

Mata Kuliah : Perancangan Struktur Beton
Kode : TSI-303
SKS : 3 sks

Analisis & Desain Balok Persegi Tulangan Rangkap Pertemuan - 5

Analisis dan Desain

Analisis

- Ukuran penampang diketahui
- Jumlah dan ukuran tulangan diketahui
- Mutu beton dan baja diketahui
- Yang dihitung adalah nilai M_u (ϕM_n)

Desain

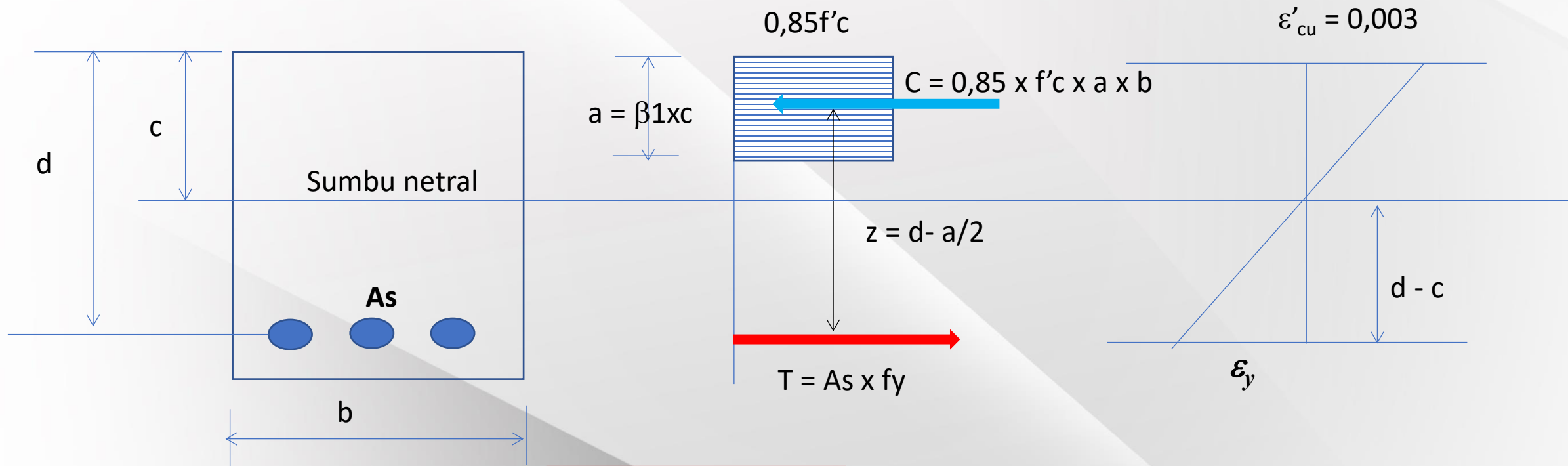
- Momen ultimit (M_u) diketahui
- Mutu beton dan baja diketahui/ditentukan
- Yang dihitung adalah
 - Ukuran penampang
 - Jumlah dan ukuran tulangan

- Sub Pokok Bahasan :
 - Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

- Terkadang suatu penampang balok beton bertulang didesain memiliki **tulangan tarik** dan **tulangan tekan**.
- Balok demikian dinamakan sebagai **balok bertulangan rangkap**
- Penggunaan tulangan tekan sering dijumpai pada daerah momen negatif dari suatu balok menerus atau di tengah bentang dari suatu balok yang cukup panjang dan memikul beban yang berat serta persyaratan kontrol lendutan cukup ketat.
- Atau juga sering dijumpai pada kasus di mana tinggi balok sangat dibatasi untuk mengakomodasi kebutuhan arsitektural.

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Tunggal



$$\rho_{\text{maks}} = 0,625\rho_b$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

