

MODUL – 3

LENTUR PADA BALOK PERSEGI (Tulangan Tunggal)

Oleh

Ir. Darmansyah Tjitradi, ST., MT.

CAPAIAN PEMBELAJARAN MATAKULIAH:

- Mahasiswa mampu memahami momen nominal dan ultimit pada balok persegi
- Mahasiswa mampu menganalisis & mendesain balok/pelat bertulangan tunggal akibat momen lentur
- Mahasiswa mampu mengaplikasikan penulangan balok persegi pada kasus pelat satu arah

ASUMSI DASAR DALAM PERENCANAAN

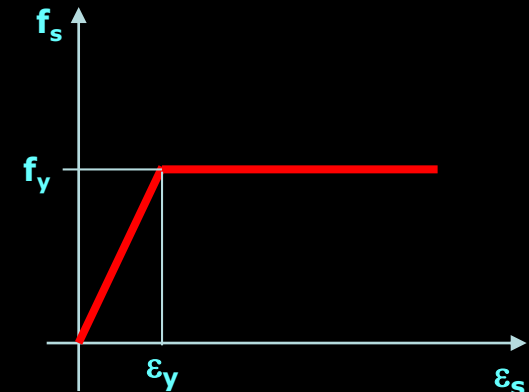
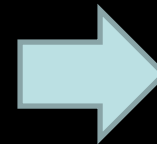
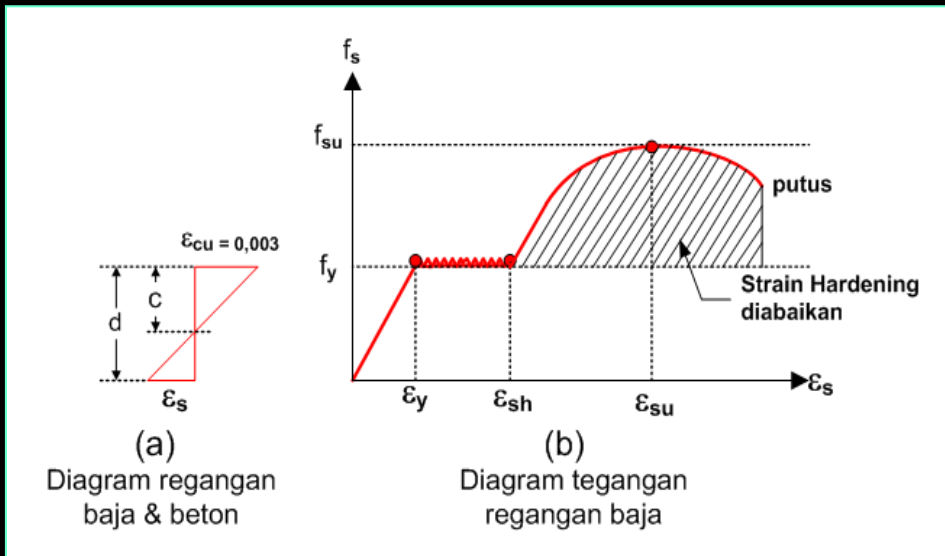
- **Analisis keseimbangan dlm perancangan**
 - Keseimbangan Statis
 - Kompatibilitas dari Regangan
- **Asumsi perhitungan M. Lentur Nominal (M_n):**
 - Regangan baja (ϵ_s) dan regangan beton (ϵ_c) dianggap berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral (c)
 - Regangan tekan beton ultimit pada serat tekan (ϵ_{cu}) = 0,003 \rightarrow 0,0003 s/d 0,004

■ Penambahan akibat strain hardening baja diabaikan

- $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s = E_s \cdot \epsilon_s$
- $\epsilon_s \geq \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$
- $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow T = A_s \cdot f_s = A_s \cdot E_s \cdot \epsilon_s$
- $\epsilon_s \geq \epsilon_y \rightarrow T = A_s \cdot f_y$

