. Distribusi beban pelat ke balok**

Beban pelat yang terdistribusi ke balok AB tidak berbentuk terbagi rata tetapi trapezium. Beban ini dibuat ekuivalen dengan beban terbagi rata dengan berpedoman pada:

$$M_{\max} \text{ ekuivalen beban terbagi rata} = M_{\max} \text{ trapezium}$$

$$\frac{1}{8} \cdot q_{\text{ek}} \cdot L^2 = M_{\max} \text{ trapezium}$$



**Gambar 4.12. Pendekatan beban trapezium pelat sebagai beban titik**

Trapezium pada Gambar 4.12 dibagi menjadi bentuk empat persegi panjang dan segitiga. Beban mati atau beban hidup yang dipikul pelat per  $m^2$  adalah  $q$ .

Bentuk	Beban	Luas ( $m^2$ )	$P = \text{luas} \cdot q$ (KN)
Empat persegi panjang	$P_2$	$9 - 1,5 \cdot 2 = 6$	$9q$
Segitiga	$P_1$	$0,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5$	$1,125q$

$$R_A = R_B = P_1 + 0,5 P_2 = 1,125 q + 4,5 q = 5,625 q$$

Mmax sesungguhnya terletak di tengah-tengah trapezium (T)

$$M_T = R_A \cdot 4,5 - P_1 \cdot 3,5 - 0,5 P_2 \cdot 1,5 = 14,63 q \text{ KNm}$$

Persamaan:

$$1/8 \cdot q_{ek} \cdot L^2 = M_T$$

$$10,125 q_{ek} = 14,63 q$$

$$q_{ek} = 1,45 q$$

### 3. Pengolahan Beban

Beban mati dan hidup dari pelat

Beban satu trapezium

*Beban mati*

Berat sendiri pelat: tebal pelat. BJ beton = 0,12. 24	= 2,88 KN/m <sup>2</sup>
Berat penutup lantai: tebal penutup lantai. BJ beton=0,01.24	= 0,24 KN/m <sup>2</sup>
Beban mati lain	= 0,88 KN/m <sup>2</sup>
D pelat	= 4. KN/m <sup>2</sup>
L pelat	= 4,6 KN/m <sup>2</sup>

$q_{ek} D \text{ pelat} = 1,45 D \text{ pelat} = 1,45 \cdot 4$	= 5,8 KN/m
$q_{ek} L \text{ pelat} = 1,45 L \text{ pelat} = 1,45 \cdot 4,6$	= 6,6 KN/m

*Beban mati balok dan di atas balok*

Berat sendiri balok = luas penampang balok. BJ= 0,3.0,6.24	= 4,32 KN/m
Beban dinding = tebal dinding. tinggi. BJ dinding=0,2.3.20	= 1,20 KN/m
D balok	5,52 KN/m

*Beban mati pelat & balok dan beban hidup*

D = D pelat + D balok = 5,8 + 5,52	= 11,3 KN/m
------------------------------------	-------------

Beban hidup hanya bekerja di pelat, maka

L = L pelat =	= 6,6 KN/m
3D = 3.11,33	= 33,9 KN/m
L < 3D	

*Beban perlu*

Beban utama adalah L, menurut Tabel 5.3.1 SNI 2847-2019

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$$

Karena bukan atap maka:

$$U = 1,2 D + 1,6 L = 1,2 \cdot 11,3 + 1,6 \cdot 6,6 = 28,7 \text{ KN/m}$$

### 4. Perhitungan Momen Metode Penyederhanaan

Pemeriksaan penggunaan metode koefisien momen Pasal 6.5.