$$M_n = C.z = T.z$$

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

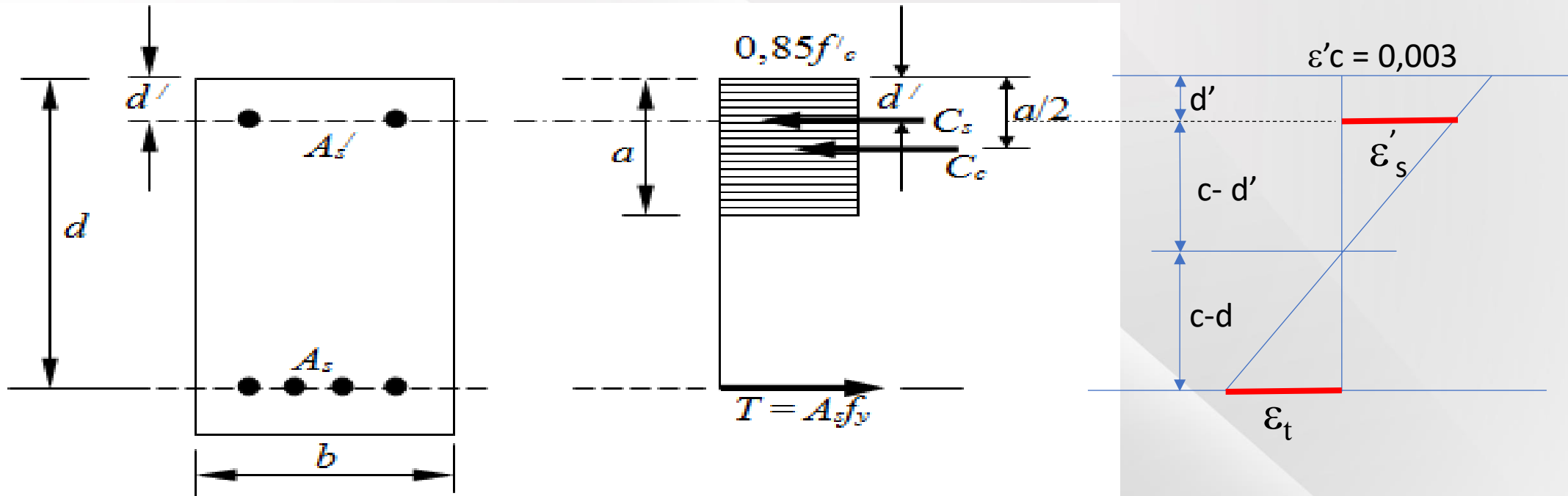
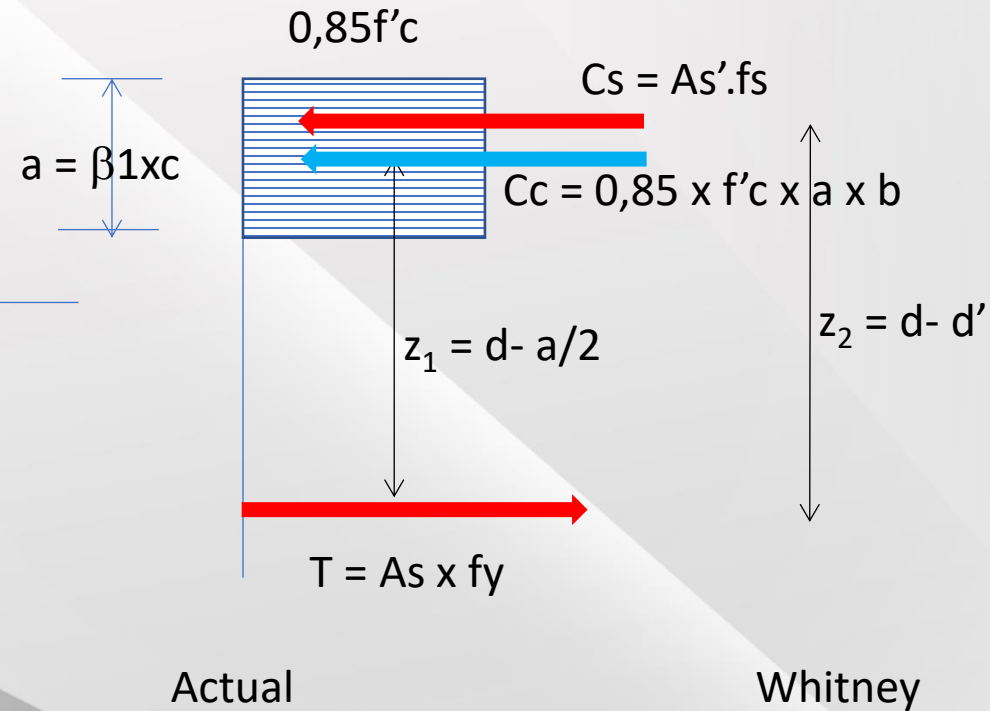
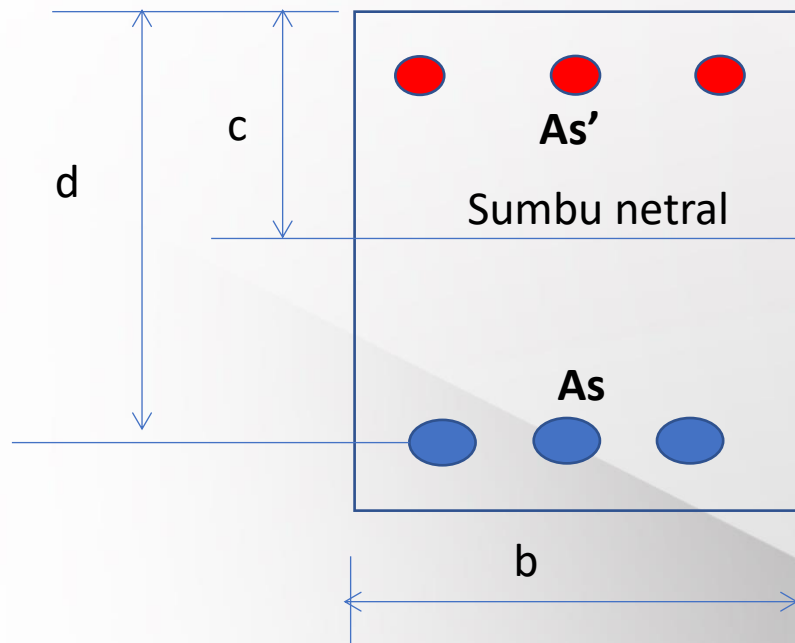