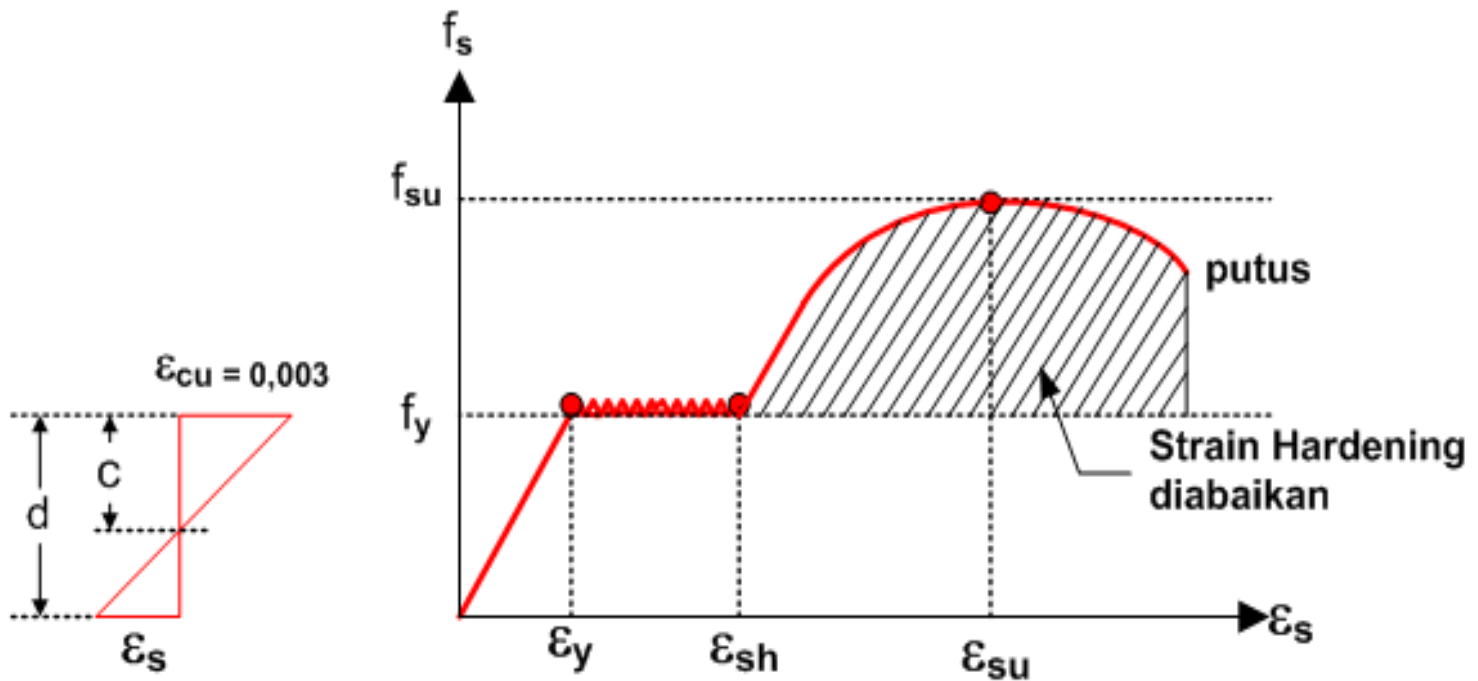
■ Modulus Elastisitas Baja $E_s = 2,0 \cdot 10^5$ MPa

■ Kekuatan tarik beton diabaikan



SNI

DIAGRAM TEGANGAN-REGANGAN BAJA



(a)
Diagram regangan
baja & beton

(b)
Diagram tegangan
regangan baja

Kuat Nominal, Kuat Rencana, dan Kuat Perlu

Kuat Nominal adalah kekuatan suatu komponen struktur penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai.

Kuat Nominal berupa M_n , V_n , T_n , dan P_n .

