

Mata Kuliah : Perancangan Struktur Beton
Kode : CIV-204
SKS : 3 SKS

Lentur Pada Balok Persegi

Pertemuan – 3,4,5,6,7

- Sub Pokok Bahasan :
 - Analisis Lentur Penampang Balok Persegi
 - Desain Balok Persegi Terhadap Lentur
 - Analisis dan Desain Balok T
 - Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap
 - Desain Balok Terhadap Geser

Dalam proses disain suatu balok beton bertulang dengan **metode kekuatan (*Strength Design Method*)** atau yang dikenal pula dengan **metode ultimit**, mengambil beberapa asumsi sebagai berikut :

- Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama
- Regangan pada beton **berbanding lurus** terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang
- Modulus Elastisitas baja, $E_s = 200.000 \text{ MPa}$, dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan E_s ($\sigma = \varepsilon.E_s$)
- Penampang datar akan tetap datar setelah terjadi lentur
- Kuat tarik dari beton diabaikan
- Kada kondisi keruntuhan regangan maksimum yang terjadi pada serat tekan beton terluar, besarnya adalah sama dengan $\varepsilon_{cu} = 0,003$
- Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk dari distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berupa persegi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2

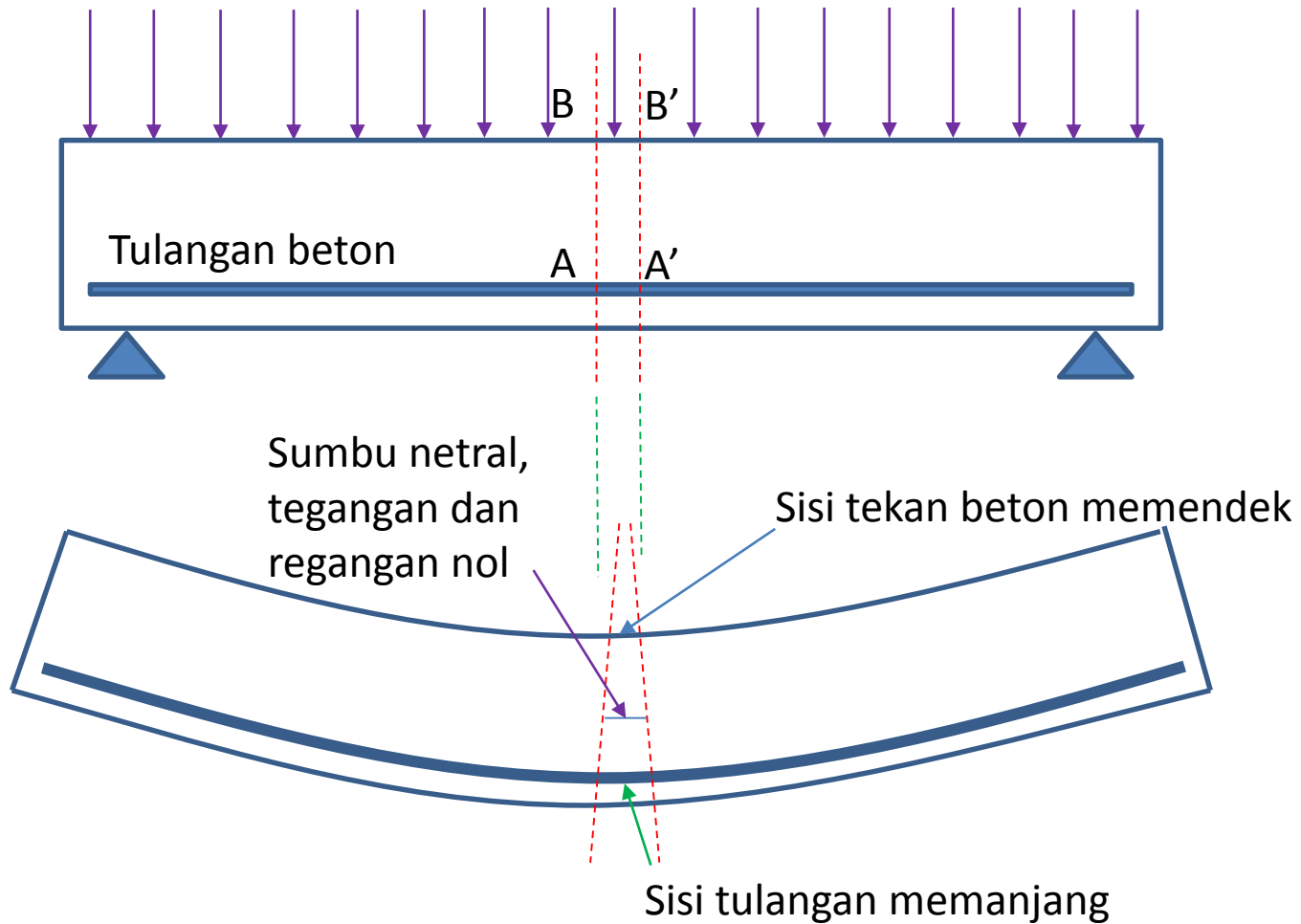
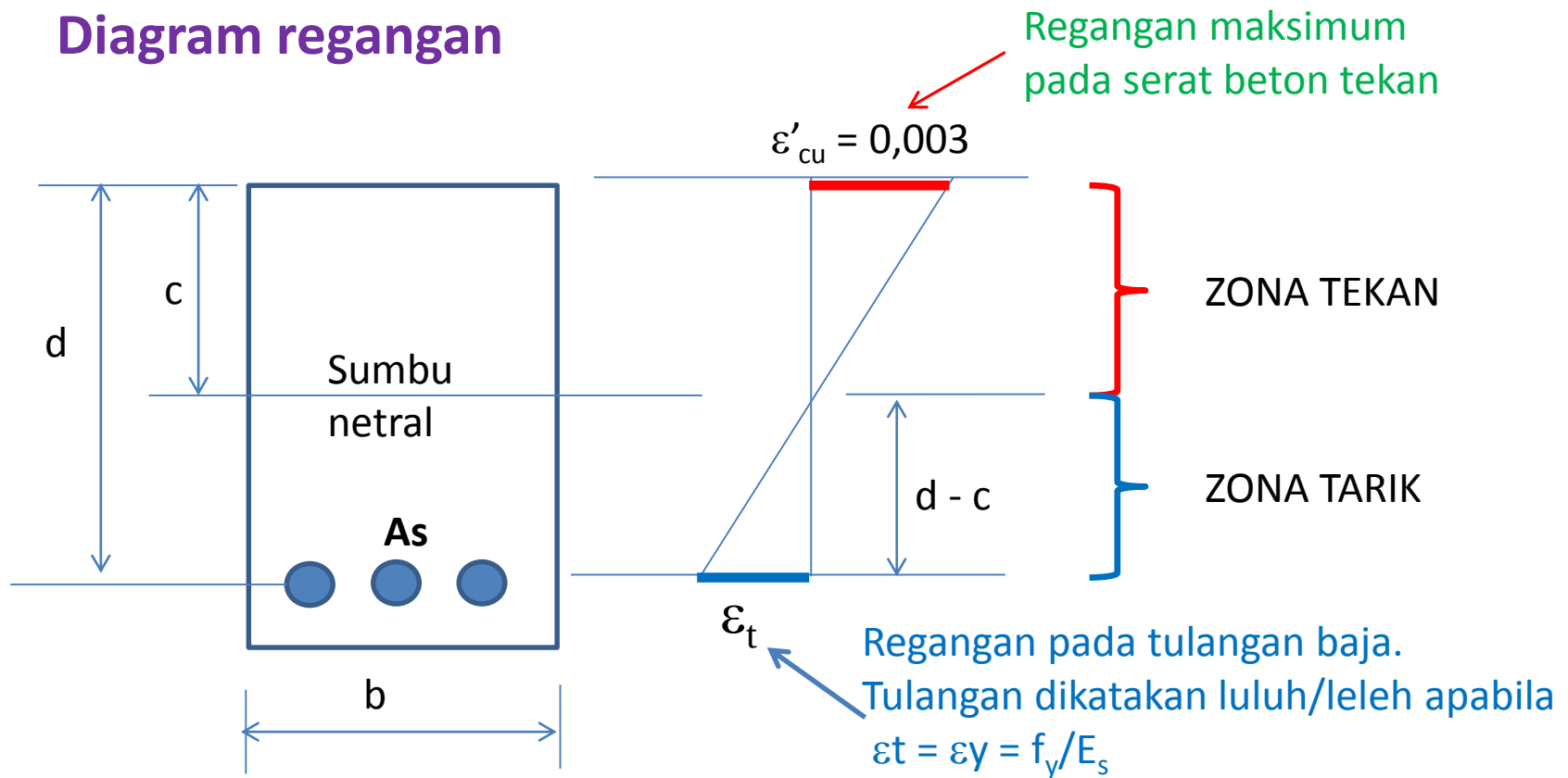


Diagram regangan



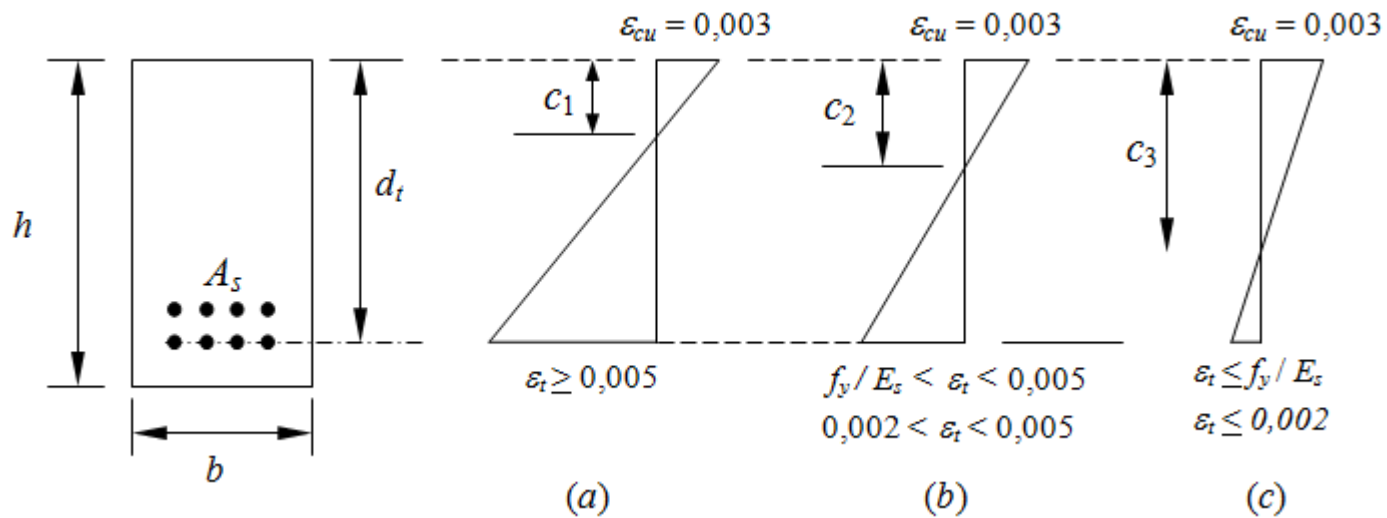
Jenis penampang pada balok dibedakan menurut kondisi regangan yang terjadi

Ketentuan mengenai perencanaan beton bertulang biasa maupun beton prategang dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3, didasarkan pada konsep regangan yang terjadi pada penampang beton dan tulangan baja. Secara umum ada 3 (tiga) macam jenis penampang yang dapat didefinisikan :

- Kondisi regangan seimbang (***balanced strain condition***)
- Penampang dominasi tekan (***compression controlled section***)
- Penampang dominan tarik (***tension controlled section***)

Penampang lain yang berada di antara penampang dominan tekan dan dominan tarik, dinamakan berada pada daerah transisi. Di samping itu ditambahkan pula bahwa regangan tarik, ϵ_t , pada kuat nominal di daerah transisi, tidak boleh kurang dari 0,004 untuk setiap komponen struktur lentur tanpa beban aksial, ataupun bila ada beban aksial tidak melebihi $0,10 \cdot f'_c \cdot A_g$. Dengan A_g adalah luas gross penampang beton.

- **Kondisi regangan seimbang (*balanced strain condition*)**, terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai regangan luluh, ε_y , sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang demikian dinamakan sebagai penampang seimbang
- **Penampang dominasi tekan (*compression controlled section*)**, terjadi apabila regangan tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan regangan yang diijinkan, sedangkan beton mencapai regangan ultimit sebesar 0,003. Untuk tulangan baja dengan $f_y = 400$ MPa, maka batasan regangan tekan tersebut adalah sama dengan 0,002. Kasus ini pada umumnya terjadi pada komponen struktur kolom yang menerima gaya aksial dan momen lentur
- **Penampang dominan tarik (*tension controlled section*)**, terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003



(a) Penampang Dominan Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Dominan Tekan

Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

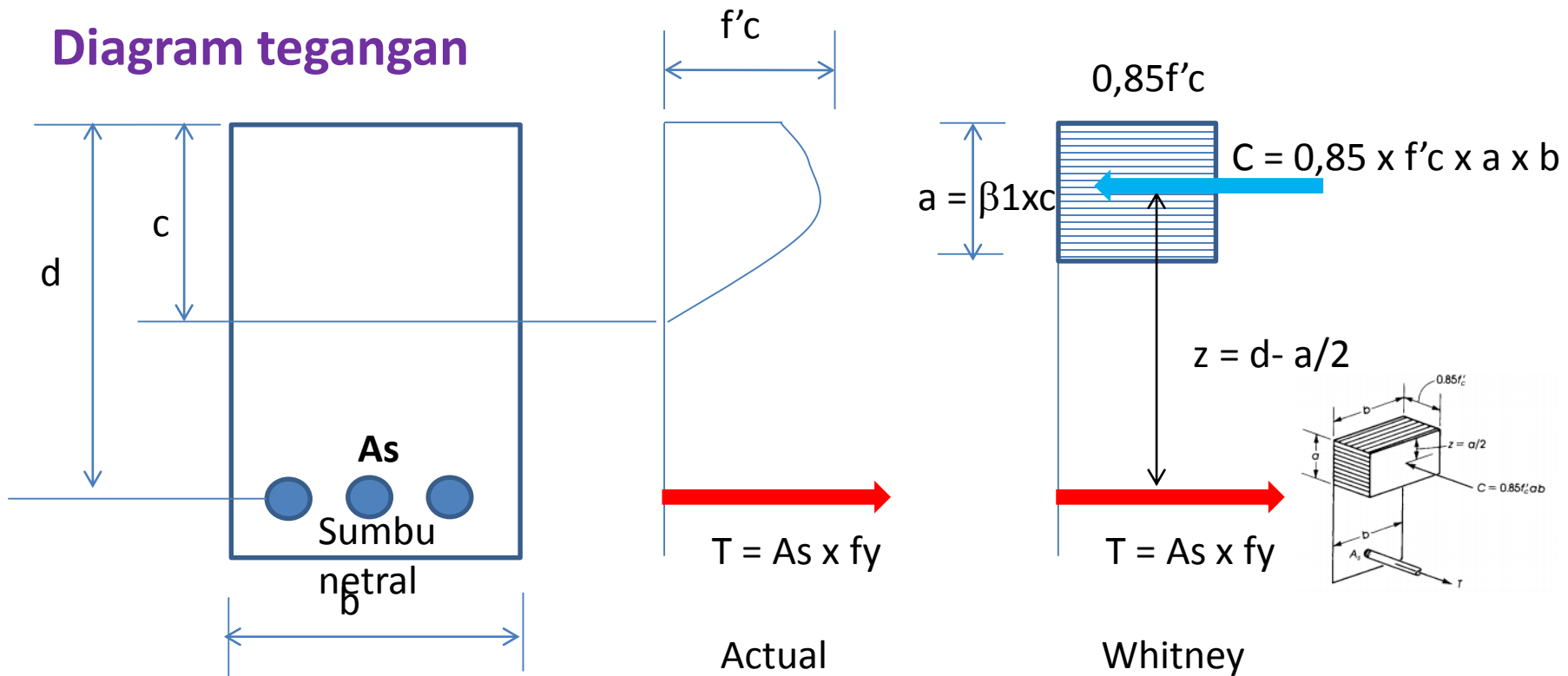
- Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dapat dihitung berdasarkan kurva pengujian tegangan-regangan, atau dapat diasumsikan berbentuk persegi empat, trapesium, parabola atau bentuk lain yang dapat merepresentasikan kuat lentur dari penampang.
- Guna penyederhanaan dalam analisis maupun disain penampang beton, maka dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2.7, diijinkan untuk menggunakan distribusi blok tegangan ekuivalen berbentuk **empat persegi panjang** untuk perhitungan kuat lentur nominal.
- Model blok tegangan tersebut sering juga dikenal sebagai **Blok Tegangan Whitney**, yang pertama kali diperkenalkan dalam jurnal ACI di tahun 1937.

Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

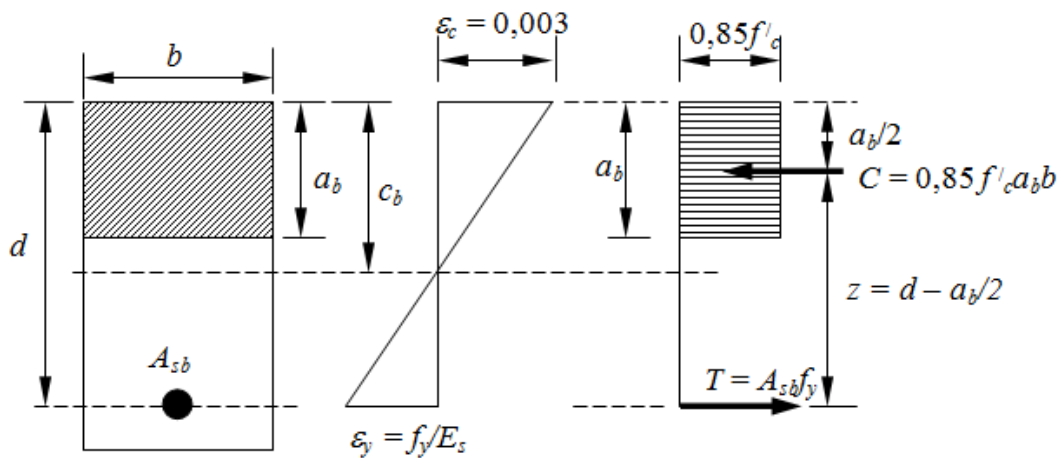
Blok tegangan tersebut didefinisikan sebagai berikut :

- tegangan tekan merata sebesar $0,85f'_c$ diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat beton yang mengalami regangan tekan maksimum
- Jarak c dari serat dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur tegak lurus sumbu tersebut
- Faktor β_1 dapat dihitung sebagai berikut :
 - untuk kuat tekan beton, $f'_c \leq 28$ Mpa $\beta_1 = 0,85$
 - untuk $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$
 - Untuk f'_c lebih dari 56 Mpa $\beta_1 = 0,65$

Diagram tegangan



Penampang Persegi Bertulangan Tunggal (Kondisi Balanced)



Penampang Persegi Pada Kondisi Seimbang

$$c_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d$$

$$a_b = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{bd}$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

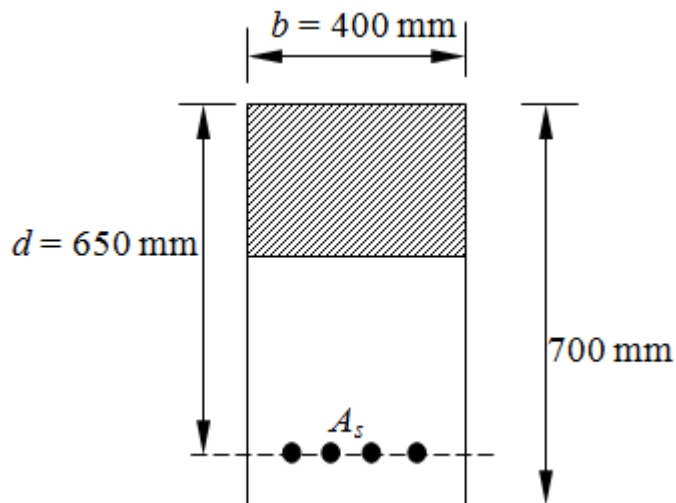
$$C = T$$

$$0.85 f'_c a_b b = A_{sb} f_y$$

Parameter ρ disebut sebagai rasio tulangan tarik yang besarnya sama dengan Luas Tulangan dibagi luas penampang beton efektif

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Contoh 3.1 :



Hitunglah :

1. luas tulangan baja pada kondisi seimbang, A_{sb}
2. luas tulangan maksimum yang diijinkan agar penampang merupakan penampang dominan tarik serta penampang pada daerah transisi
3. posisi sumbu netral, c , dan tinggi blok tegangan tekan ekuivalen, a , untuk penampang dominan tarik pada soal b

Penyelesaian

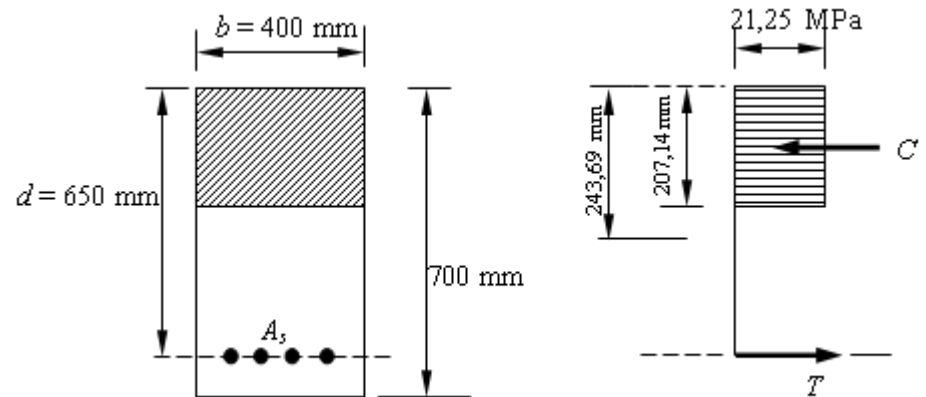
$$1. \quad \rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Karena $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$ dan $\beta_1 = 0,85$, maka :

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

Luas tulangan yang diperlukan untuk mencapai kondisi seimbang adalah

$$A_{sb} = \rho_b b d = 0,0271 \times 400 \times 650 = 7.046 \text{ mm}^2$$



2. Untuk penampang terkendali tarik, $\rho_{\text{maks}} = 0,625\rho_b = 0,625 \times 0,0271 = 0,01693$, (atau dapat dilihat pada Tabel 3.2)

$$A_{s \text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} bd = 0,01693 \times 400 \times 650 = 4.401,8 \text{ mm}^2 \quad (\phi = 0,90)$$

Untuk penampang pada daerah transisi, $\rho_{\text{maks } t} = 0,714\rho_b = 0,714 \times 0,0271 = 0,01935$

$$A_{s \text{ maks } t} = 0,01935 \times 400 \times 650 = 5.031 \text{ mm}^2 \quad (\phi = 0,817)$$

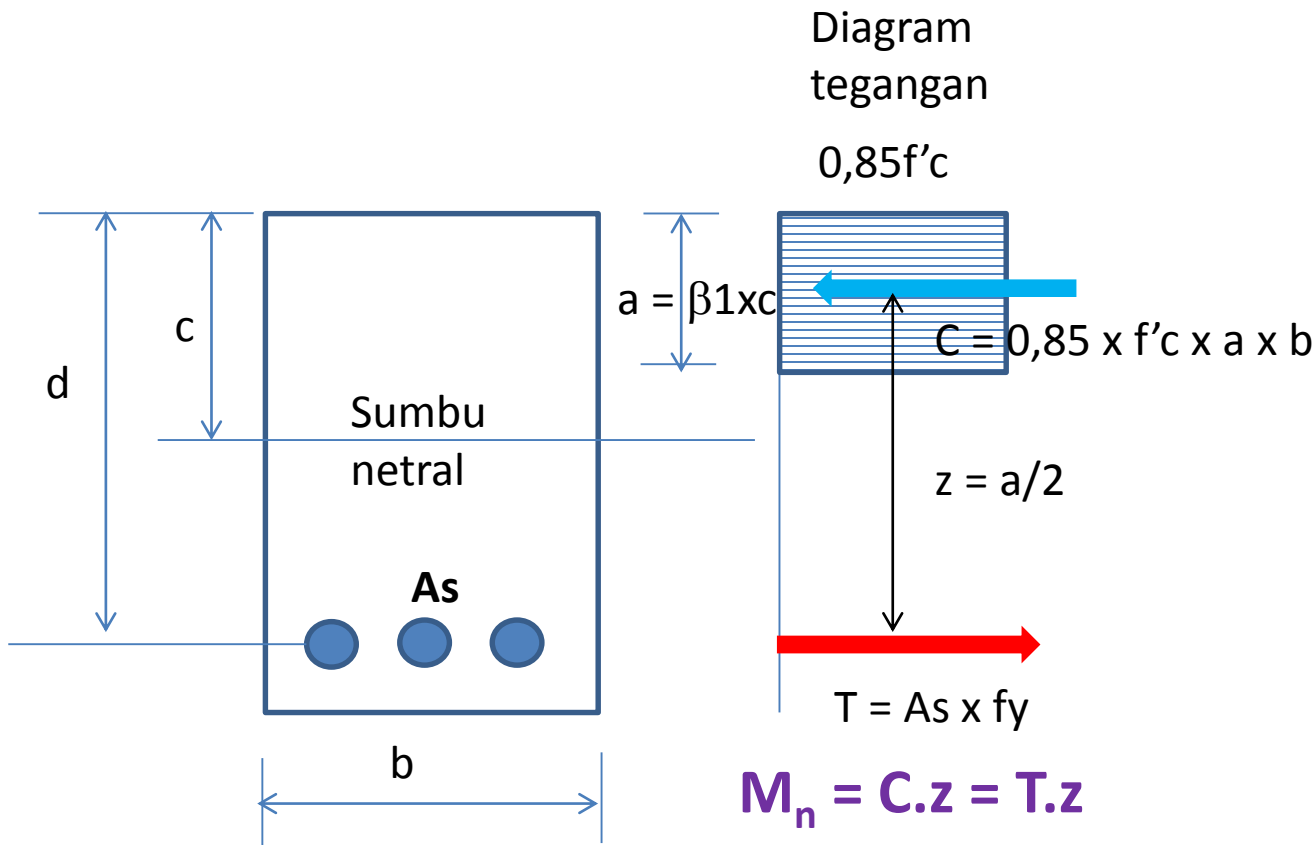
3. Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen dihitung dengan menggunakan $A_{s \text{ maks}}$:

$$a_{\text{maks}} = \frac{A_{s \text{ maks}} f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{4.401,8 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} = 207,14 \text{ mm}$$

Jarak dari serat atas ke sumbu netral adalah $c = a/\beta_1$, dengan $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{207,14}{0,85} = 243,69 \text{ mm}$$

Kapasitas Momen Nominal Penampang Balok



Dalam desain balok beton harus dipenuhi $M_u \leq \phi M_n$

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai C atau T pada Gambar dengan jarak antara kedua gaya

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

$$M_n = 0,85 f'_c a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\rho = A_s / bd$$

$$a = A_s \cdot f_y / (0,85 f'_c \cdot b)$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{1,7 f'_c \cdot b} \right) = \phi \rho f_y b d^2 \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$$

$$\phi M_n = R_u b d^2$$

dengan $R_u = \phi \rho f_y \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$

Saat ρ maks, maka R_u akan maks,
nilai R_u maks dapat ditabelkan

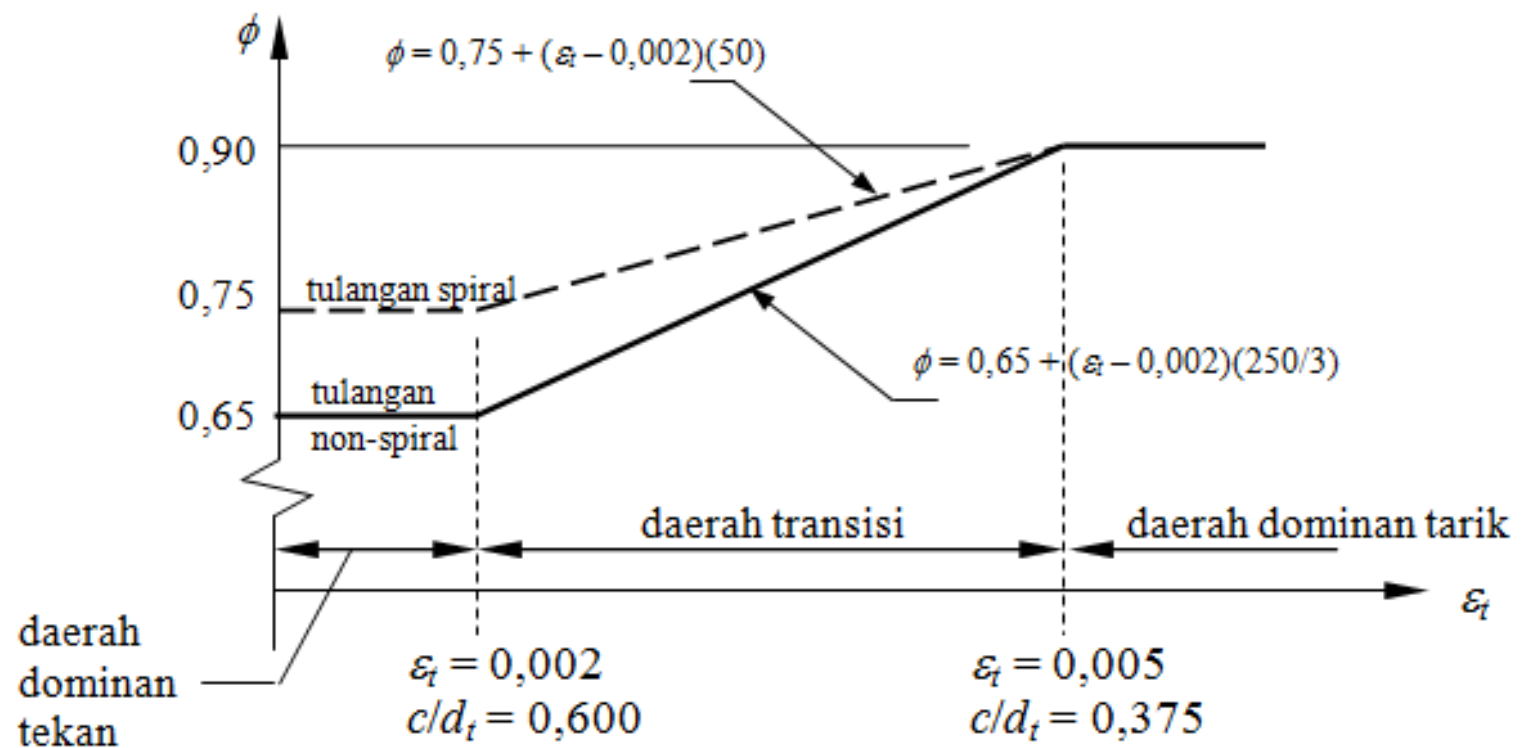
Faktor Reduksi Kekuatan

Kuat nominal dari suatu komponen struktur (baik yang memikul lentur, beban aksial, geser maupun puntir), yang dihitung berdasarkan kaidah – kaidah yang berlaku, harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang besarnya kurang dari satu.