Diagram tegangan



Kapasitas Momen Nominal Balok

$$M_n = Cc.z_1 + Cs.z_2$$

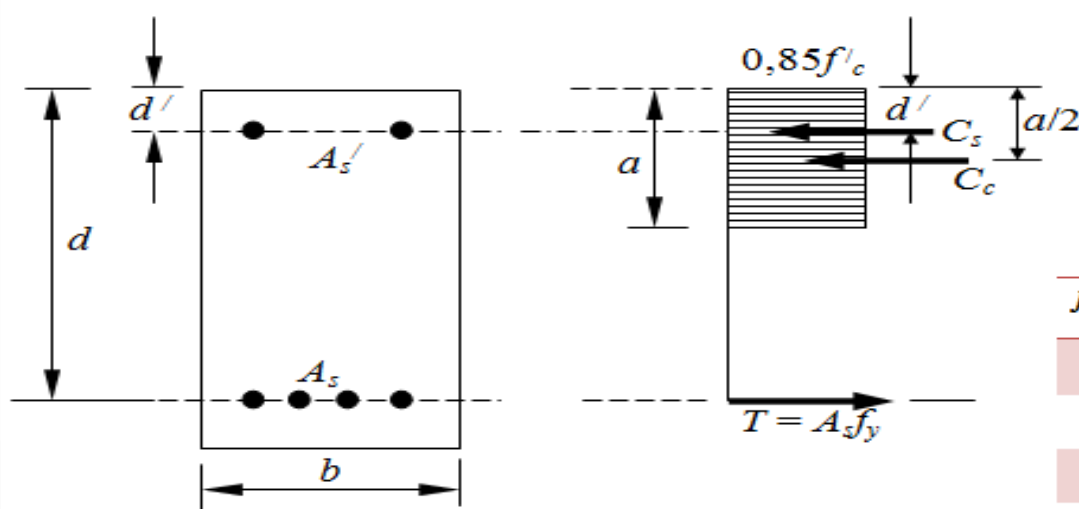
Analisis Balok Bertulangan Rangkap

- Analisis terhadap penampang balok bertulangan rangkap didasarkan pada **kondisi tulangan tekan**
- Ada dua macam kasus yang akan dijumpai, yaitu apakah **tulangan tekan sudah luluh** atau **belum luluh**

Syarat tulangan tekan sudah luluh :

$$\rho - \rho' \geq 0,85 \beta_1 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

K



Tabel Nilai K Untuk Pemeriksaan Keluluhan Tulangan Tekan

f'_c (MPa)	f_y (MPa)	β_1	K	K (dengan $d' = 50$ mm)
20	400	0,850	$0,1084(d'/d)$	$5,4188/d$
25	400	0,850	$0,1355(d'/d)$	$6,7734/d$
30	400	0,836	$0,1599(d'/d)$	$7,9943/d$
35	400	0,800	$0,1785(d'/d)$	$8,9250/d$
40	400	0,764	$0,1948(d'/d)$	$9,7410/d$