- |                                  |    |
|----------------------------------|----|
| a. Komponen prismatis            | YA |
| b. Beban terdistribusi merata    | YA |
| c. $L \leq 3D$                   | YA |
| d. Terdapat 2 bentang atau lebih | YA |

- e. Selisih panjang bentang maximum 20% bentang terpendek YA

Karena semua persyaratan terpenuhi maka perhitungan momen dapat menggunakan metode koefisien momen Tabel 6.5.2 SNI 2847-2019

#### Momen positif

Karena hanya ada 2 bentang (Gambar 4.10), maka keduanya adalah bentang ujung; ujung tidak menerus dan monolit dengan perletakan.

$$L_n = 9 - 0,6 = 8,4 \text{ m}$$

$$M_{u \text{ pos}} = 1/14 q_u l_n^2 = 1/14 \cdot 28,7 \cdot 8,4^2 = 144,68 \text{ KNm}$$

#### Momen negatif

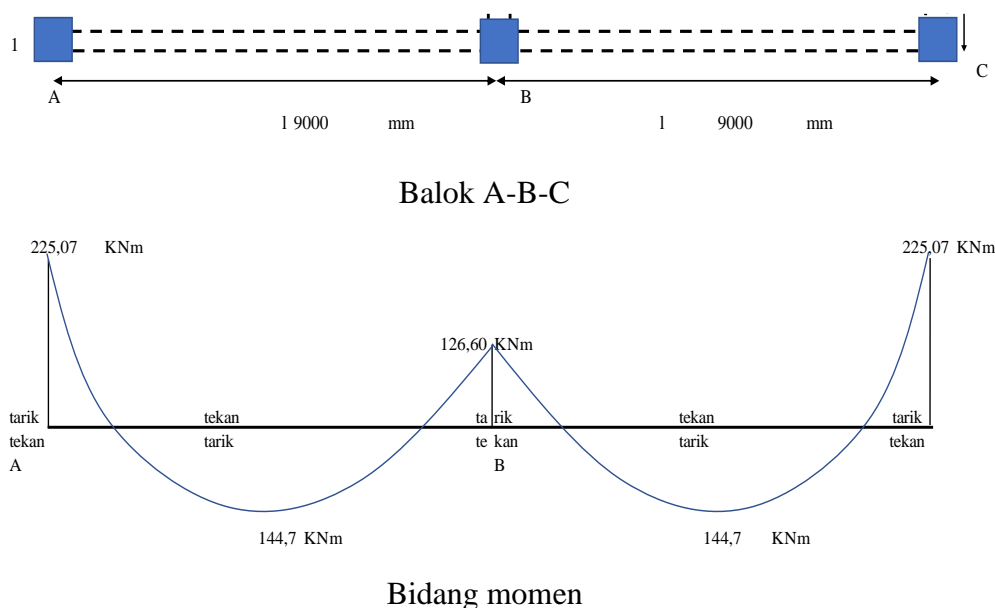
Tumpuan A dan C: muka eksterior dari pendukung interior pertama 2 bentang

$$M_{u \text{ neg AB}} = M_{u \text{ neg CB}} = 1/9 q_u l_n^2 = 1/9 \cdot 28,7 \cdot 8,4^2 = 225,07 \text{ KNm}$$

Tumpuan B: muka interior dari pendukung exterior, balok monolit dengan kolom

$$M_{u \text{ neg AB}} = M_{u \text{ neg CB}} = 1/16 q_u l_n^2 = 1/16 \cdot 28,7 \cdot 8,4^2 = 126,6 \text{ KNm}$$

#### Penggambaran bidang momen



**Gambar 4.13. Balok A-B-C dan bidang momen**

### 5. Desain Tulangan Momen Positif

Balok T

$$M_u = 144,68 \text{ KNm}; \text{ faktor reduksi dianggap } \phi = 0,9$$

$$M_n = M_u / \phi = M_u / 0,9 = 160,76 \text{ KNm}$$

Karena momen positif, pelat bagian atas dapat memberikan kontribusi dalam menahan tekan, sehingga balok menjadi balok T dengan satu sisi menerus (balok L).