Dalam SNI 2847:2013, pasal 9.3 digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan, ϕ , sebagai berikut :

- untuk penampang dominan tarik $\phi = 0,90$
- untuk penampang dominan tekan
 - dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$
 - tulangan non-spiral $\phi = 0,65$
- untuk geser dan puntir $\phi = 0,75$
- untuk tumpu pada beton $\phi = 0,65$

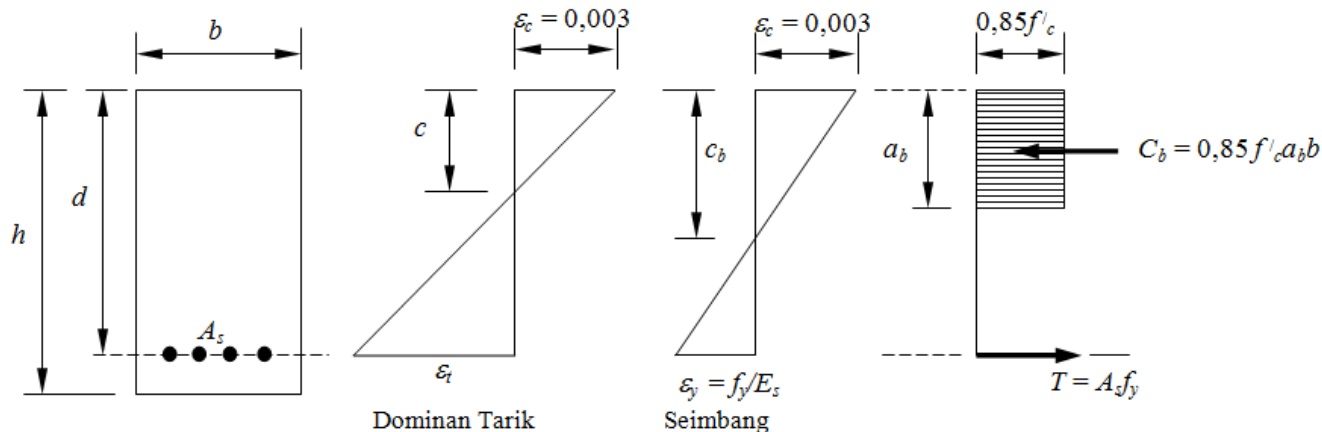
Faktor Reduksi Kekuatan



Untuk komponen struktur lentur beton bertulang, nilai ϵ_t harus sama atau lebih besar daripada 0,004 !

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- SNI 2847:2013 pasal 10.3.5 mensyaratkan bahwa nilai ε_t pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan 0,004.



$$c_b = \frac{a_b}{\beta_1} = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{\rho_b f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$

$$c = \frac{\rho \cdot f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$

$$\left. \begin{array}{l} c_b = \frac{a_b}{\beta_1} = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{\rho_b f_y d}{0,85 f'_c \beta_1} \\ c = \frac{\rho \cdot f_y d}{0,85 f'_c \beta_1} \end{array} \right\} \frac{c}{c_b} = \frac{\rho}{\rho_b} \Rightarrow \frac{c}{d} = \frac{\rho}{\rho_b} \frac{c_b}{d} = \left(\frac{\rho}{\rho_b} \right) \left(\frac{0,003}{0,003 + f_y / E_s} \right)$$

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,003 + \varepsilon_t}$$

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Dalam hal desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batas maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan menggunakan nilai $\varepsilon_t = 0,005$, sehingga :

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



Jika tulangan baja mempunyai $f_y = 400$ MPa dan $E_s = 200.000$ MPa, maka $\rho_{maks} = 0,625\rho_b$

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

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Apabila momen terfaktor yang bekerja pada balok cukup kecil, sehingga luas tulangan baja yang dibutuhkan juga sedikit, maka dalam peraturan (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1) disyaratkan perlunya memberikan tulangan minimum, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$A_{s\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} b_w \cdot d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

- Atau dapat dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan :

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

	Diameter (mm)						
N	13	16	19	22	25	29	32
1	132.7	201.1	283.5	380.1	490.9	660.5	804.2
2	265.5	402.1	567.1	760.3	981.7	1321.0	1608.5
3	398.2	603.2	850.6	1140.4	1472.6	1981.6	2412.7
4	530.9	804.2	1134.1	1520.5	1963.5	2642.1	3217.0
5	663.7	1005.3	1417.6	1900.7	2454.4	3302.6	4021.2

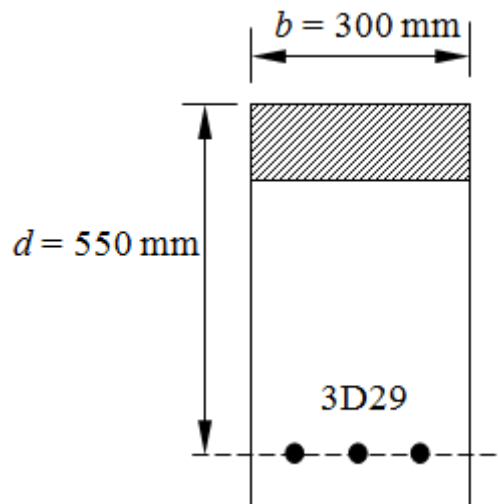
LOAD COMBINATION

- $U = 1,4D$
- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L^* \text{ atau } 0,5W)$
- $U = 1,2D + 1,0W + 1,0L^* + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,0E + 1,0L^*$
- $U = 0,9D + 1,0W$
- $U = 0,9D + 1,0E$

Nilai faktor beban untuk L dapat direduksi menjadi $0,5L$, jika nilai L tidak lebih besar daripada $4,8 \text{ kN/m}^2$ (atau 500 kg/m^2). Di samping itu faktor tersebut tidak boleh direduksi untuk area garasi atau area tempat publik.

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Contoh 3.2 : Tentukan besarnya kuat momen rencana, ϕM_n



$$f'_c = 20 \text{ MPa dan } f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$a = A_s f_y / (0,85 f'_c b)$$

$$= 1981,6(400) / (0,85 \times 20 \times 300) = 155,42 \text{ mm}$$

$$c = a / \beta_1 = 155,42 / 0,85 = 182,85 \text{ mm}$$

$$c / d_t = 182,85 / 550 = 0,3324 < 0,375$$

(tension controlled) – $\phi = 0,90$

$$M_n = A_s f_y (d - a/2) = 1981,6 \times 400 (550 - (155,42/2))$$

$$= 374.355.945,6 \text{ N.mm} = 374,35 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,90(374,35) = 336,91 \text{ kN.m}$$

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Contoh 3.3 : dengan menggunakan data pada Contoh 3.2, namun tulangan baja dirubah menjadi 3D32 ($A_s = 2.412,74 \text{ mm}^2$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2.412,74 \times 400}{0,85 \times 20 \times 300} = 189,23 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = 222,62 \text{ mm} \quad d_t = d = 550 \text{ mm} \quad c/d_t = 0,40476 > 0,375$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d - c}{c} \right) 0,003 = \left(\frac{550 - 222,62}{222,62} \right) 0,003 = 0,00441$$

Nilai ini kurang dari 0,005 tapi masih lebih besar daripada 0,004. Penampang berada pada daerah

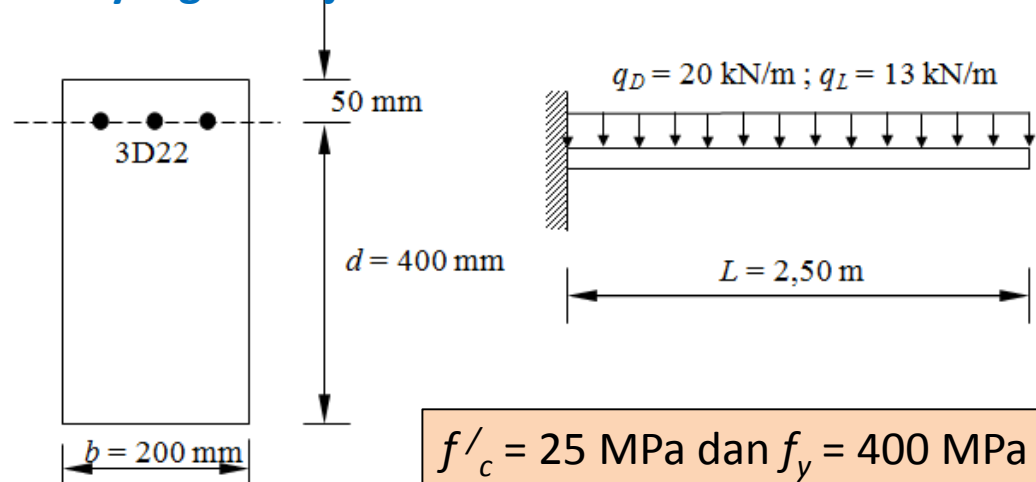
transisi, $\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - 0,002) \left(\frac{250}{3} \right) = 0,851$

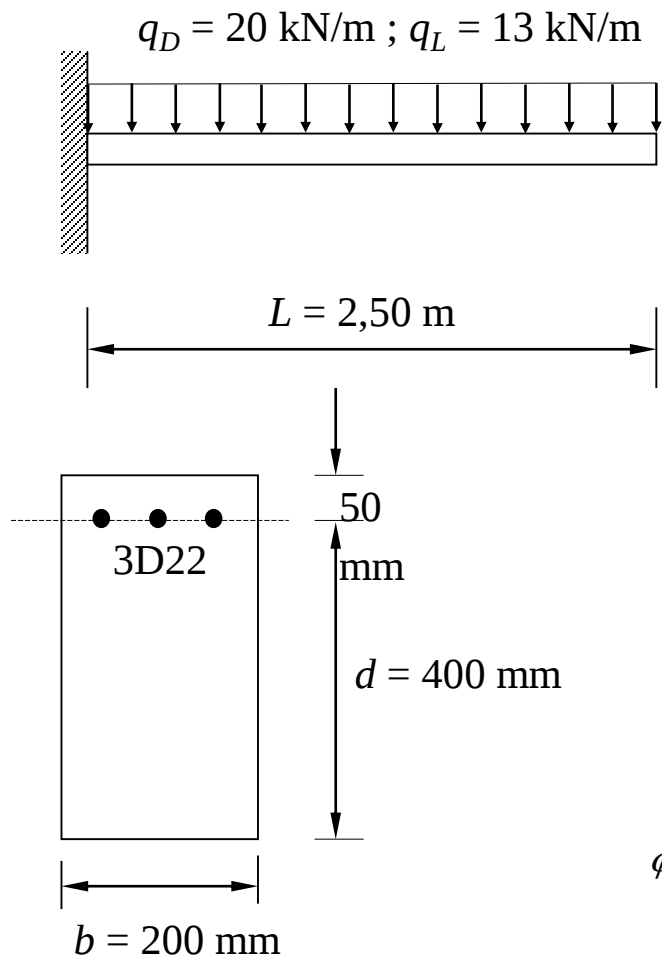
$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,851 \times 2.412,74 \times 400 \left(550 - \frac{189,23}{2} \right) \\ &= 374.006.195,91 \text{ N}\cdot\text{mm} = 374,01 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Contoh 3.4 :

Sebuah balok kantilever beton bertulang sepanjang 2,5 m memiliki penampang persegi dengan penulangannya seperti ditunjukkan pada Gambar. Balok memikul beban mati (termasuk berat sendiri balok) sebesar 20 kN/m, dan beban hidup sebesar 13 kN/m. Periksa apakah balok cukup untuk memikul beban yang bekerja.





$$q_u = 1,2q_D + 1,6q_L = 1,2(20) + 1,6(13) = 44,8 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{1}{2} q_u L^2 = \frac{1}{2} (44,8) (2,5)^2 = 140 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{1140 \times 400}{0,85 \times 25 \times 200} = 107,29 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = 126,22 \text{ mm} \quad d = 400 \text{ mm}$$

$$c/d = 0,3155 < 0,375$$

$$\varepsilon_t = (d-c)/c \times 0,003 = \left(\frac{400 - 126,22}{126,22} \right) 0,003$$

$$= 0,00651 > 0,005 \quad \phi = 0,90$$

Tension controlled section

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,90 \times 1140 \times 400 \left(400 - \frac{107,29}{2} \right)$$

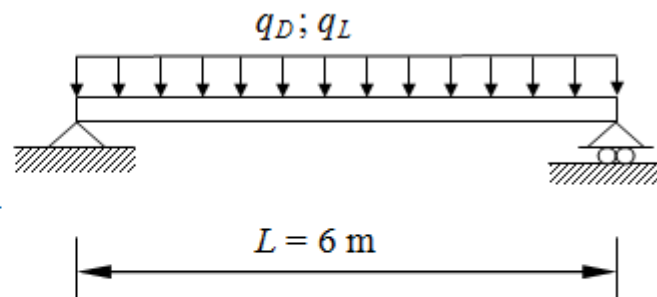
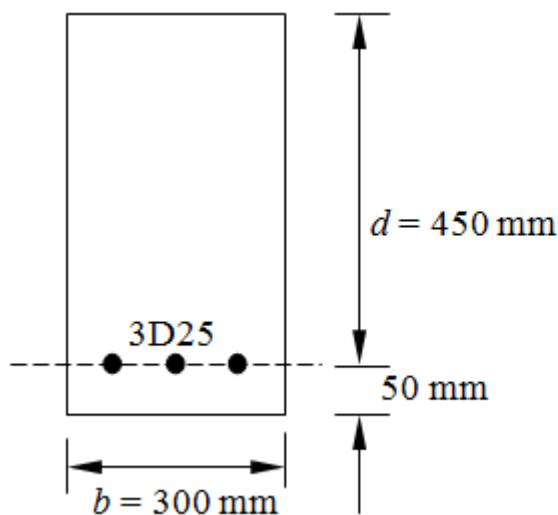
$$= 142.144.092 \text{ N}\cdot\text{mm} = 142,14 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_u$$

(penampang mencukupi)

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Contoh 3.5 :