Tul. tekan luluh jika $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$



www.upj.ac.id



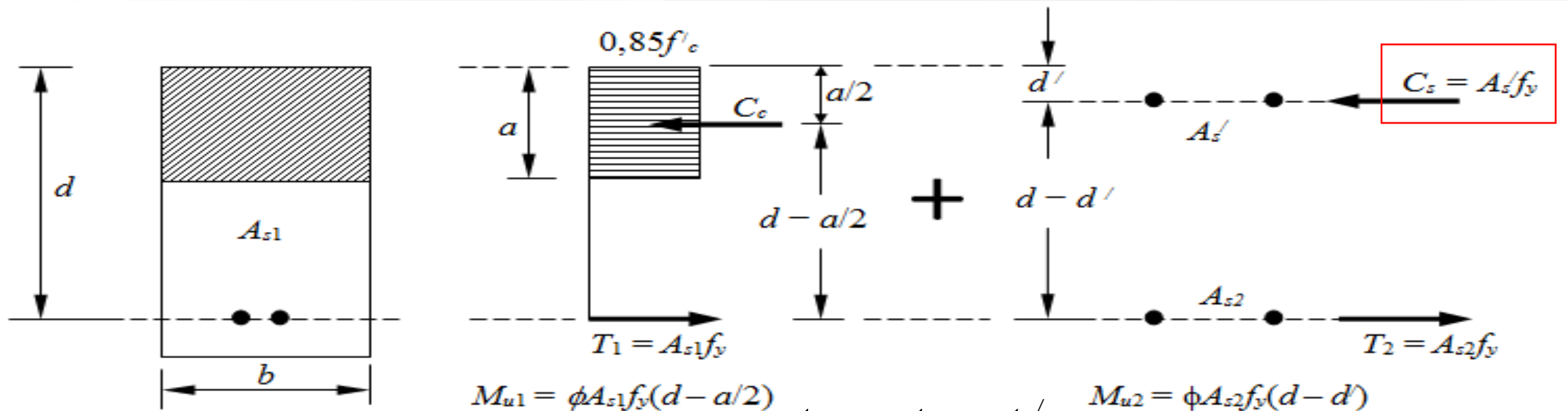
[upj_bintaro](https://twitter.com/upj_bintaro)



[upj_bintaro](https://www.instagram.com/upj_bintaro)

Analisis Balok Bertulangan Rangkap

(tulangan tekan sudah luluh)



$$A_{s1} = A_s - A_{s'}$$

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0.85 f'_c \cdot b}$$

Analisis Balok Bertulangan Rangkap

(tulangan tekan sudah luluh)

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[(A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

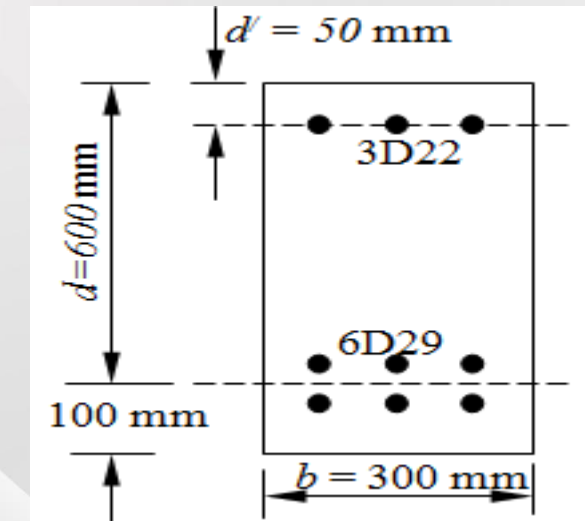
Syarat batasan rasio tulangan :

$$\rho - \rho' < \rho_{maks} = \rho_b \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right)$$

Analisis Balok Bertulangan Rangkap

Contoh 5.1

Suatu balok beton bertulangan rangkap dengan lebar 300 mm dan tinggi efektif, $d = 600$ mm. Tulangan tarik terdiri dari 6 buah D29 yang diletakkan dalam dua baris tulangan. Tulangan tekan terdiri dari 2D22 seperti ditunjukkan pada Gambar. Hitunglah kuat momen rencana dari balok tersebut jika diketahui mutu beton dan tulangan baja adalah $f'_c = 25$ MPa dan $f_y = 400$ MPa



1. Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh ataukah belum

$$A_s = 6(660) = 3.960 \text{ mm}^2 \quad \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{3.960}{300 \times 600} = 0,022$$

$$A_s' = 3(380) = 1.140 \text{ mm}^2 \quad \rho' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{1.140}{300 \times 600} = 0,00633$$

$$A_s - A_s' = 2.820 \text{ mm}^2 \quad \rho - \rho' = 0,01567$$

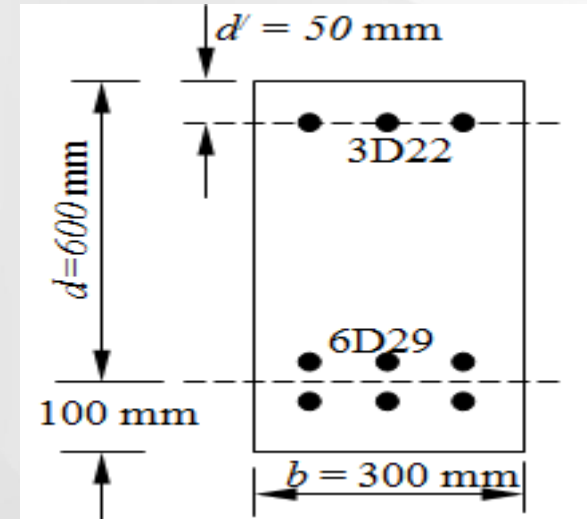
Agar tulangan tekan sudah luluh, maka harus dipenuhi persyaratan :

$$(\rho - \rho') \geq 0,85\beta_1 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) = K$$

Dengan $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$, $d' = 50 \text{ mm}$ dan $d = 600 \text{ mm}$, maka :

$$K = 0,85(0,85) \left(\frac{25}{400} \right) \left(\frac{50}{600} \right) \left(\frac{600}{600 - 400} \right) = 0,01129$$

$$(\rho - \rho') = 0,01567 > 0,01129 \quad (\text{tulangan tekan sudah luluh})$$



2. Periksa apakah $(\rho - \rho') < \rho_{\text{maks}}$ (persamaan 3.36). Untuk $f'_c = 25$ MPa dan $f_y = 400$ MPa, dari Tabel 3.2 diperoleh $\rho_b = 0,0271$ dan $\rho_{\text{maks}} = 0,01693$. $(\rho - \rho') = 0,01567 < \rho_{\text{maks}}$, dan $\phi = 0,90$ (penampang terkendali tarik)

3. ϕM_n dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.35

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

$$\text{dengan } a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2.820 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 176,94 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,90 \left[\left(2.820 \times 400 \times \left(600 - \frac{176,94}{2} \right) \right) + (1.140 \times 400 \times (600 - 50)) \right] \\ &= 745.024.658 \text{ N}\cdot\text{mm} = 745,02 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

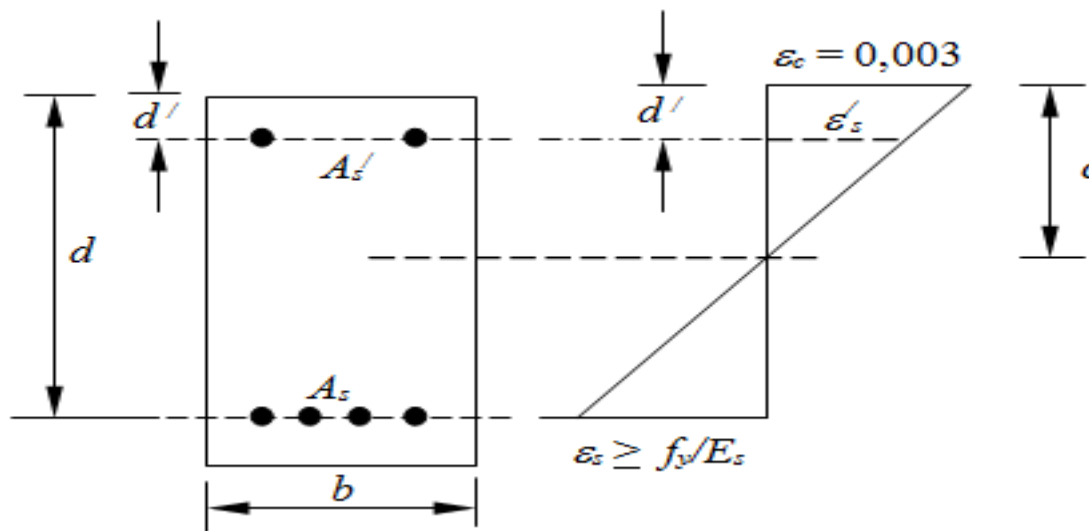
Analisis Balok Bertulangan Rangkap (tulangan tekan belum luluh)