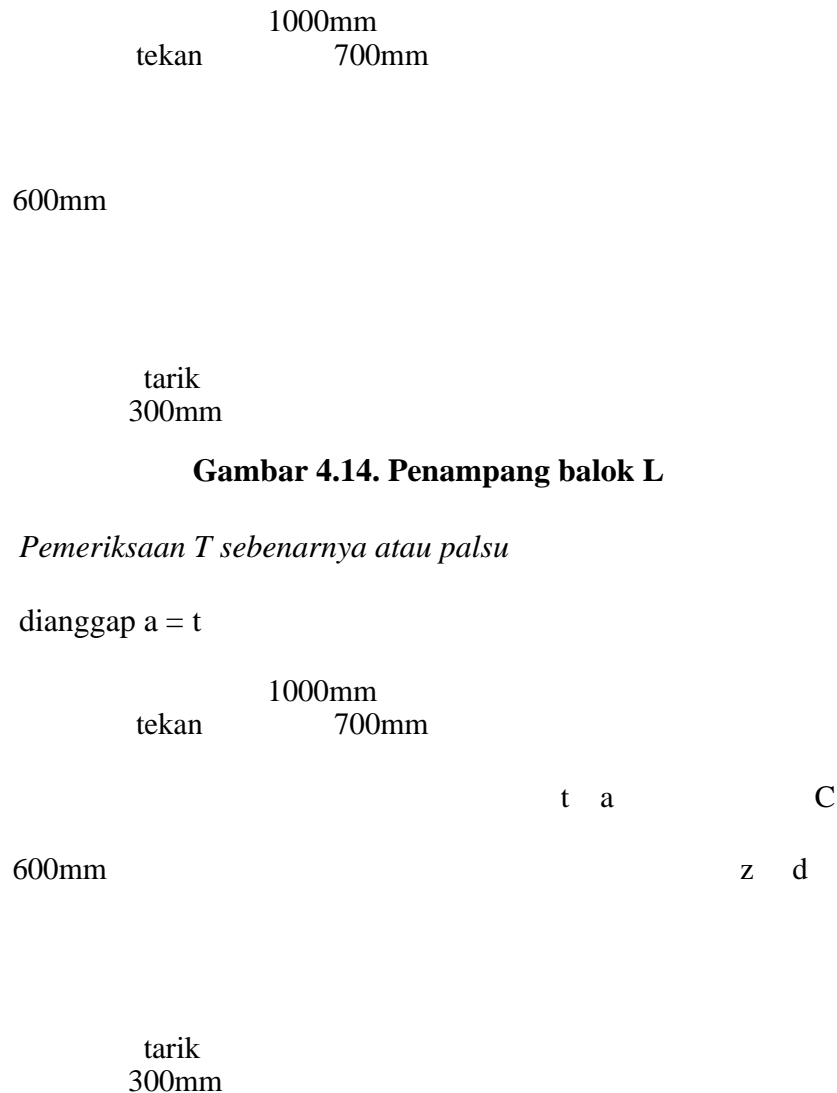
$$L_n: \text{ bentang bersih} = l - b_{\text{kolom}} = 9 - 0,6 = 8,4 \text{ m}$$

$s_w$ : jarak bersih antar balok =  $3 - 0,3 = 2,7$  m

Jenis balok adalah bukan balok mandiri, dan merupakan balok menerus satu sisi:

Tabel 6.3.2.1. SNI 2847-2019 menyatakan lebar sayap:

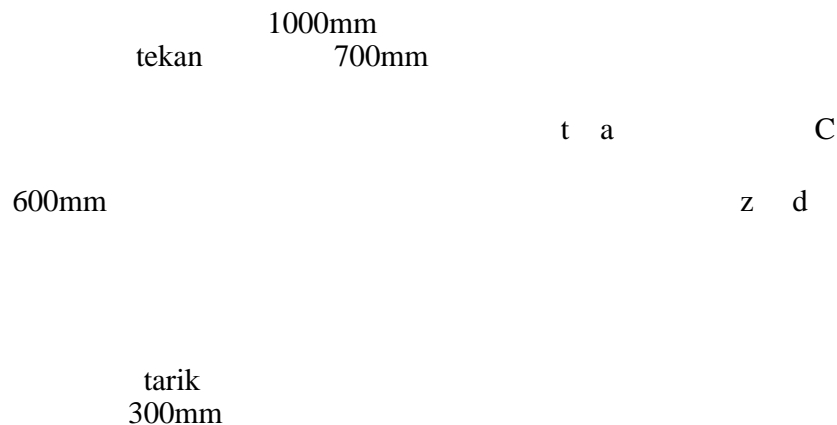
$6h$	= 6. 600	= 3600 mm
$s_w/2$	= 2700/2	= 1350 mm
$l_n/12$	= 8400/12	= 700 mm
diambil nilai yang terkecil	= 700 mm	
$b_f$	= b + lebar sayap	= 300 + 700 = 1000 mm