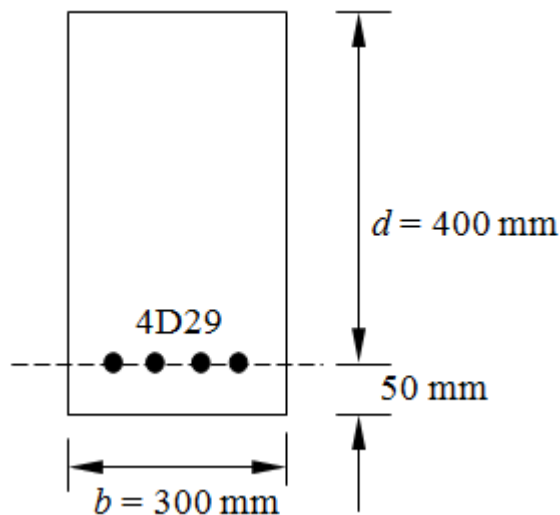
Suatu balok tertumpu sederhana dengan panjang bentang 6 m. Tentukan besarnya beban hidup merata yang dapat bekerja pada balok, dengan asumsi beban mati hanya berasal dari berat sendiri balok.



$$f'_c = 20 \text{ MPa dan } f_y = 400 \text{ MPa}$$

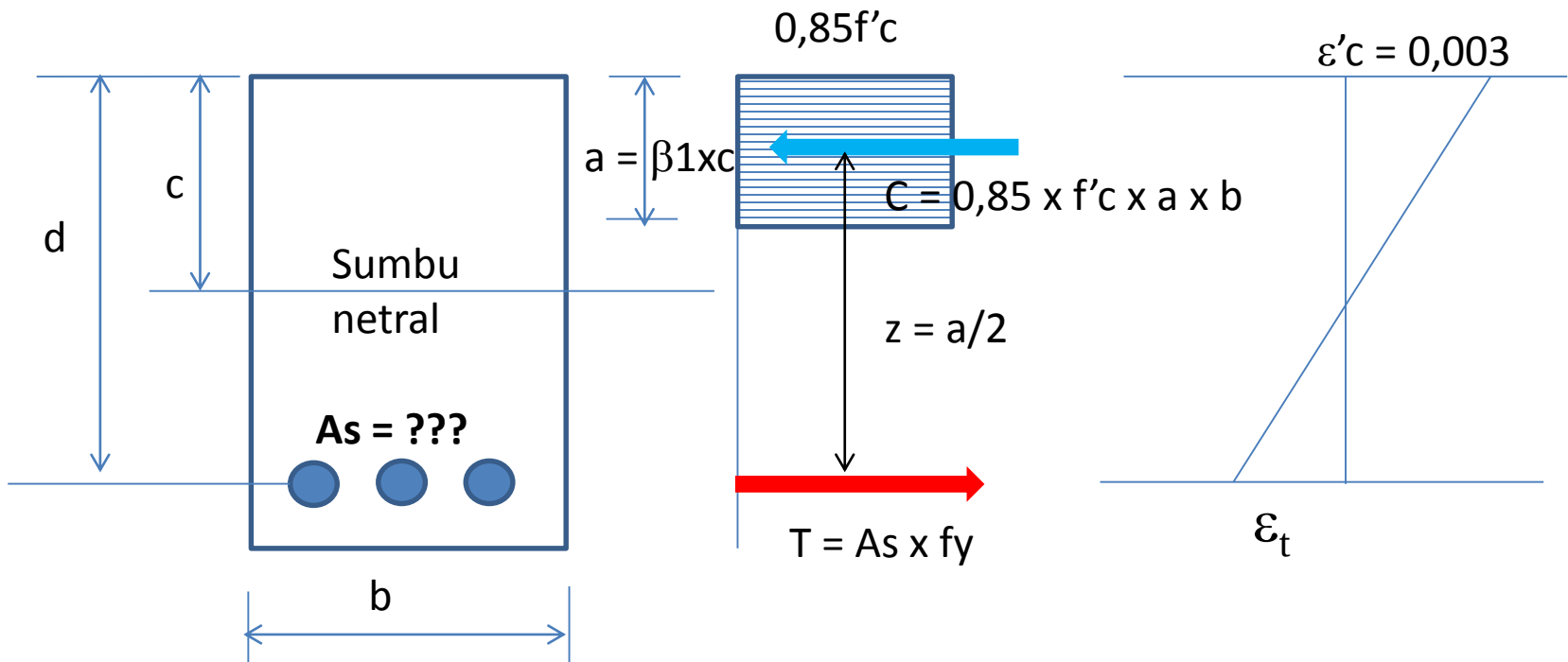
Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Contoh 3.6 : Tentukan besarnya kuat momen rencana, ϕM_n



$$f'_c = 25 \text{ MPa dan } f_y = 400 \text{ MPa}$$

- Sub Pokok Bahasan :
 - ✓ Desain Balok Persegi Terhadap Lentur



$$M_u = \phi M_n \rightarrow M_n = M_u / \phi$$

$$M_n = C \cdot z = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b (d - a/2)$$

$$= 0,85 f'_c \cdot b \cdot d \cdot a - 0,425 \cdot f'_c \cdot b \cdot a^2$$

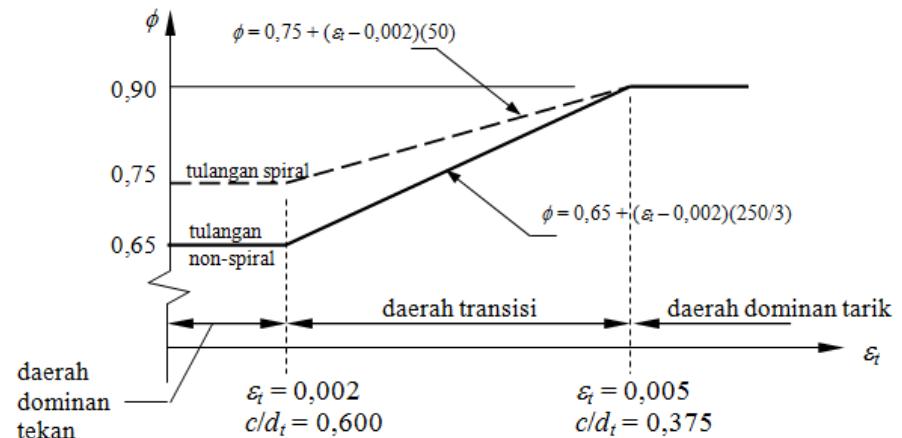


$$A_s = \frac{0,85 f'_c a b}{f_y}$$

a diperoleh dari persamaan pangkat dua di atas

- Setelah menemukan A_s , cek kembali terhadap syarat $A_{s \text{ maks}}$ dan $A_{s \text{ min}}$.
- Cek kembali nilai ϕ yang dipakai, berdasarkan nilai ϵ_t .

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



Syarat jarak tulangan :

- Tulangan baja pada suatu penampang balok beton harus diletakkan sedemikian rupa sehingga **jarak antar poros tulangan dalam satu lapis tidak kurang dari ukuran diameter tulangan, ($\geq d_b$), namun juga tidak kurang dari 25 mm.**
- Jika kebutuhan tulangan cukup banyak dan harus disusun lebih dari satu lapis, maka **jarak antar lapis tulangan dalam arah vertikal tidak boleh kurang dari 25 mm.** Persyaratan jarak antar tulangan ini tercantum pada ACI 318M-11 pasal 7.6.
- Selain itu lebar penampang balok juga harus memperhatikan tentang **ketentuan tebal selimut beton** yang disyaratkan. Dalam pasal 7.7 ACI 318M-11 disebutkan bahwa untuk penampang balok dan kolom dianjurkan mengambil selimut beton setebal **40 mm**, sedangkan untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan tanah dapat diambil selimut beton setebal **20 mm**.

Contoh 4.1

- Desainlah sebuah penampang persegi balok beton bertulang yang memikul beban momen terfaktor sebesar 490 kN·m, dengan menggunakan persentase tulangan maksimum ρ_{maks} untuk penampang dominan tarik. Gunakan $f'_c = 20$ MPa dan $f_y = 400$ MPa

$$\phi M_n = R_u b d^2$$

dengan $R_u = \phi \rho f_y \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$

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

$$1. \quad \rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Karena $f'_c = 20$ MPa, $f_y = 400$ MPa dan $\beta_1 = 0,85$, maka :

$$\rho_b = 0,85 \cdot 0,85 \frac{20}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02168$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai ρ_{maks}

$$\rho_{maks} = \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) = 0,625 \rho_b = 0,01355$$

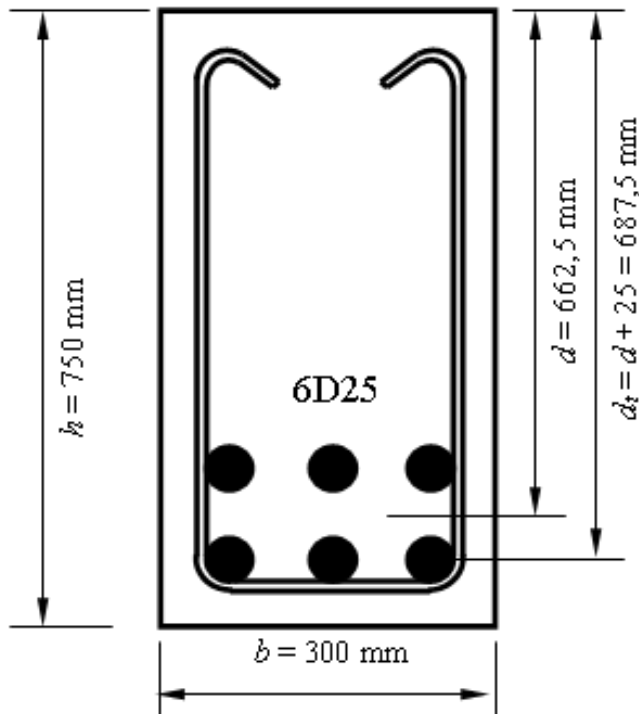
$$R_{u \text{ maks}} = \phi \rho_{maks} f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} f_y}{1,7 f'_c} \right) = 0,9 \times 0,01355 \times 400 \left(1 - \frac{0,01355 \times 400}{1,7 \times 20} \right)$$

= 4,09962 MPa (Nilai ρ_{maks} dan $R_{u \text{ maks}}$ dapat dilihat pula dari Tabel 4.1)

2. Dari persamaan 3.17, maka nilai bd^2 dapat dihitung sebagai berikut :

$$bd^2 = \frac{M_u}{R_u} = \frac{490 \cdot 10^6}{4,09962} = 119.523.272,88 \text{ mm}^3$$

Dengan mengasumsikan suatu nilai b , maka d dapat dihitung, dan $A_s = \rho bd$. Misal diambil lebar balok, $b = 300 \text{ mm}$, maka $d = 632 \text{ mm}$ dan $A_s = 2.565,82 \text{ mm}^2$. Sehingga dapat digunakan tulangan tarik 6D25, $A_s = 2.940 \text{ mm}^2$. Gambar penampang balok dan penempatan tulangan ditunjukkan dalam Gambar C.4.1. Selanjutnya cek kembali kuat momen rencana dari penampang tersebut.



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2.940 \times 400}{0,85 \times 20 \times 300}$$

$$= 230,59 \text{ mm}$$

$$c = a / 0,85 = 271,28$$

$$c/d_t = 271,28 / 687,5 = 0,3946$$

$$c/d_t > 0,375$$

(penampang pada daerah transisi)

$$\phi = 0,65 + 0,25 \left[\frac{d_t}{c} - \frac{5}{3} \right] = 0,87$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y (d - a/2)$$

$$= 559.856.379,6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$= 559,85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\phi M_n > M_u (= 490 \text{ kN}\cdot\text{m}) \text{ OK.}$$

Contoh 4.2

- Selesaikan kembali soal dalam Contoh 4.1 namun dengan mengambil nilai $\rho = 1\%$ dan $b = 350$ mm

Contoh 4.3

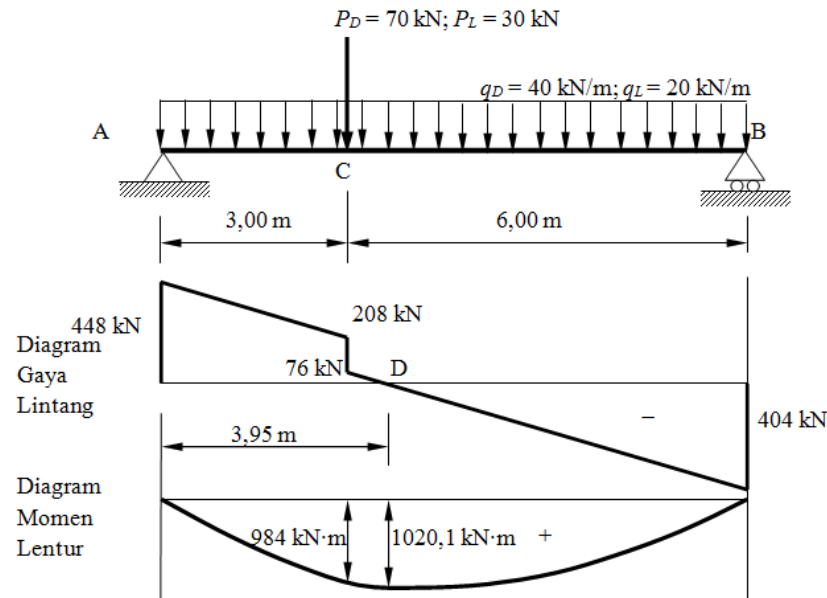
- Hitunglah jumlah tulangan tarik yang dibutuhkan untuk suatu penampang dengan lebar 250 mm, tinggi total 500 mm, yang memikul beban momen lentur terfaktor sebesar 200 kN·m. Gunakan $f'_c = 25$ MPa dan $f_y = 400$ MPa

Contoh 4.4

- Hitunglah jumlah tulangan tarik yang dibutuhkan untuk suatu penampang dengan lebar 350 mm, yang memikul beban momen lentur terfaktor sebesar 400 kN·m. Gunakan $f'_c = 30$ MPa dan $f_y = 400$ MPa