$$\rho - \rho' < 0,85 \beta_1 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$



tulangan tekan belum luluh

$f'_s \neq f_y$



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

$$f'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85 f'_c) = A'_s \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f'_c \right]$$

$$C_c = 0,85 f'_c \beta_1 c \cdot b$$

$$T = A_s f_y$$

Analisis Balok Bertulangan Rangkap

(tulangan tekan belum luluh)

$$T = C_s + C_c$$

$$A_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c \cdot b + A'_s \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f'_c \right]$$

$$(0,85 f'_c \beta_1 b) c^2 + [(600 A'_s) - (0,85 f'_c A'_s) - A_s f_y] c - 600 A'_s d' = 0$$

Nilai c diperoleh dari :

$$c = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1} \rightarrow a = \beta_1 c$$

$$K_1 = 0,85 f'_c \beta_1 b$$

$$K_2 = A'_s (600 - 0,85 f'_c) - A_s f_y$$

$$K_3 = -600 A'_s d'$$

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

Analisis Balok Bertulangan Rangkap

Batasan untuk rasio tulangan ditentukan oleh :

$$\left(\rho - \rho' \frac{f'_s}{f_y} \right) < \rho_{maks}$$

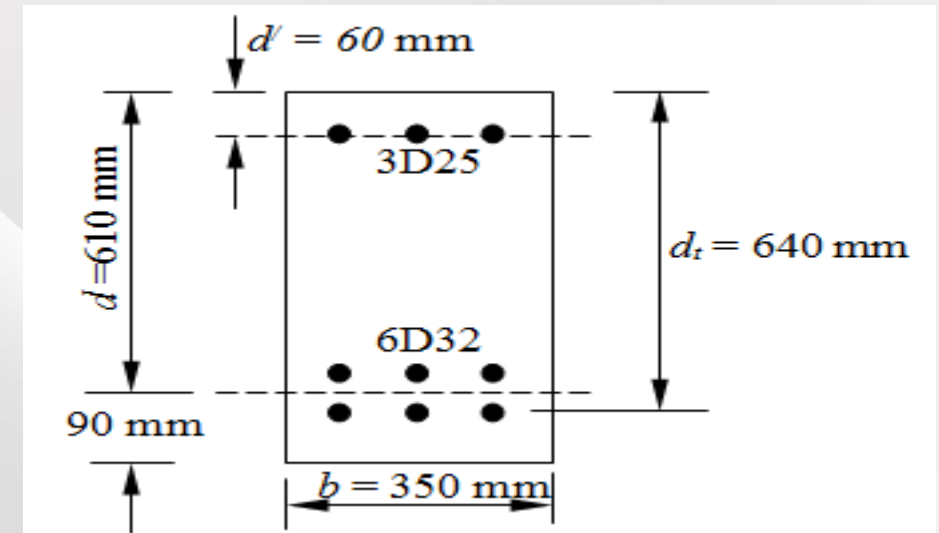
Dengan ρ_{maks} adalah rasio tulangan maksimum untuk penampang bertulangan tunggal.

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

Analisis Balok Bertulangan Rangkap

Contoh 5.2

Hitunglah kuat momen rencana dari balok beton bertulangan rangkap yang ditunjukkan dalam Gambar. Gunakan $f'_c = 35$ MPa, $f_y = 400$ MPa, serta $A_s' = 1.470$ mm² (3D25) dan $A_s = 4.824$ mm² (6D32).