**Gambar 4.14. Penampang balok L**

*Pemeriksaan T sebenarnya atau palsu*

dianggap  $a = t$



**Gambar 4.15. Tegangan pada balok L dengan tinggi tekan sama dengan tinggi pelat**

Lengan momen diberi notasi  $z$

$$C = 0,85 f_c' a b_f = 0,85 f_c' t b_f = 0,85 \cdot 28 \cdot 120 \cdot 1000 = 2\,856\,000 \text{ N}$$

$$\text{Lengan momen } z = d - 0,5 a = d - 0,5 t = 540,5 - 0,5 \cdot 120 = 480,5 \text{ mm}$$

$$\text{Momen nominal} = M_n = C \cdot z = 2\,856\,000 \cdot 480,5 =$$

$$1\,372\,308 \text{ KNm} > 144,68 \text{ KNm} \rightarrow$$

balok T palsu. Maka dipakai cara balok biasa



### Perhitungan balok biasa

Regangan leleh tulangan:

$$\varepsilon_y = f_y/E_s$$

$$\varepsilon_y = 400/200000 = 0,002$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 28} = 16,8$$

$$\rho_{\max} \text{ longitudinal atas dan bawah} = 0,025 \text{ Pasal 18.6.3}$$

$\rho_{\min}$  = nilai terbesar dari persamaan di bawah ini (Pasal 9.6.1.2)

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{28}}{400} = 0,003307 \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \end{aligned} \right\}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang lebih besar

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{2\,856\,000}{300 \cdot 540,5^2} = 1,834 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{16,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1,16,8 \cdot 1,834}{400}} \right) = 0,00477 < \rho_{\max}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,00477 \cdot 300 \cdot 540,5 = 774,7 \text{ mm}^2$$

Dipakai D19

$$\text{Luas 1 D19} = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,6 \text{ mm}^2$$

$$n = A_s \text{ perlu} / \text{luas 1 tulangan} = 774,7 / 283,6 = 2,73 \text{ buah} \sim 3 \text{ buah}$$

Pemeriksaan kecukupan tempat bagi tulangan dalam 1 baris:

$$\begin{aligned} \text{Ruang untuk tulangan} &= b - 2 \text{ selimut} - 2 \text{ sengkang} \\ &= 300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ruang untuk 3 D19} &= 3 \cdot 19 = 57 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Ruang untuk spasi} = 200 - 57 = 143 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan} = 143 / (\text{jumlah tulangan} - 1) = 71,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

$$A_s \text{ terpasang} = 3 \cdot 283,6 = 850,9 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{As \text{ terpasang max}} = \rho_{\text{longitudinal atas maupun bawah max}} = 0,025$$

$$\rho_{As \text{ terpasang}} = A_s \text{ terpasang} / (b \cdot d) = 850,9 / (300 \cdot 540,5) = 0,0053$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{terpasang}} < \rho_{\text{max As terpasang}} \rightarrow \text{OK}$$