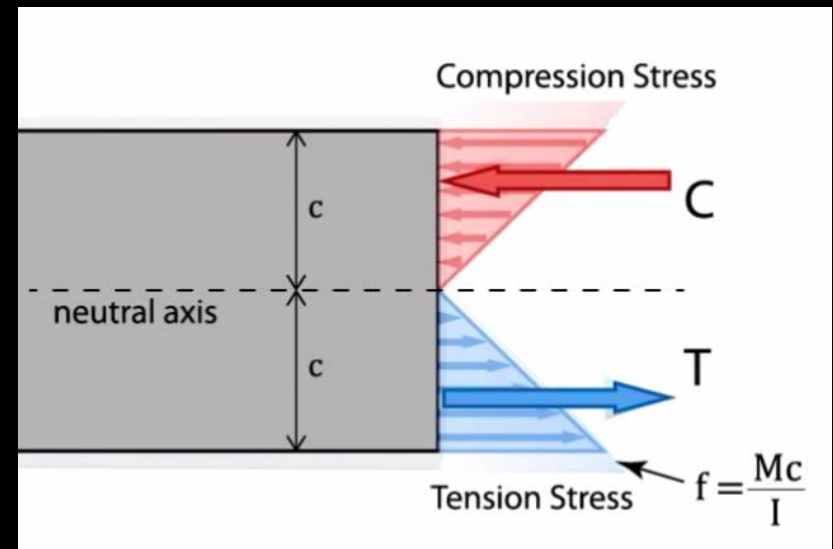
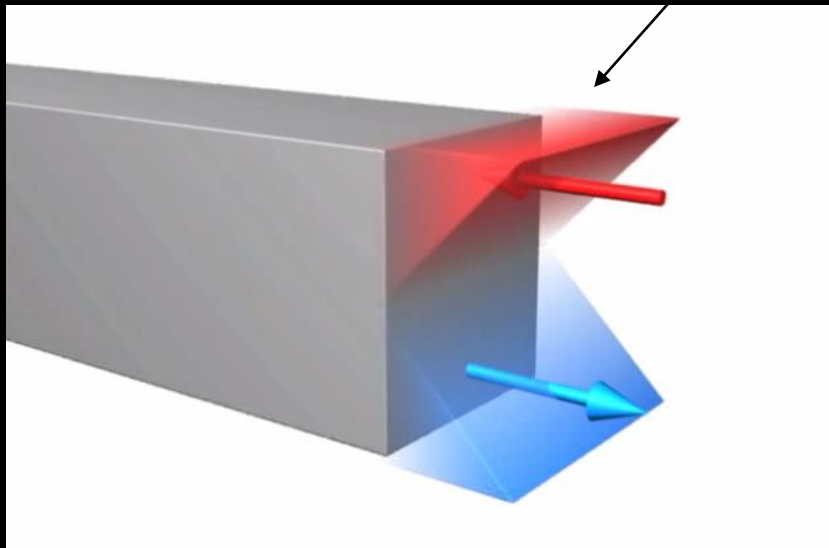
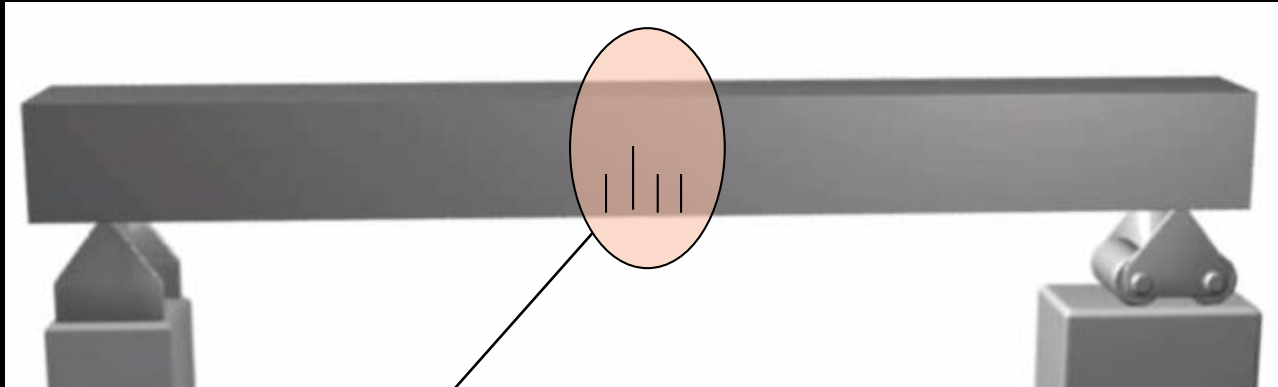
Kuat Rencana adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperoleh dari hasil perkalian antara kuat nominal dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai.