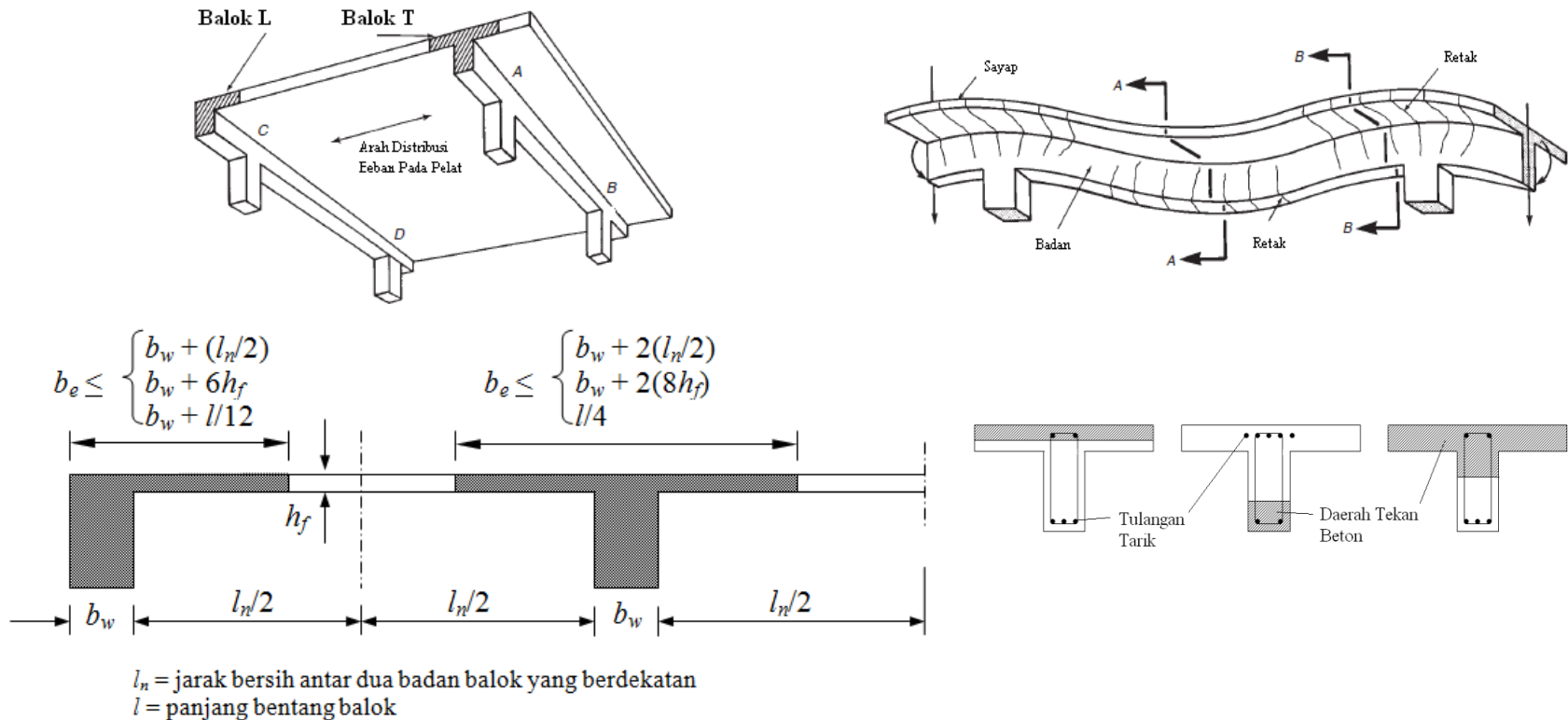
Contoh 4.5

- Suatu balok beton bertulang dengan tumpuan sederhana dengan panjang bentang 9 meter, memikul beban seperti pada gambar. Lakukan desain terhadap balok tersebut dengan menggunakan rasio tulangan sebesar maksimum 1,5%, $b = 500$ mm, serta $f'_c = 25$ MPa dan $f_y = 400$ MPa



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

Analisis dan Desain Balok T



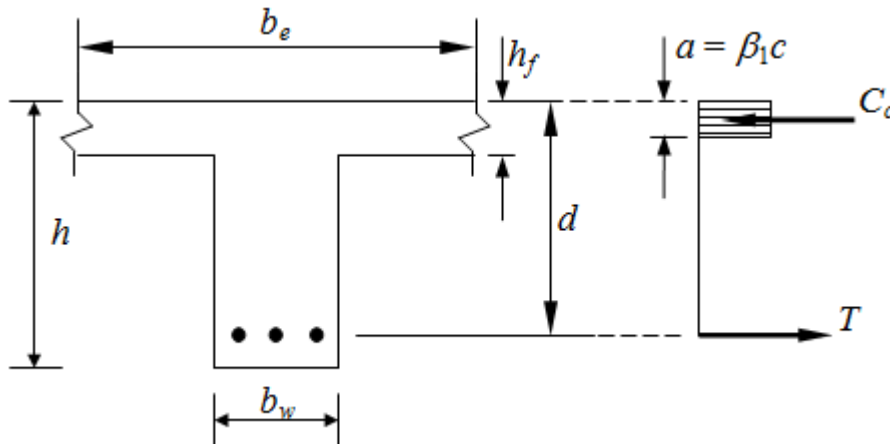
Gambar Syarat Lebar Efektif Balok T dan L

Analisis dan Desain Balok T

- Cara analisis balok penampang T hampir serupa dengan balok persegi.
- Distribusi tegangan tekan pada beton mengikuti blok tegangan Whitney.
- Prosedur analisis kuat momen nominal, M_n , untuk suatu penampang T atau L dapat dibedakan menjadi 2 macam kategori :
 1. tinggi efektif blok tegangan Whitney, a , kurang atau sama dengan tebal sayap tekan, h_f ($a \leq h_f$)
 2. tinggi efektif blok tegangan Whitney, a , lebih besar dari tebal sayap penampang ($a > h_f$)

Dalam banyak hal, kasus pertama akan lebih sering dijumpai daripada kasus kedua.

Analisis dan Desain Balok T ($a \leq h_f$)



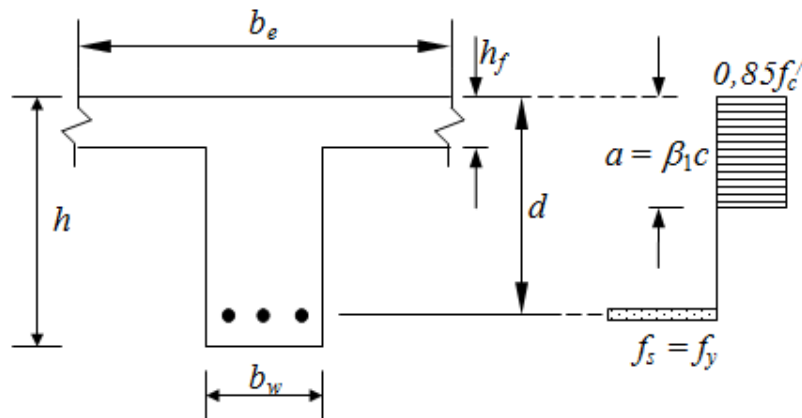
1. Asumsikan $a = \beta_1 c < h_f$
2. Asumsikan $\varepsilon_s > \varepsilon_y$
3. Hitung $a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b_e}$
4. Periksa apakah $a \leq h_f$
5. Periksa kembali apakah $\varepsilon_t > \varepsilon_y$
6. Hitung M_n sebagai berikut :

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

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 3 \cdot 10^{-3}$$

Analisis sama seperti balok persegi tulangan tunggal!

Analisis dan Desain Balok T ($a > h_f$)



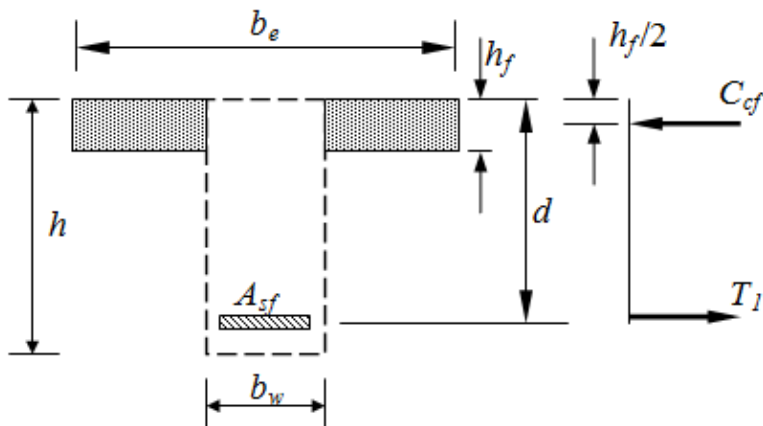
Guna keperluan analisis, maka penampang balok T dipisahkan menjadi dua bagian.

Pada bagian pertama penampang, gaya tekan yang bekerja pada sisi sayap tekan adalah :

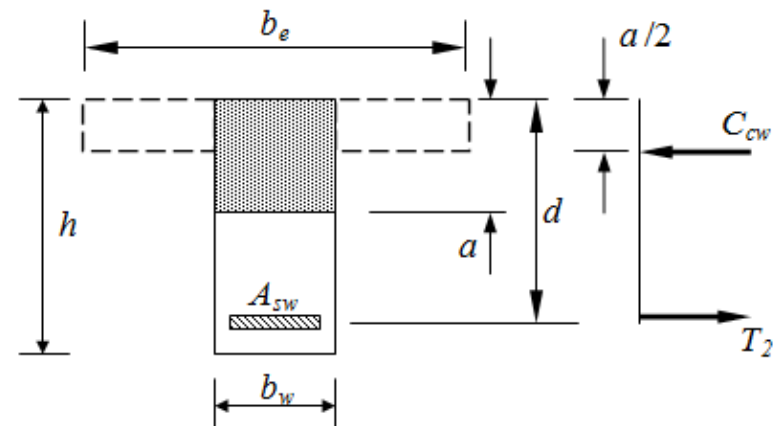
$$C_{cf} = 0,85f'_c(b_e - b_w)h_f$$

Sedangkan gaya tekan pada bagian badan adalah :

$$C_{cw} = 0,85f'_c b_w a$$



+



Analisis dan Desain Balok T ($a > h_f$)

- Dari keseimbangan gaya :

$$T = A_s f_y = C_{cf} + C_{cw}$$

- Sehingga :
$$a = \frac{T - C_{cf}}{0,85 f'_c \cdot b_w}$$

- Tinggi sumbu netral dapat dihitung, $c = a/\beta_1$, dan regangan tarik pada tulangan baja, ε_t dapat diperiksa apakah sudah lebih besar dari regangan luluh.
- Akhirnya momen nominal penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_n = C_{cf} \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + C_{cw} \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Analisis dan Desain Balok T

Sesuai ACI 318M-11 pasal 10.5.2 disebutkan bahwa luas tulangan minimum untuk balok penampang T atau L, tidak kurang dari yang disyaratkan dalam persamaan :

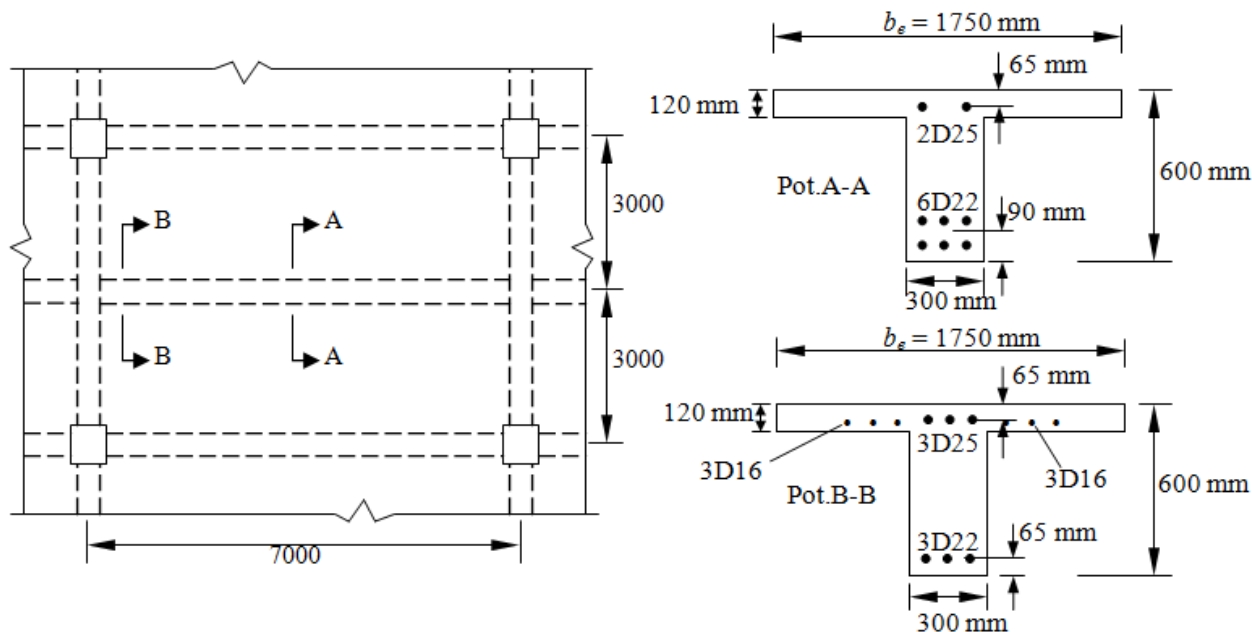
$$A_{s\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w \cdot d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

- Hanya saja nilai b_w diganti dengan $2b_w$ atau b_e , diambil yang terkecil.

Analisis dan Desain Balok T

Contoh 5.1 :

Suatu konstruksi pelat lantai dengan denah strukturnya ditunjukkan dalam Gambar. Hitunglah besarnya kuat momen rencana, ϕM_n , dari balok anak pada potongan A-A dan B-B. Anggap balok sebagai balok T. Gunakan nilai $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$



1. Menghitung lebar efektif bagian sayap balok, dengan mengambil nilai terkecil dari :

$$b_e \leq \frac{l}{4} = \frac{7000}{4} = 1.750 \text{ mm}$$

$$b_e \leq b_w + 2(8h_f) = 300 + 16(120) = 2.220 \text{ mm}$$

$$b_e \leq b_w + 2\left(\frac{3000 - b_w}{2}\right) = 300 + (3000 - 300) = 3.000 \text{ mm}$$

sehingga nilai $b_e = 1.750 \text{ mm}$

1. Untuk penampang balok Potongan A-A, hitung ϕM_n dan $A_{s \text{ min.}}$

$$A_s = 6(380) = 2.280 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2(490) = 980 \text{ mm}^2$$

Asumsikan bahwa balok termasuk dalam kategori pertama ($a \leq h_f$) dan asumsikan pula tulangan tarik sudah luluh ($\varepsilon_t > \varepsilon_y$).

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_e} = \frac{2.280 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1.750} = 24,52 \text{ mm} < h_f (= 120 \text{ mm})$$

ternyata nilai a lebih kecil daripada h_f , dan juga lebih kecil dari d' , sehingga A_s' dapat diabaikan dalam perhitungan M_n . Hal ini merupakan hal yang umum dijumpai pada balok T dengan momen positif. Balok dengan daerah tekan yang lebar **tidak memerlukan tulangan tekan** untuk meningkatkan momen nominal. Tulangan tekan yang dipasang lebih diperuntukkan bagi kekontinuan penulangan, mereduksi lendutan balok atau juga untuk tempat pemasangan tulangan geser.

Selanjutnya periksa apakah tulangan tarik benar sudah luluh.

$$c = a/\beta_1 = 24,525/0,85 = 28,85 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) 0,003 = \left(\frac{510 - 28,85}{28,85} \right) 0,003 = 0,05 > e_y (= f_y/E_s = 0,002)$$

Jadi tulangan tarik sudah luluh, selanjutnya periksa apakah penampang terkendali tarik

$$\epsilon_t = \left(\frac{d_t - c}{c} \right) 0,003 = \left(\frac{535 - 28,85}{28,85} \right) 0,003 = 0,0526 > 0,005$$

Sehingga penampang terkendali tarik, $\phi = 0,90$.