$$T_{\text{terpasang}} = A_s \text{ terpasang } f_y = 340\,371,43 \text{ N}$$

### Keseimbangan

$$C = T$$

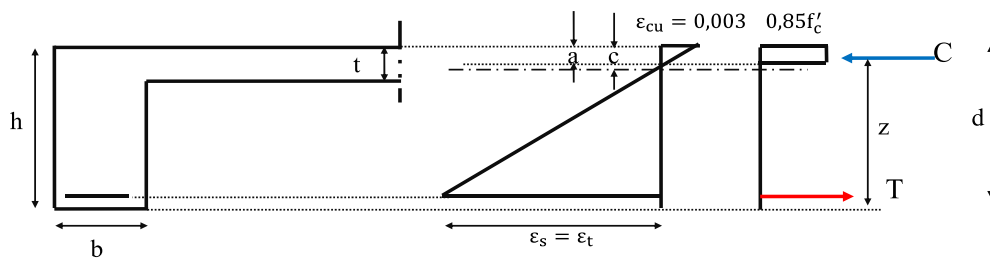
$$0,85 f_c' a b = A_s f_y$$

$$0,85 \cdot 28 \cdot 300 a = 850,9 \cdot 400$$

$$a = 47,67 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ (Tabel 22.2.2.4.3)}$$

$$c = a / \beta_1 = 56,08 \text{ mm}$$



**Gambar 4.16. Tegangan dan regangan balok dengan serat tekan di atas**

Karena hanya 1 baris maka  $\epsilon_s = \epsilon_t$

$$\frac{\epsilon_s}{0,003} = \frac{d - c}{c} = \frac{540,5 - 56,08}{56,08}$$

$\epsilon_s = \epsilon_t = 0,0259 > \epsilon_y \rightarrow$  jadi tulangan tarik leleh struktur daktail  $> 0,005$  sehingga faktor reduksi  $\phi = 0,9$ ; asumsi awal benar sehingga tidak perlu diubah.

$$\epsilon_t = 0,0259 > 0,004 \rightarrow \text{daktail (Pasal 8.3.3.1)}$$

Pada momen positif dipasang 3 D19

## 6. Desain Momen negatif

$$M_{\text{negatif AB}} = M_{\text{negatif CB}}$$

$$M_u \text{ negatif AB} = M_n \text{ negatif CB} = 225,07 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 225,07 / 0,9 = 250,07 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{250\,070\,000}{300 \cdot 540,5^2} = 2,853 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{16,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1.16,8.2,853}{400}} \right) = 0,007621$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,007621 \cdot 300 \cdot 540,5 = 1235,84 \text{ mm}^2$$

Dipakai D19

$$\text{Luas 1 D19} = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,6 \text{ mm}^2$$

$$n = A_s \text{ perlu} / \text{luas 1 tulangan} = 1235,84 / 283,6 = 4,35 \text{ buah} \sim 5 \text{ buah}$$

Pemeriksaan kecukupan tepat bagi tulangan dalam 1 baris:

$$\begin{aligned} \text{Ruang untuk tulangan} &= b - 2 \text{ selimut} - 2 \text{ sengkang} \\ &= 300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Ruang untuk 5 D19} = 5 \cdot 19 = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Ruang untuk spasi} = 200 - 90 = 110 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan} = 110 / (\text{jumlah tulangan} - 1)$$

$$= 27,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

Karena cukup 1 baris maka d tidak berubah dan  $\epsilon_s = \epsilon_t$

$$A_s \text{ terpasang} = 5 \cdot 283,6 = 1418,21 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = A_s \text{ terpasang} / (b \cdot d) = 1418,21 / (300 \cdot 540,5) = 0,00875$$

$$\rho_{\text{As terpasang max}} = \rho_{\text{longitudinal atas maupun bawah max}} = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{terpasang}} < \rho_{\text{As terpasang max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$T_{\text{terpasang}} = A_s \text{ terpasang} \cdot f_y = 1418,21 \cdot 400 = 567.285,714 \text{ N}$$