Kuat Rencana berupa M_r , V_r , T_r , dan P_r .

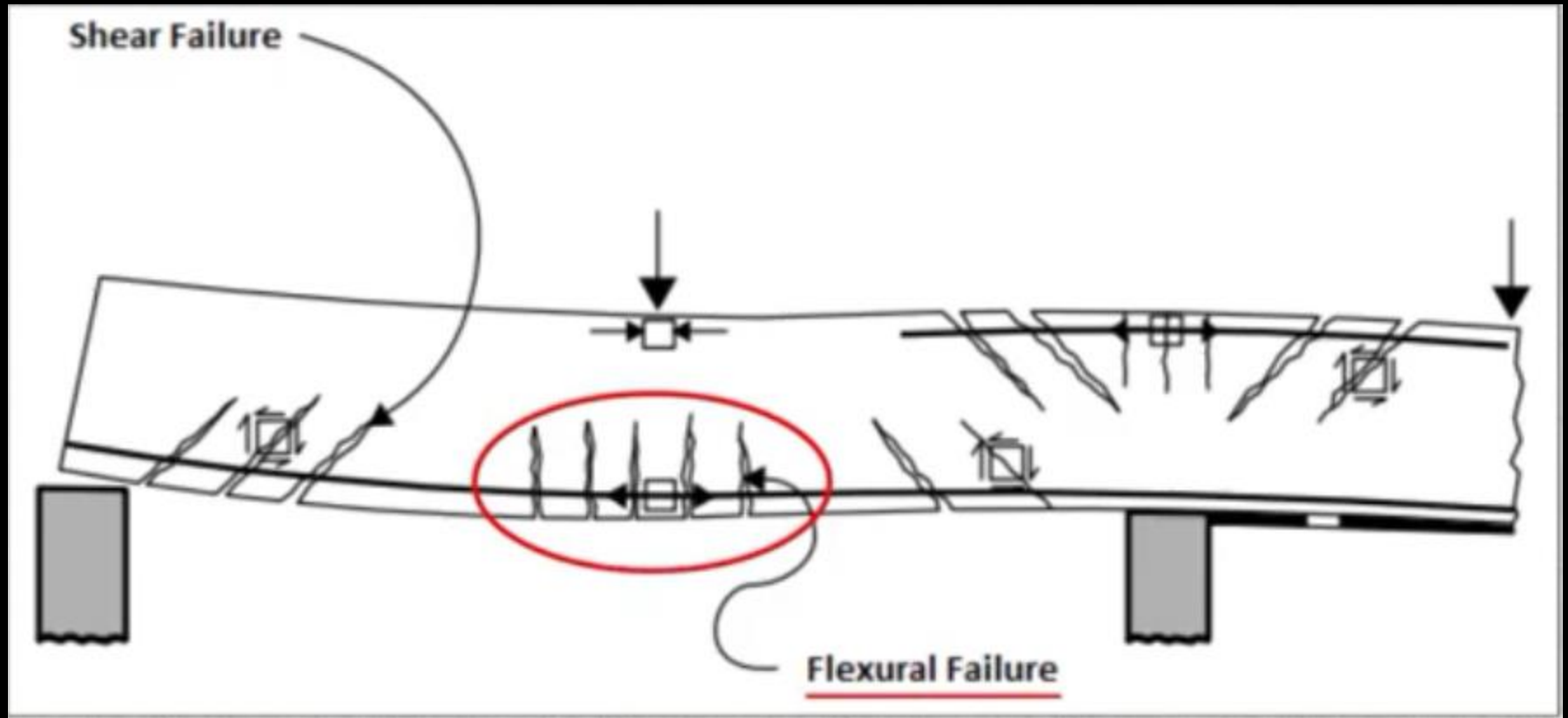
Kuat Perlu adalah kekuatan gaya luar yang bekerja pada struktur akibat beban berfaktor.

Kuat Perlu berupa M_u , V_u , T_u , dan P_u .