1. Hitung nilai ρ dan ρ' :

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{4.824}{350 \times 610} = 0,02259$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} = \frac{1.470}{350 \times 610} = 0,00689$$

$$(\rho - \rho') = 0,0157$$

2. Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh atau belum, dengan menggunakan persamaan 3.42, gunakan nilai $\beta_1 = 0,8$ untuk $f'_c = 35$ MPa.

$$K = 0,85\beta_1 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) = 0,85(0,80) \left(\frac{35}{400} \right) \left(\frac{60}{610} \right) \left(\frac{600}{600 - 400} \right) = 0,01755$$

$$(\rho - \rho') = 0,0157 < 0,01755 \quad (\text{tulangan tekan belum luluh})$$

Untuk $f'_c = 35$ MPa dan $f_y = 400$ MPa, dari Tabel 3.2, $\rho_b = 0,0357$ dan $\rho_{maks} = 0,02231$

$$(\rho - \rho') = 0,0157 < \rho_{maks} (= 0,02231) \quad (\text{penampang terkendali tarik, } \phi = 0,90)$$

$$K_1 = 0,85 f'_c \beta_1 b$$

$$K_1 = 0,85(35)(0,80)(350) = 8.330$$

$$K_2 = A'_s (600 - 0,85 f'_c) - A_s f_y$$

$$K_2 = 1.470(600 - 0,85(35)) - 4.824(400) = -1.091.332,5$$

$$K_3 = -600 A'_s d'$$

$$K_3 = -600(1.470)(60) = 52.920.000$$

$$c = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1K_3}}{2K_1}$$

$$K_1 = 0,85 f'_c \beta_1 b$$

$$K_1 = 0,85(35)(0,80)(350) = 8.330$$

$$K_2 = A'_s (600 - 0,85 f'_c) - A_s f_y$$

$$K_2 = 1.470(600 - 0,85(35)) - 4.824(400) = -1.091.332,5$$

$$K_3 = -600 A'_s d'$$

$$K_3 = -600(1.470)(60) = -52.920.000$$

$$c = \frac{1.091.332,5 \pm \sqrt{(-1.091.332,5)^2 - (4 \times 8.330 \times -52.920.000)}}{2 \times 8.330}$$

diperoleh : $c = 168,68 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 c = 0,80(168,68) = 134,94 \text{ mm}$$

1. Hitung nilai f'_s , C_c dan C_s

$$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) = 600 \left(\frac{168,68 - 60}{168,68} \right) = 386,56 \text{ MPa} \quad (< f_y = 400 \text{ MPa})$$

$$C_c = 8.330c = 8.330(168,68) = 1.405.104,4 \text{ N}$$

$$C_s = 882.000 \left(\frac{c - 60}{c} \right) - 43.732,5 = 524.537,36 \text{ N}$$

2. Hitung ϕM_n , dengan menggunakan persamaan 3.46

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \\ &= 0,90 [1.405.104,4(610 - 134,94/2) + 524.537,36(610 - 60)] \\ &= 1.051.186.216 \text{ N}\cdot\text{mm} = 1.051,19 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Desain Balok Bertulangan Rangkap

• Data : f'_c , f_y , M_u , b , d

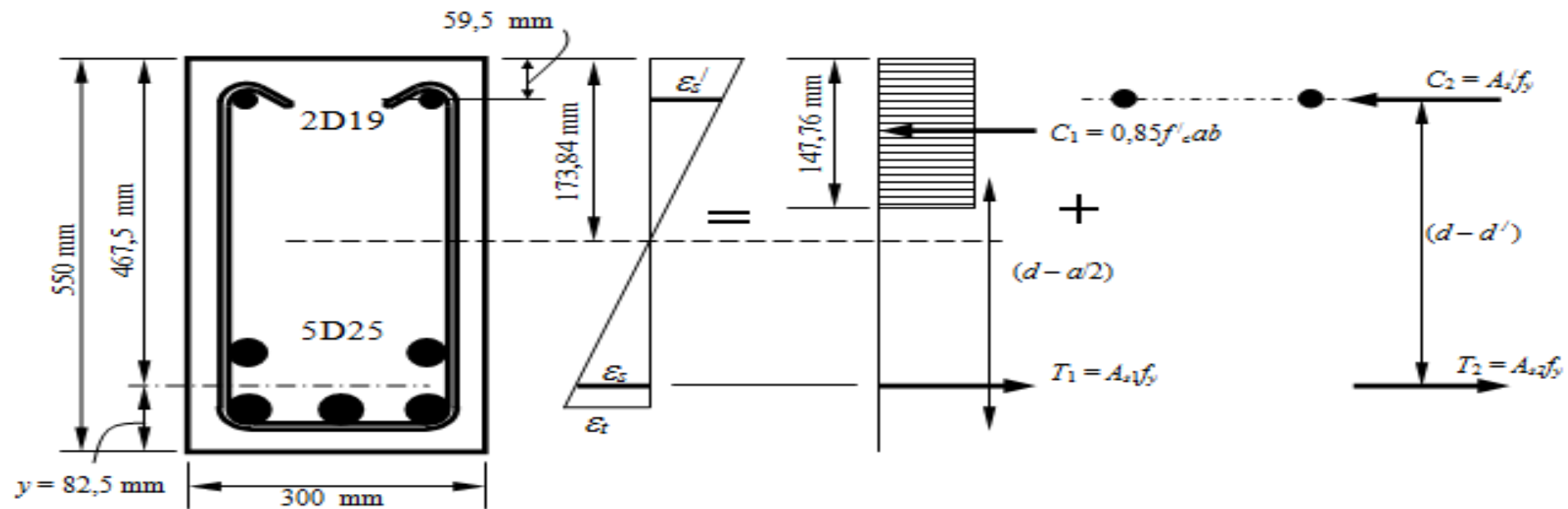
1. Hitung $R_{u \text{ maks}}$
2. Hitung $M_{u1} = R_{u \text{ maks}} b d^2$
3. Jika $M_{u1} > M_u$, maka tidak perlu A_s'
4. Jika $M_{u1} < M_u$, maka dapat dipasang A_s'
5. Hitung $M_{u2} = M_u - M_{u1}$
6. Hitung $A_{s2} = M_{u2} / (\phi f_y (d - d'))$
7. Hitung $A_s = A_{s \text{ maks}} + A_{s1}$
8. Cek ulang (analisis) kapasitas lentur penampang