*Keseimbangan*

$$C = T$$

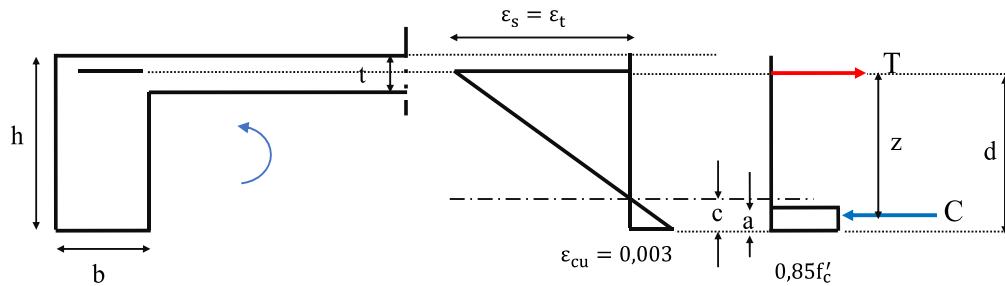
$$0,85 f_c' a b = A_s f_y$$

$$0,85 \cdot 28 \cdot 300 a = 1418,21 \cdot 400$$

$$a = 79,45 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ (Tabel 22.2.2.4.3)}$$

$$c = a / \beta_1 = 93,47 \text{ mm}$$



**Gambar 4.17. Diagram tegangan dan regangan dengan serat tekan di bawah**

$$\frac{\epsilon_s}{0,003} = \frac{d - c}{c} = \frac{540,5 - 93,47}{93,47}$$

$\epsilon_s = \epsilon_t = 0,0143 > \epsilon_y \rightarrow$  jadi tulangan tarik leleh struktur daktail  $> 0,005$  sehingga faktor reduksi  $\phi = 0,9$ ; asumsi awal benar sehingga tidak perlu diubah.

$\epsilon_t = 0,0143 > 0,004 \rightarrow$  daktail (Pasal 8.3.3.1)  
Pada momen negatif AB dan CB dipasang 5 D19

Momen negatif BA dan BC

$$\begin{aligned} M_{\text{negatif BA}} &= M_{\text{negatif BC}} \\ M_u \text{ negatif BA} &= M_n \text{ negatif BC} = 126,6 \text{ KNm} \\ M_n &= M_u / \phi = 126,6 / 0,9 = 140,67 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{140\,670\,000}{300 \cdot 540,5^2} = 1,605 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{16,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1 \cdot 16,8 \cdot 1,605}{400}} \right) = 0,00415$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,00415 \cdot 300 \cdot 540,5 = 674,19 \text{ mm}^2$$

Dipakai D19

$$\text{Luas 1 D19} = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,6 \text{ mm}^2$$

$$n = A_s \text{ perlu} / \text{luas 1 tulangan} = 674,19 / 283,6 = 2,38 \text{ buah} \sim 3 \text{ buah}$$

maka dipakai 1 baris tulangan

$$A_s \text{ terpasang} = 3 \cdot 283,6 = 850,93 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = A_s \text{ terpasang} / (b \cdot d) = 850,93 / (300 \cdot 540,5) = 0,0053$$

$$\rho_{\text{As terpasang max}} = \rho_{\text{longitudinal atas maupun bawah max}} = 0,025 = 0,0215$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{terpasang}} < \rho_{\text{As terpasang max}} \rightarrow \text{OK}$$

$$T_{\text{terpasang}} = A_s \text{ terpasang} \cdot f_y = 340\,371,43 \text{ N}$$

### Keseimbangan

$$\begin{aligned} C &= T \\ 0,85 f_c' a b &= A_s f_y \\ 0,85 \cdot 28 \cdot 300 a &= 850,93 \cdot 400 \\ a &= 47,67 \text{ mm} \\ \beta_1 &= 0,85 \text{ (Tabel 22.2.2.4.3)} \\ c &= a/\beta_1 = 56,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{\epsilon_s}{0,003} = \frac{d - c}{c} = \frac{540,5 - 56,08}{56,08}$$

$\epsilon_s = \epsilon_t = 0,0259 > \epsilon_y \rightarrow$  jadi tulangan tarik leleh struktur daktail  $> 0,005$  sehingga faktor reduksi  $\phi = 0,9$ ; asumsi awal benar sehingga tidak perlu diubah.