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 2.280(400) \left(510 - \frac{24,52}{2} \right) = 453.938.880 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\phi M_n = 0,90(453.938.880) = 408.544.992 \text{ N}\cdot\text{mm} = 408,54 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

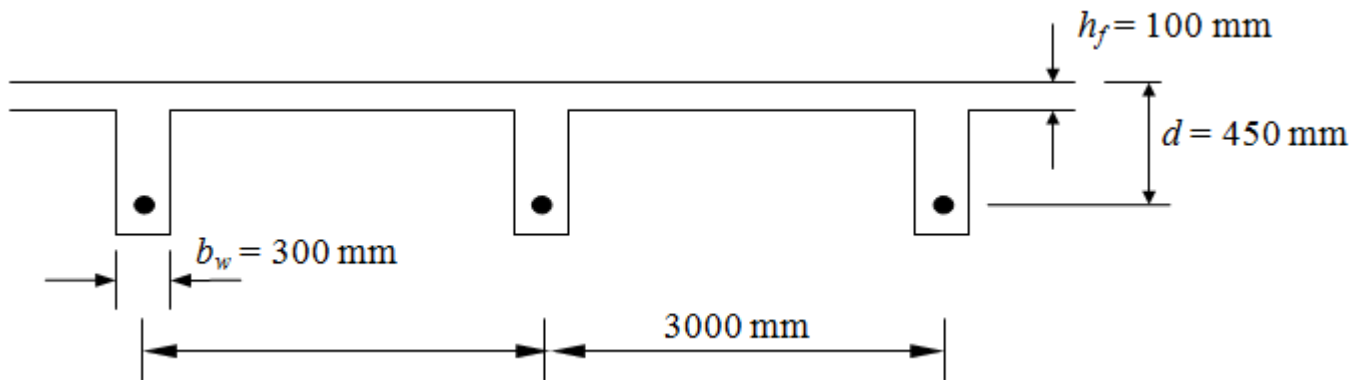
Untuk pemeriksaan luas tulangan minimum, karena $2b_w (= 600) < b_e (= 1.750 \text{ mm})$, dan karena $f'_c < 30$ MPa, maka :

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} 2b_w d = \frac{1,4}{400} (600)(510) = 1.071 \text{ mm}^2 < A_s \quad (\text{OK})$$

Analisis dan Desain Balok T

Contoh 5.2

Desainlah sebuah balok T dari suatu sistem balok-pelat pada Gambar berikut ini. Beban momen lentur yang bekerja akibat beban hidup dan beban mati adalah $M_D = 105 \text{ kN}\cdot\text{m}$ dan $M_L = 135 \text{ kN}\cdot\text{m}$. Balok memiliki panjang bentang, $l = 6,0 \text{ m}$. Gunakan $f'_c = 20 \text{ MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$



Penyelesaian

1. Hitung momen terfaktor yang bekerja pada balok :

$$M_u = 1,2M_D + 1,6 M_L = 1,2(105) + 1,6(135) = 342 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

2. Tentukan lebar efektif balok T, b_e , yang diambil dari nilai terkecil antara :

- a. $b_w + 2(l_n/2) = 300 + 2(2700/2) = 3000 \text{ mm}$

- b. $b_w + 2(8h_f) = 300 + 2(8)(100) = 1900 \text{ mm}$

- c. $l/4 = 6000/4 = 1500 \text{ mm}$ ambil $b_e = 1500 \text{ mm}$

3. Periksa posisi sumbu netral, asumsikan tinggi blok tegangan tekan $a = h_f = 100 \text{ mm}$, maka

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi 0,85 f'_c b h_f (d - h_f/2) = 0,9(0,85)(25)(1500)(100)(450 - 100/2) \\ &= 1.147.500.000 \text{ N}\cdot\text{mm} = 1.147,5 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_u\end{aligned}$$

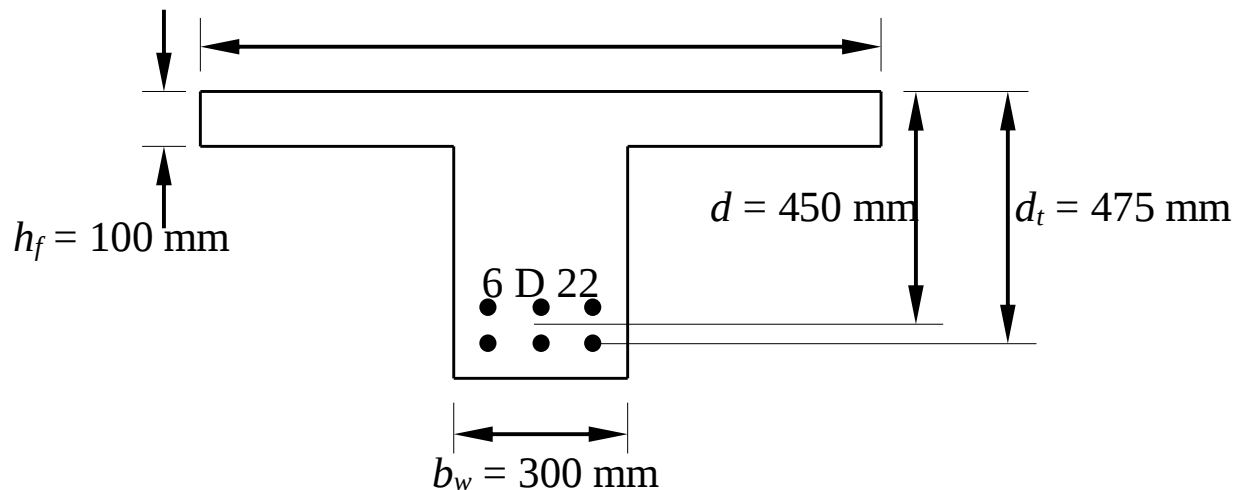
Desain dapat dilakukan seperti penampang balok persegi.

1. Menentukan luas tulangan tarik, dengan menganggap sebagai balok persegi dengan lebar $b = 1500$ mm

$$R_u = \frac{M_u}{bd^2} = \frac{342 \cdot 10^6}{1500 \times 450^2} = 1,1259 \text{ MPa}$$

Dari persamaan 4.2 diperoleh $\rho = 0,003225$. $A_s = \rho bd = 0,003225(1500)(450) = 2176,88 \text{ mm}^2$

Gunakan 6D22 ($A_s = 2.280 \text{ mm}^2$) dipasang dua lapis



Gambar C.4.7.b

1. Periksa bahwa $\rho_w > \rho_{\min}$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2.280}{300 \times 450} = 0,01688 > \rho_{\min} (= 0,004)$$

2. Periksa bahwa penampang terkendali tarik

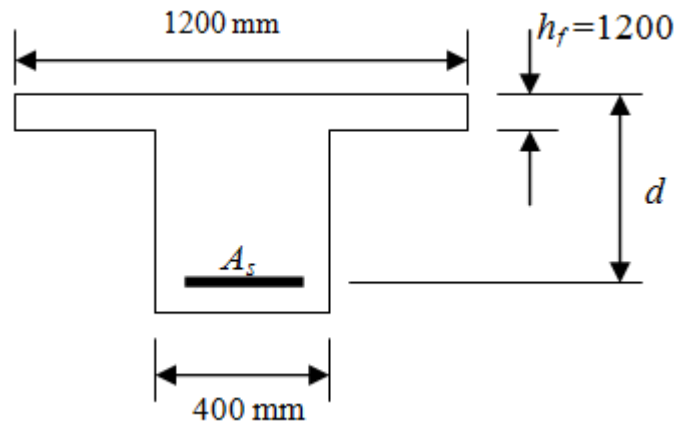
$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2.280 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1500} = 28,61 \text{ mm}$$

$$c = a/0,85 = 33,66 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d_t - c}{c} 0,003 = \frac{475 - 33,66}{33,66} \times 0,003 = 0,039 > 0,005 \quad (\text{terkendali tarik})$$

Contoh 5.3

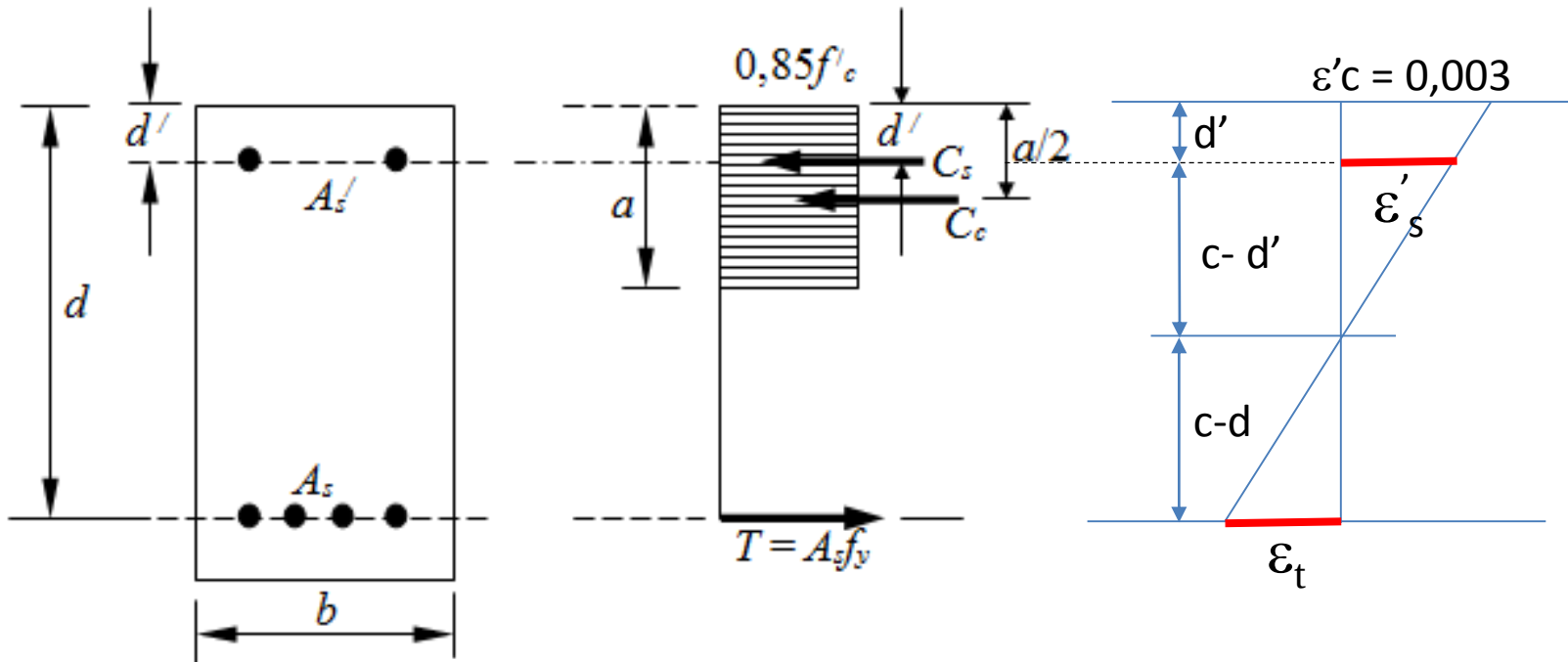
Dalam suatu sistem balok pelat, diketahui bahwa lebar sayap balok T adalah 1200 mm, lebar badan balok, $b_w = 400$ mm, $d = 750$ mm, dan tebal pelat $h_f = 100$ mm. Desainlah luas tulangan tarik A_s , untuk memikul momen terfaktor sebesar $M_u = 1.100$ kN·m. Gunakan $f'_c = 20$ MPa dan $f_y = 400$ MPa.



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 Rangkap



Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

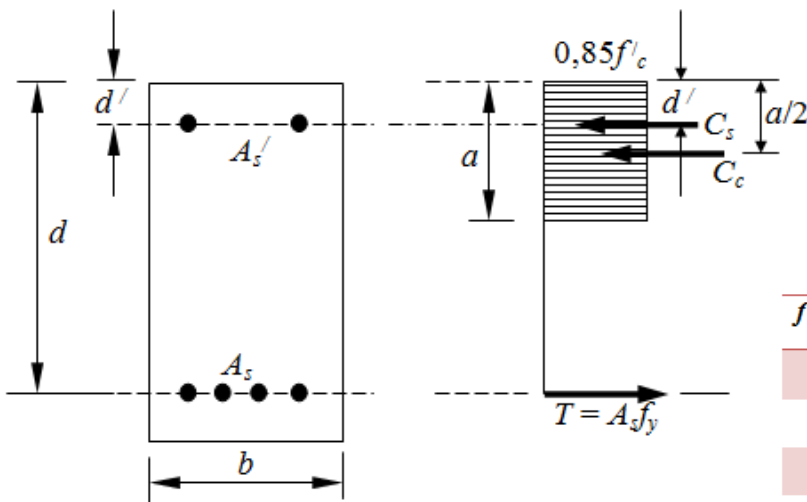
- Analisis terhadap penampang balok bertulangan rangkap didasarkan pada **kondisi tulangan tekan**
- Ada dua macam kasus yang akan dijumpai, yaitu apakah **tulangan tekan sudah luluh** atau **belum luluh**

Syarat tulangan tekan sudah luluh :

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

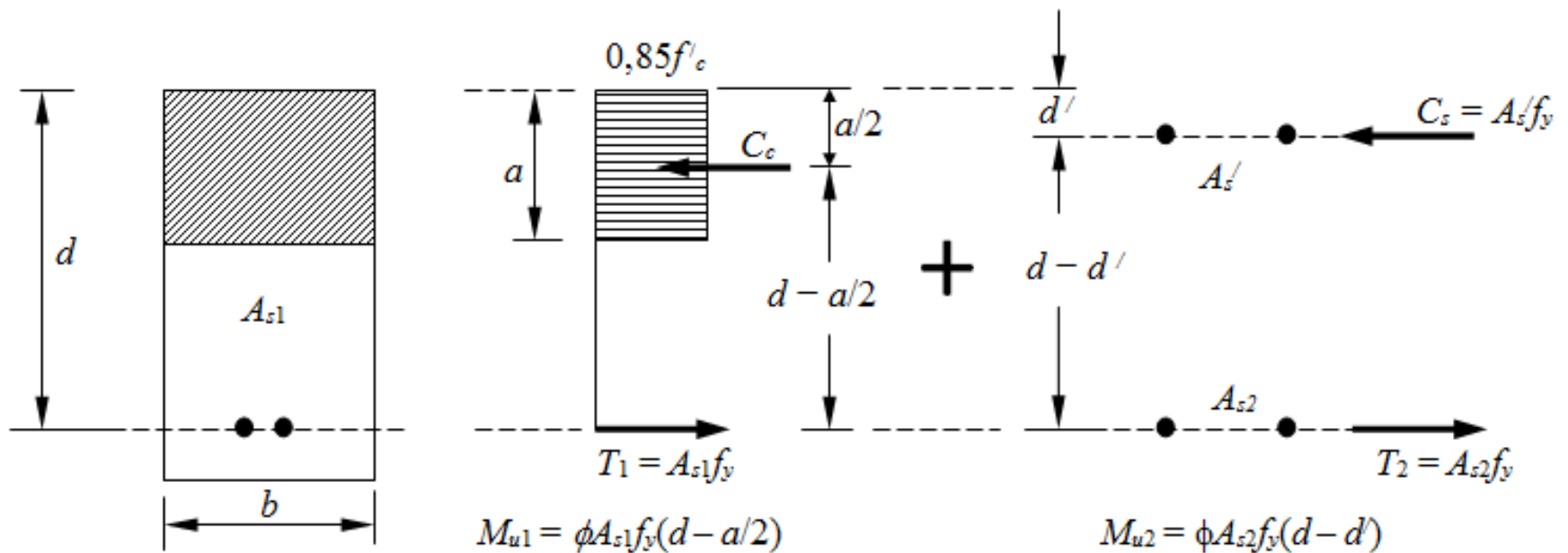
Tabel Nilai K Untuk Pemeriksaan Keluluhan Tulangan Tekan