KONSEP PERHITUNGAN BETON DENGAN SNI-03-2847-2002



KONSEP PERHITUNGAN BETON DENGAN SNI-03-2847-2002



KONSEP PERHITUNGAN BETON DENGAN SNI-03-2847-2002



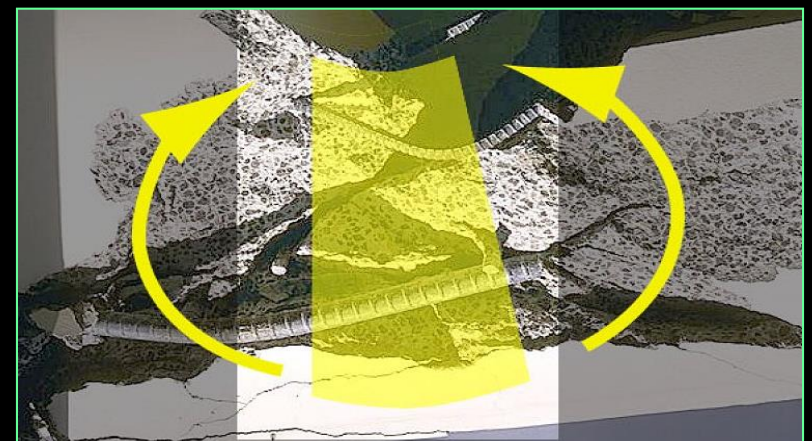
KONSEP PERHITUNGAN BETON DENGAN SNI-03-2847-2002



KONSEP PERHITUNGAN BETON DENGAN SNI-03-2847-2002



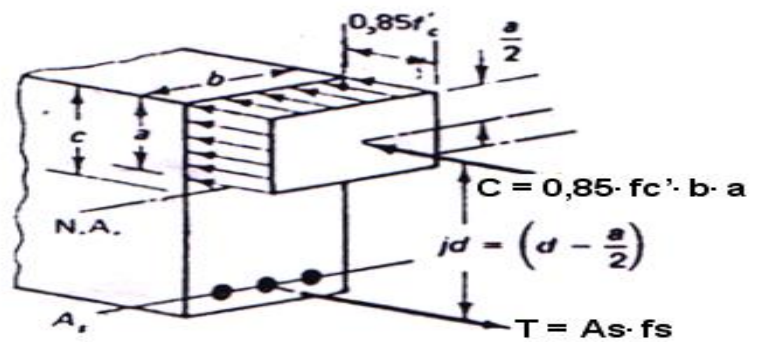
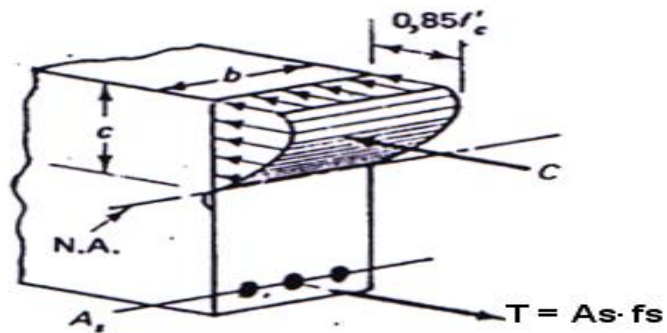
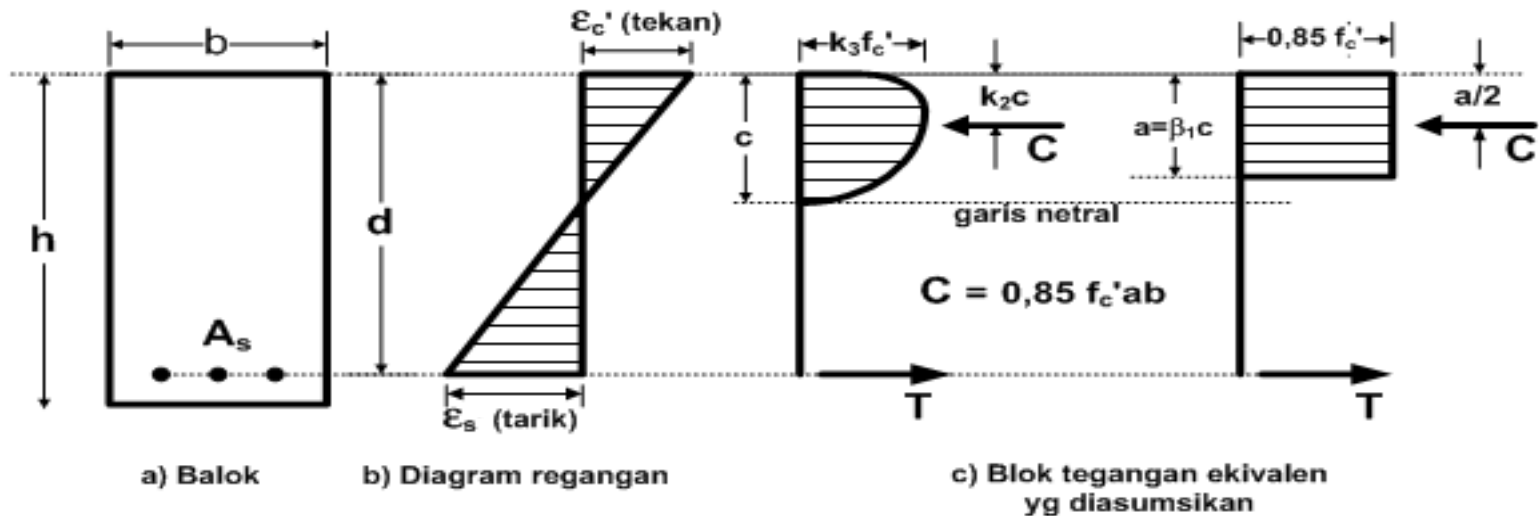
KONSEP PERHITUNGAN BETON DENGAN SNI 03-2847-1992