$\epsilon_t = 0,0259 > 0,004 \rightarrow$  daktail (Pasal 8.3.3.1)

Pada momen negatif BA dan BC dipasang 3 D19

### 7. Pengecekan lebar kolom (Pasal 18.8.2.3)

Sisi kolom  $\geq 20 D = 20 \cdot 19 = 380 \text{ mm}$

Jadi dengan sisi kolom  $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} > 380 \text{ mm}$  ---- memenuhi

### 8. Panjang penyaluran

Panjang penyaluran tulangan tarik dipilih yang memakai kait

#### Pasal 18.8.5.1

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f_c'}} = \frac{400 \cdot 19}{5,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{28}} \geq 265,975 \text{ mm}$$

#### Pasal 25.4.3.1.

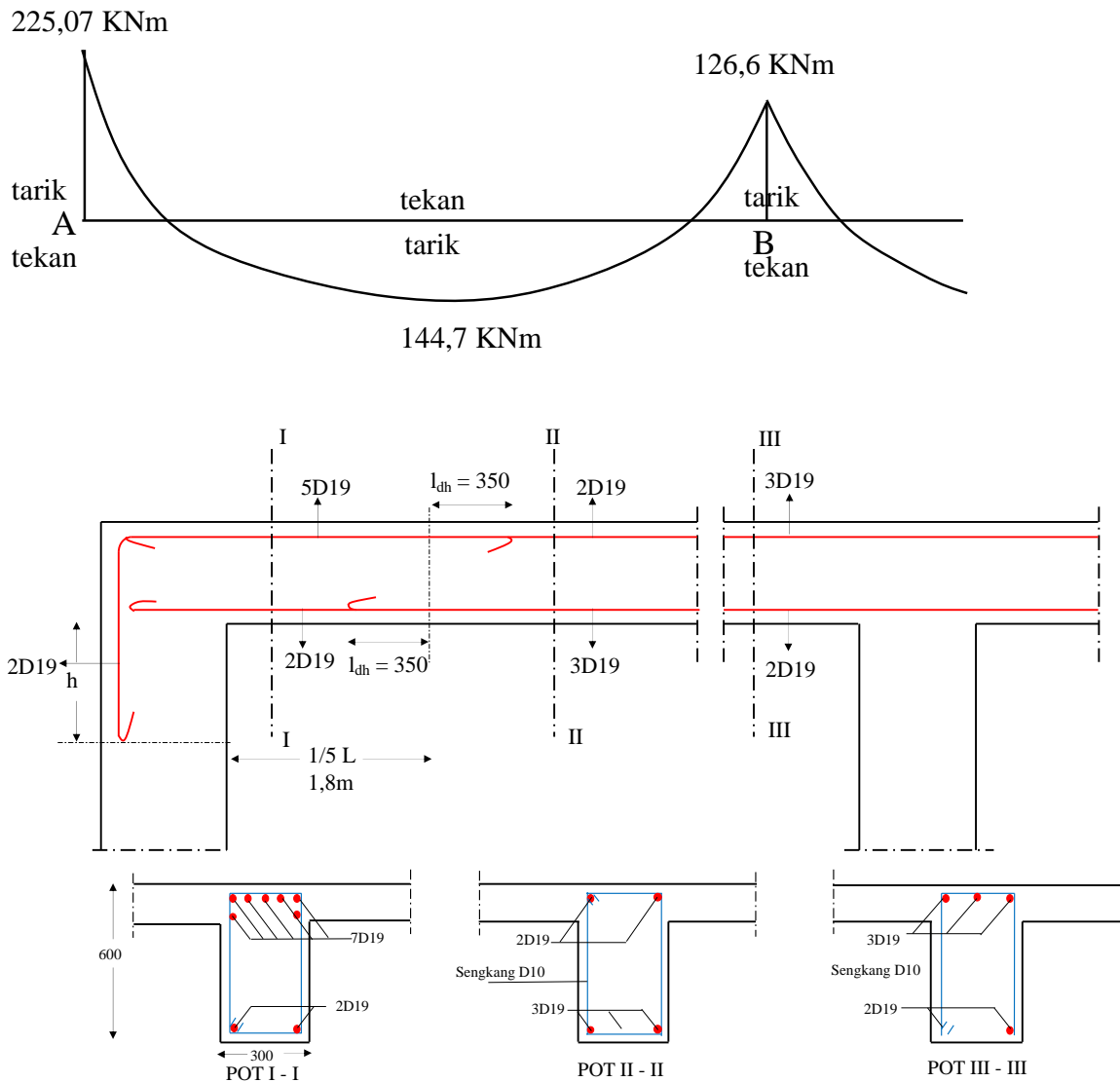
$$\left[ \frac{0,24 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b = \left[ \frac{0,24 \cdot 400 \cdot 1,1 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{28}} \right] 19 \geq 344,7 \text{ mm}$$