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 $\epsilon'_s > \epsilon_y$

Analisis dan Desain 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 dan Desain Balok Bertulangan Rangkap (tulangan tekan sudah luluh)

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

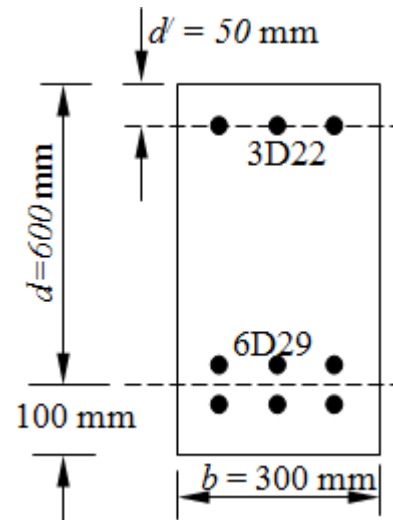
Syarat batasan rasio tulangan :

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

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

Contoh 5.4

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

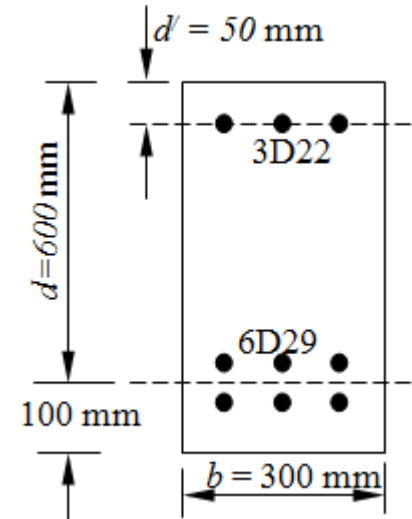


1. Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh ataukah belum

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

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

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



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 :

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

$$(\rho - \rho') = 0,01567 > 0,01129$$

(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

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

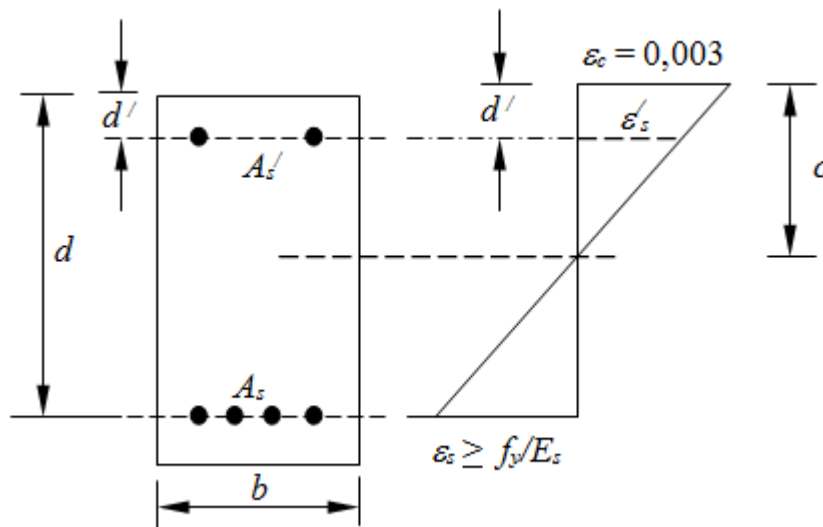
$$\text{dengan } a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2.820 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 176,94 \text{ mm}$$

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

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap (tulangan tekan belum luluh)

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

tulangan tekan belum luluh



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

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

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

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

$$T = A_s f_y$$

Analisis dan Desain 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 dan Desain Balok Bertulangan Rangkap (tulangan tekan belum luluh)

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.

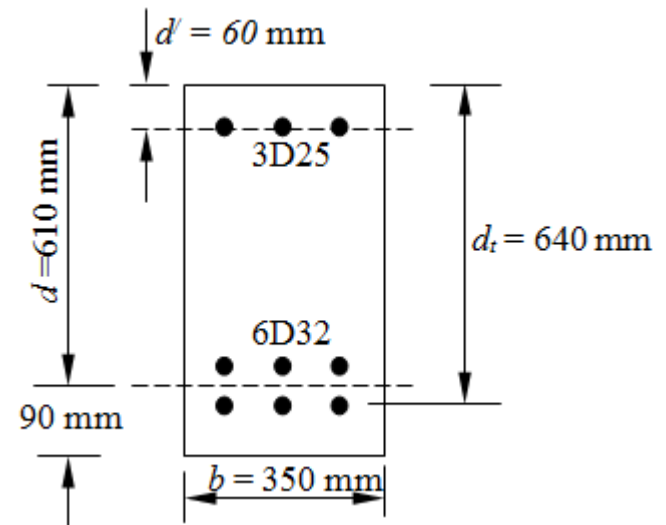
$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

Contoh 5.5

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

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

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

1. Hitung rasio tulangan seimbang, ρ_b , dan rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}

Hitung $A_{s\ maks} = A_{s1} = \rho_{maks} b d$ (luas tulangan tunggal maksimum).

2. Hitung $R_{u\ maks}$ menggunakan ρ_{maks} ($\phi = 0,90$)

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

3. Hitung kuat momen rencana balok bertulangan tunggal, M_{u1} , menggunakan ρ_{maks} dan $R_{u\ maks}$

$$M_{u1} = R_{u\ maks} b d^2$$

Jika $M_{u1} < M_u$, maka diperlukan tulangan tekan, dan lanjutkan ke langkah berikutnya

Jika $M_{u1} > M_u$, maka tidak perlu dipasang tulangan tekan.

4. Hitung $M_{u2} = M_u - M_{u1}$ = kuat momen rencana yang dipikul oleh tulangan tekan
5. Hitung A_{s2} dari hubungan $M_{u2} = \phi A_{s2} f_y (d - d')$, dan selanjutnya luas tulangan tarik total, A_s , adalah

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

Analisis dan Desain Balok Bertulangan Rangkap

6. Hitung tegangan pada tulangan tekan sebagai berikut :
 - a. hitung $f'_s = 600(c-d')/c \leq f_y$
 - b. atau nilai ϵ'_s dapat dihitung dari diagram regangan, dan $f'_s = \epsilon'_s E_s$. Jika $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$, maka tulangan tekan sudah leleh dan $f'_s = f_y$
 - c. hitung A'_s dari $M_{u2} = \phi A'_s f_s (d - d')$. Jika $f'_s = f_y$, maka $A'_s = A_{s2}$. Jika $f'_s < f_y$, maka $A'_s > A_{s2}$ dan $A'_s = A_{s2}(f_y/f'_s)$
7. Pilih tulangan yang akan digunakan sebagai A_s dan A'_s , yang mencukupi untuk lebar balok, b . Pada beberapa kasus A_s dapat disusun dalam dua baris atau lebih
8. Hitung tinggi total balok, h dan periksa bahwa $\rho - \rho'(f'_s/f_y) < \rho_{maks}$
9. Dapat dilakukan pemeriksaan akhir, $\phi M_n > M_u$. Sebagai catatan bahwa dalam langkah 1 nilai rasio tulangan ρ dapat diambil lebih kecil dari ρ_{maks} , misalkan diambil $\rho = 0,60\rho_b$ atau $\rho = 0,9\rho_{maks}$, sehingga tulangan tarik yang pada akhirnya dipakai masih lebih kecil dari batasan ρ_{maks}
10. Regangan pada tulangan dapat dihitung dengan persamaan

$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} 0,003 \geq 0,005$$

Tugas

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 $350 \text{ kN}\cdot\text{m}$. Gunakan $f'_c = 20 \text{ MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$. Hitung luas tulangan yang dibutuhkan.

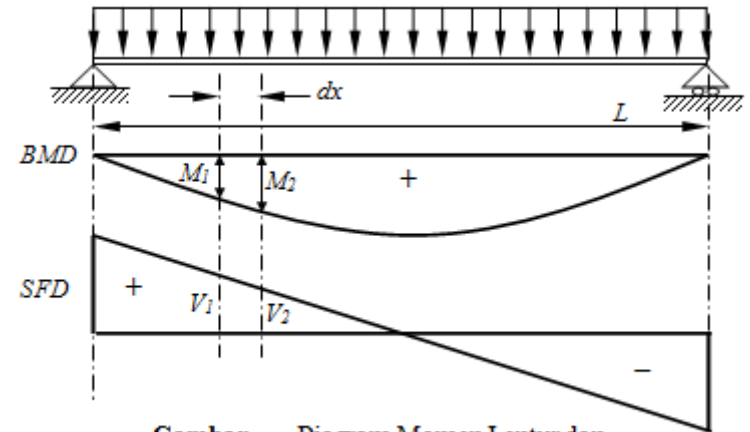
Tabel Nilai ρ dan $R_u (=M_u/bd^2)$ Untuk Penampang Dominan Tarik, $\varepsilon_t = 0,005$ dan $\phi = 0,90$

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

- Sub Pokok Bahasan :
 - Teori Dasar Geser
 - Analisis Geser Pada Balok

Teori Dasar Geser

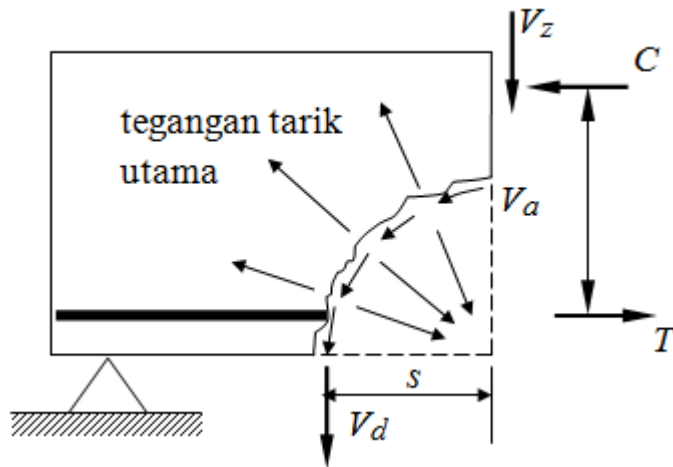
- Sebuah balok diberi beban seperti pada Gambar
- Akan muncul momen lentur dan gaya geser secara bersamaan
- Untuk dapat memikul beban tersebut dengan aman, maka balok harus didesain terhadap kedua macam gaya tersebut (yaitu momen lentur dan geser)
- Desain terhadap lentur dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan ukuran penampang balok serta kebutuhan tulangan utama atau tulangan lenturnya
- Selanjutnya balok harus didesain untuk mencukupi memikul gaya geser yang terjadi
- Apabila tulangan geser tidak dipasang, maka kegagalan geser akan terjadi
- Balok harus didesain sedemikian rupa sehingga kegagalan akibat geser tidak terjadi sebelum kegagalan lentur terjadi.



Gambar Diagram Momen Lentur dan Gaya Lintang Pada Balok Tertumpu

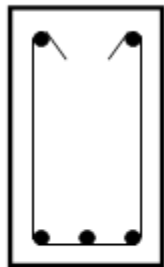


Mekanisme Tahanan Geser Beton Bertulang

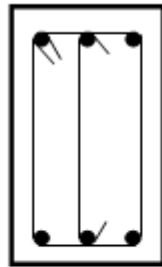


1. Tahanan geser beton yang didasarkan pada penampang yang masih utuh, belum retak, V_z
2. Transfer geser antarmuka, V_a , akibat lekatan agregat sepanjang bidang retak, V_a
3. Tahanan yang diberikan oleh tulangan memanjang, V_d

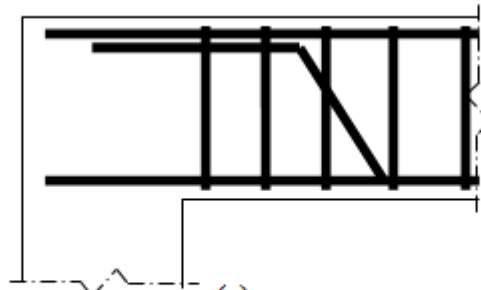
Balok Dengan Tulangan Geser



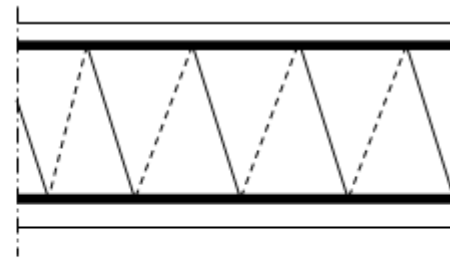
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Sengkang Terbuka Dengan Dua Kaki, (b) Sengkang Tertutup Dengan Tiga Kaki,

(c) Gabungan Sengkang Vertikal dan Tulangan Miring, (d) Spiral

Balok Dengan Tulangan Geser

Kuat geser nominal, V_n dari balok beton bertulang dengan tulangan geser, sebagian disumbangkan oleh kuat geser beton, V_c , dan sebagian disumbangkan oleh kuat geser tulangan geser, V_s .

$$V_n = V_c + V_s$$

Gaya geser V_u yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi ϕ , atau :

$$V_u < \phi V_n = \phi(V_c + V_s)$$

Dengan besarnya faktor reduksi, ϕ , untuk geser adalah sebesar **0,75**.

Balok Dengan Tulangan Geser

Nilai kuat geser yang disumbangkan oleh beton dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$1. V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$$

Jika pengaruh gaya aksial diperhitungkan, maka :

$$2. \text{untuk gaya aksial tekan, } V_c = \left(0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_m} \right) b_w d \leq 0,29\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29N_u}{A_g}}$$

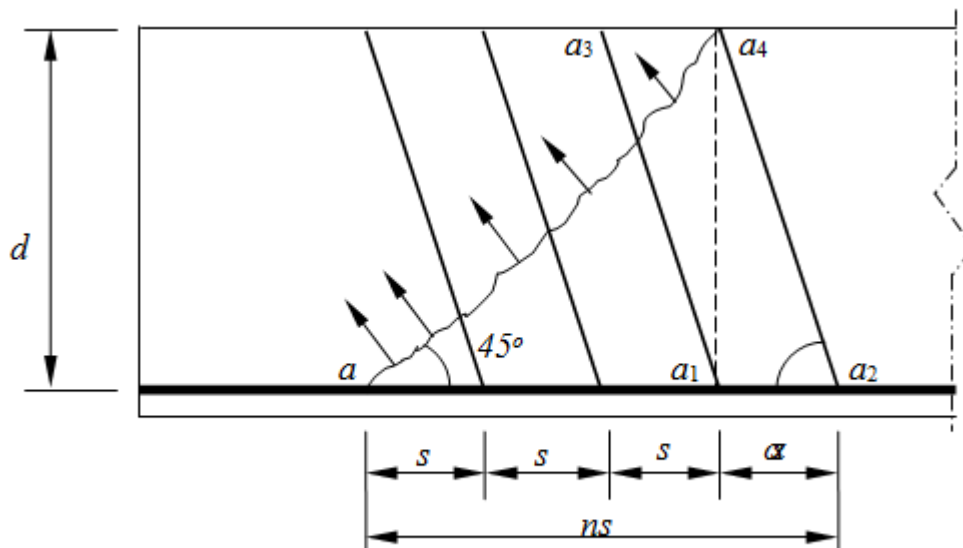
$$\text{dengan } M_m = M_u - N_u \left(\frac{4h - d}{8} \right); \text{ sedangkan } \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$$

Nilai $V_u d / M_u$ boleh lebih besar dari 1,0. Dengan A_g adalah luas penampang gross balok.