$$R_{u \text{ maks}} = \phi \rho_{\text{maks}} f_y \left(1 - \frac{\rho_{\text{maks}} f_y}{1,7 f'_c} \right)$$

$$\rho_{\text{maks}} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

Contoh 5.3

- Suatu penampang balok dibatasi ukurannya dengan lebar maksimum, $b = 300$ mm dan tinggi total penampang, $h = 550$ mm. Balok harus memikul momen lentur terfaktor yang besarnya 350 kN·m. Gunakan $f'_c = 20$ MPa dan $f_y = 400$ MPa. Hitung luas tulangan yang dibutuhkan.



Gambar C.4.6

1. Terlebih dahulu dapat diperiksa besarnya kuat momen rencana dari balok tersebut sebagai balok beton bertulangan tunggal pada penampang terkendali tarik.

$$\rho_b = 0,02168$$

$$\rho_{maks} = 0,01355 \quad R_{umaks} = 4,09962 \text{ MPa.}$$

$$M_{u1} = R_u b d^2 \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$d = 550 \text{ mm} - d_b/2 - 50 = 550 - 25/2 - 50 = 487,5 \text{ mm}$$

Tabel Nilai ρ dan $R_u (=M_u/bd^2)$ Untuk Penampang Dominan Tarik, $\varepsilon_t = 0,005$ dan $\phi = 0,90$

f'_c (MPa)	f_y (MPa)	β_1	ρ_b	ρ_{maks}	R_u (MPa)
20	400	0,850	0,0217	0,01355	4,100
25	400	0,850	0,0271	0,01693	5,125
30	400	0,836	0,0320	0,01998	6,065
35	400	0,800	0,0357	0,02231	6,828
40	400	0,764	0,0390	0,02436	7,513

2. Hitung A_{s1} , M_{u1} dan M_{u2}

$$A_{s1} = \rho_{\text{maks}} bd = 0,01355 \times 300 \times 487,5 = 1.981,69 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{u1} &= R_{u \text{ maks}} bd^2 = 4,09962 \times 300 \times 487,5^2 = 292.290.094 \text{ N}\cdot\text{mm} \\ &= 292,3 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$M_{u2} = M_u - M_{u1} = 350 - 292,3 = 57,7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

3. Hitung besarnya A_{s2} dan A_s' , dengan mengasumsikan

$$\begin{aligned} d' &= \text{tebal selimut beton} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} db \\ &= 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s2} = \frac{M_{u2}}{\phi f_y (d - d')} = \frac{57,7 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times (487,5 - 59,5)} = 374,48 \text{ mm}^2$$

Luas total tulangan tarik,

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1.981,69 + 374,48 = 2.356,17 \text{ mm}^2$$

gunakan 5D25 ($A_s = 2.450 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan,

$$A_s' = 374,48 \text{ mm}^2$$

gunakan 2D19 ($A_s' = 566 \text{ mm}^2$)

Lakukan detailing penampang.

Analisis kembali kapasitas lentur penampang