#### Pasal 18.8.5.1 dan Pasal 25.4.3.1:

$$\begin{aligned} l_{dh} &\geq 8d_b \rightarrow = 8 \cdot 19 && \geq 152 \text{ mm} \\ l_{dh} &&& \geq 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipilih  $l_{dh} 350 \text{ mm}$

## 9. Penggambaran tulangan

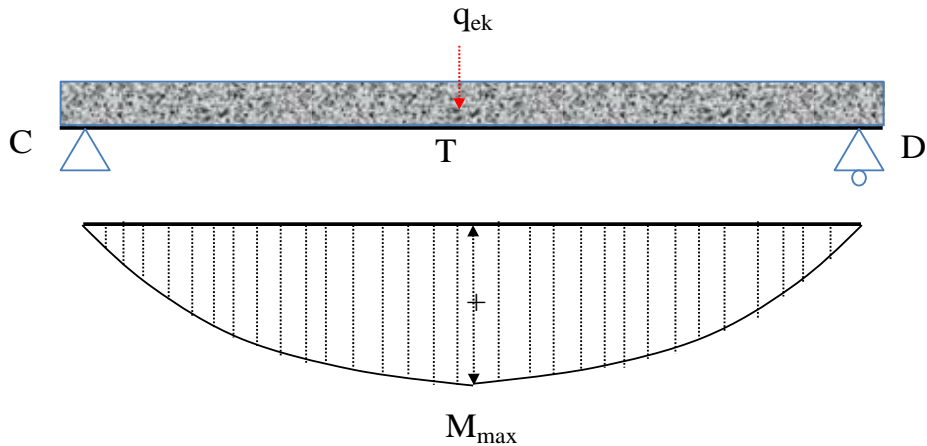


Gambar 4.18. Bidang momen dan penulangan

## 4.5. LATIHAN

### 1. DIKETAHUI:

Struktur seperti di bawah di daerah pantai dengan gempa menahan beban hidup  $60 \text{ KN/m}^2$ . Bentang  $9 \text{ m}$ ,  $h = 600 \text{ mm}$ ;  $b = 300 \text{ mm}$ , tebal pelat  $120 \text{ mm}$ , penutup lantai  $10 \text{ mm}$ , kolom  $600/600 \text{ (mm)}$ . Di atas balok terdapat dinding dengan tebal  $200 \text{ mm}$ , tinggi dinding  $3 \text{ m}$ . Mutu bahan  $f_c' = 28 \text{ MPa}$ ,  $f_y = 400 \text{ MPa}$ ,  $f_{yt} = 240 \text{ MPa}$ . BJ beton  $24 \text{ KN/m}$ , BJ dinding  $20 \text{ KN/m}^3$ .



SOAL:

Sampai bentang berapa bisa dihitung sebagai balok T?

2. DIKETAHUI:

Balok AB adalah balok mandiri. A dan B didekati sebagai sebuah sendi-rol. Ukuran balok 280 mm x 500 mm. Sebelah menyebelah balok adalah pelat lebar 1,5m.  $f_c'$  18 MPa,  $f_y$  240 MPa. Bentang 8m, beban semua adalah  $q_u = 650 \text{ KN/m}^2$ .

SOAL:

Hitung dan gambar penulangan balok tersebut.

3. Dengan data yang sama dengan contoh soal Gambar 4.10, hitung tulangan balok 3-3'
4. Dengan data yang sama dengan contoh soal Gambar 4.10, hitung tulangan lentur balok AD