Suku N_u / A_g dinyatakan dalam satuan MPa

$$3. \text{untuk gaya aksial tarik, } V_c = 0,17 \left(1 + \frac{0,29N_u}{A_g} \right) \lambda\sqrt{f'_c}b_w d$$

Balok Dengan Tulangan Geser



Perhitungan Nilai V_s Dengan Analogi Rangka Batang

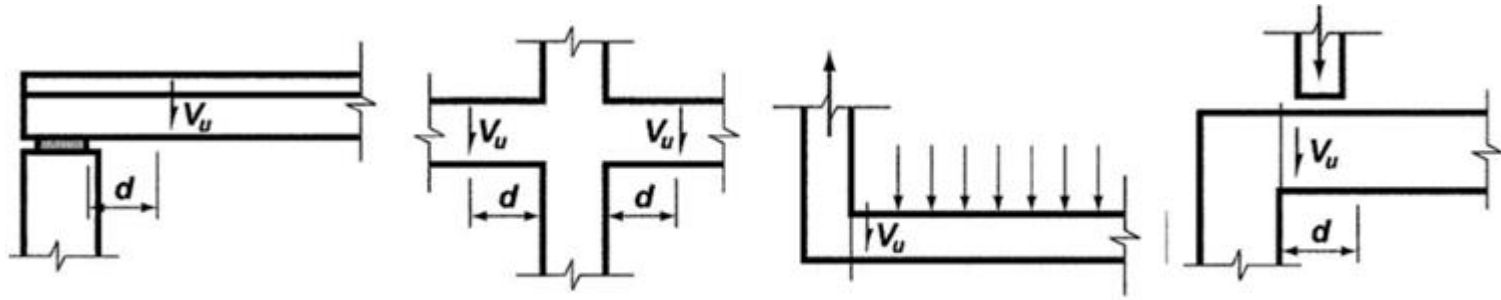
$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

Untuk sengkang vertikal, maka nilai $\alpha = 90^\circ$, sehingga :

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad \text{atau} \quad s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$$

Penampang Kritis Untuk Geser

ACI 318M-11 pasal 11.1.3.1 mengizinkan untuk mengambil penampang kritis guna perhitungan kuat geser nominal **pada jarak d dari muka tumpuan**



Tulangan Geser Minimum

Suatu komponen struktur lentur (prategang atau non prategang), harus disediakan tulangan geser minimum, A_{vmin} , apabila V_u melebihi $0,5\phi V_c$,

$$A_{vmin} = 0,062\sqrt{f'_c}\left(\frac{b_ws}{f_{yt}}\right) \geq \frac{0,35b_ws}{f_{yt}}$$

Jarak Maksimum Tulangan Geser

1. Jika $V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$

$s_{maks} < d/2$ atau 600 mm

2. Jika $0,33\sqrt{f'_c}b_wd < V_s \leq 0,66\sqrt{f'_c}b_wd$

$s_{maks} < d/4$ atau 300 mm

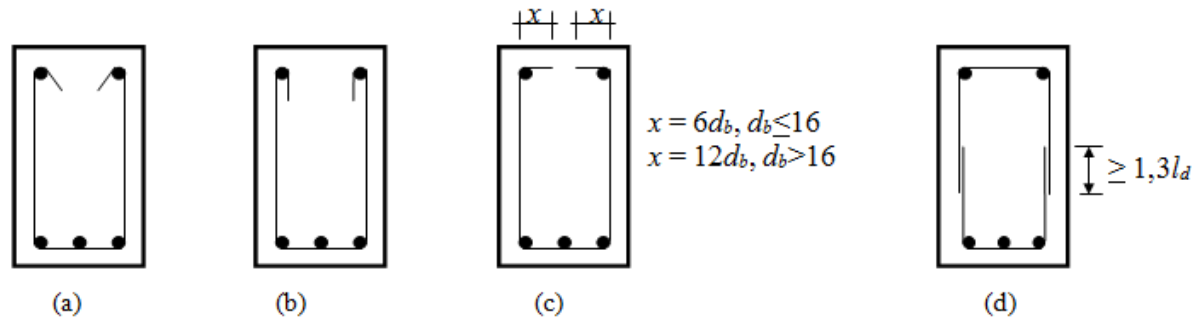
3. Jika $V_s > 0,66\sqrt{f'_c}b_wd$,

maka ukuran penampang harus diperbesar

Selain itu jarak tulangan maksimum juga harus diperiksa terhadap syarat luas tulangan geser minimum

$$s_{maks} = \frac{A_v f_{yt}}{0,35b_w} \geq \frac{A_v f_{yt}}{0,062\sqrt{f'_c}b_w}$$

Pengangkur Sengkang



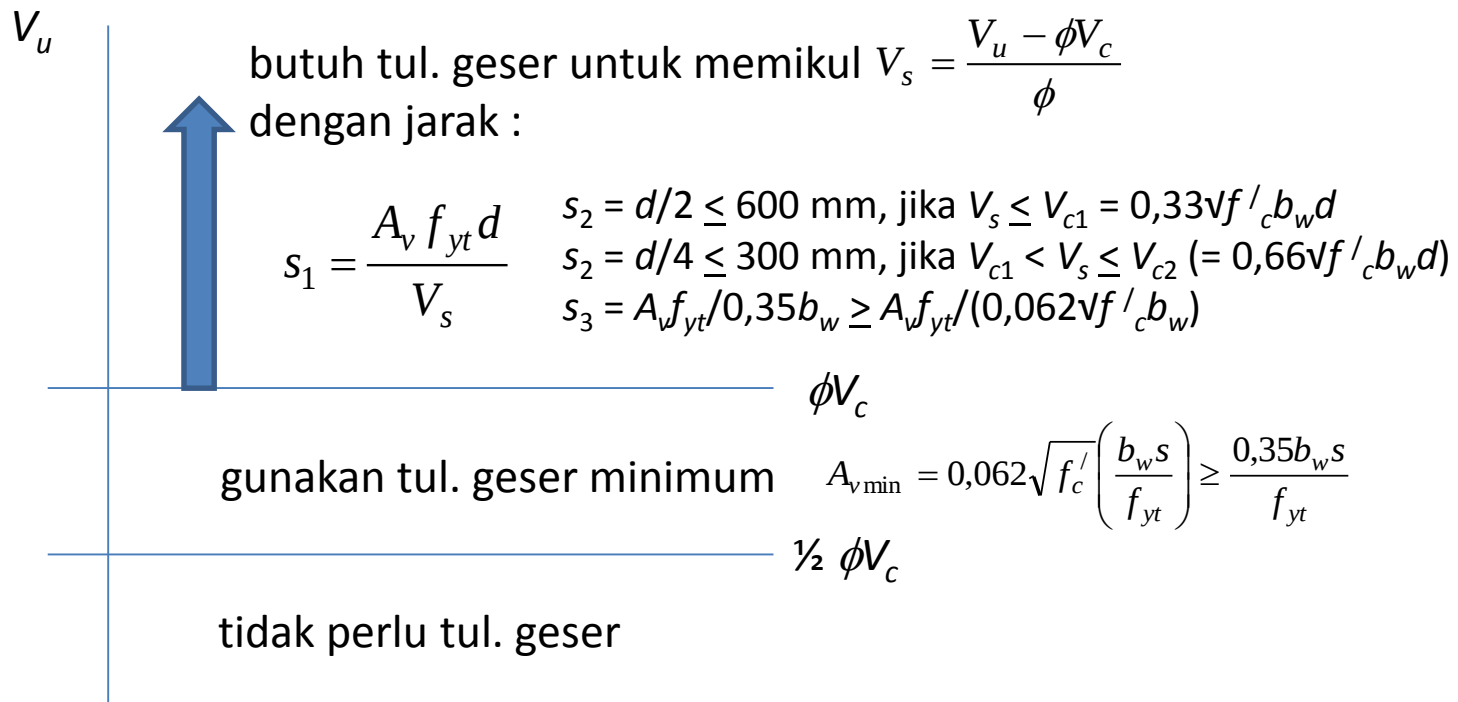
(a) Kait 135°, (b) Kait 180°, (c) Kait 90°, (d) Sengkang U Ganda

Sengkang Pertama

ACI 318M-11 pada pasal 11.1.3.1 menyebutkan bahwa tulangan geser harus disediakan pada daerah antara muka kolom hingga sejarak d , pada daerah ini balok didesain terhadap gaya geser V_u yang besarnya sama dengan gaya geser yang terjadi pada lokasi penampang kritis. Sedangkan sengkang pertama pada umumnya dipasang sejarak $s/2$ dari muka kolom.

- Sub Pokok Bahasan :
 - Desain Balok Terhadap Geser

- Desain Balok Terhadap Geser



Contoh 7.1

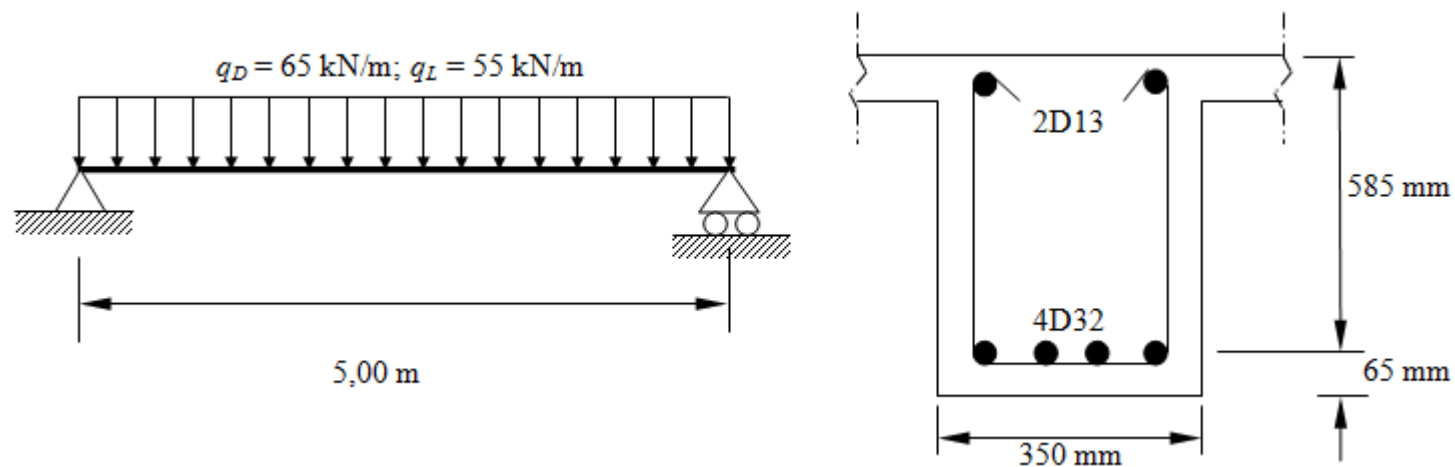
Sebuah balok beton bertulang tertumpu sederhana dengan penampang berukuran $b = 300$ mm, $d = 532,5$ mm, $h = 600$ mm. Tulangan lentur yang digunakan adalah 4D25. Periksa apakah penampang mencukupi untuk tiap gaya geser ultimit yang diberikan berikut ini. Apabila tidak, hitunglah kebutuhan tulangan gesernya dengan menggunakan tulangan sengkang vertikal U. Beton yang digunakan adalah jenis beton normal ($\lambda = 1,0$).

Gunakan $f'_c = 25$ MPa dan $f_{yt} = 400$ MPa

- a. 50 kN b. 100 kN c. 240 kN d. 340 kN e. 570 kN

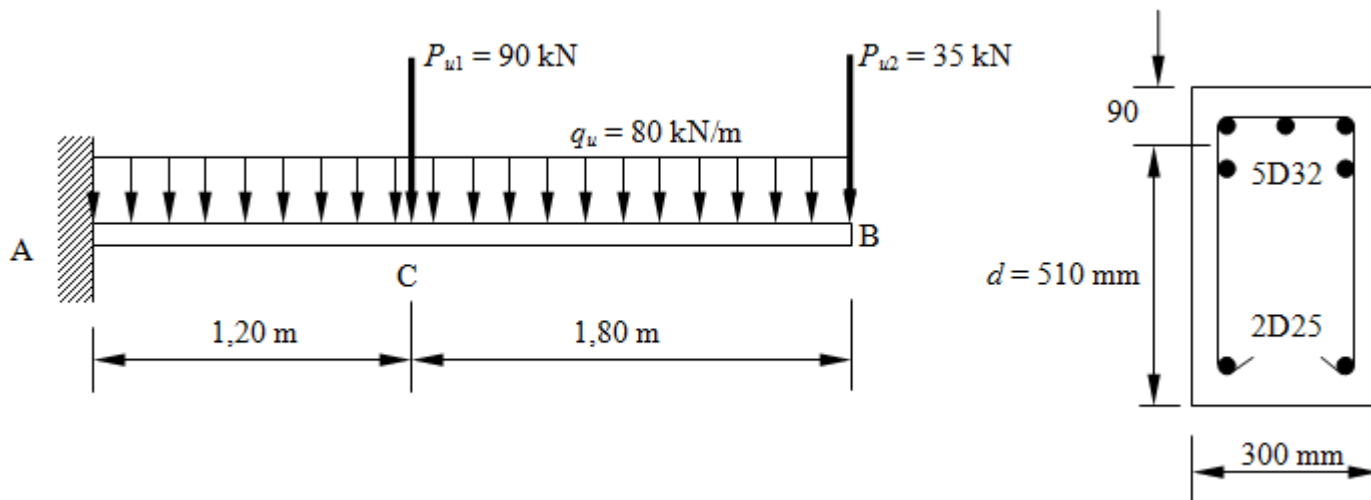
Tugas

Sebuah balok beton bertulang tertumpu sederhana dengan bentang 5 m. Balok memikul beban merata yang terdiri dari beban mati 65 kN/m dan beban hidup 55 kN/m. Periksa ukuran penampang terhadap gaya geser dan hitung kebutuhan tulangan geser. Beton yang digunakan adalah jenis beton normal ($\lambda = 1,0$). Gunakan $f'_c = 20$ MPa dan $f_{yt} = 400$ MPa



Contoh 7.3

Balok beton kantilever dengan panjang 3 m, memikul beban merata dan beban terpusat terfaktor. Beban sendiri balok sudah termasuk ke dalam beban tersebut. Dengan menggunakan $f'_c = 25$ MPa dan $f_{yt} = 400$ MPa desainlah penulangan geser dari balok tersebut.



Contoh 7.4

Sebuah elemen kolom dengan ukuran penampang 300 mm × 300 mm, memikul gaya aksial, momen dan geser seperti ditunjukkan dalam Gambar. Periksa kebutuhan tulangan sengkang dari kolom tersebut, dengan memperhitungkan pengaruh gaya aksial.

Gunakan $f'_c = 35$ MPa dan $f_{yt} = 400$ MPa.