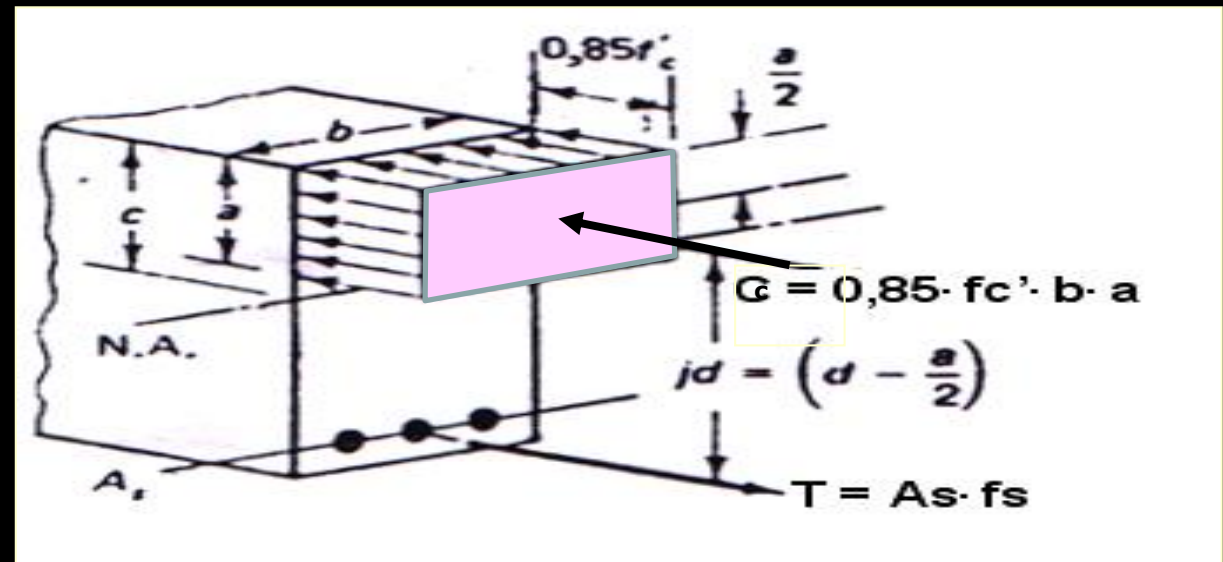
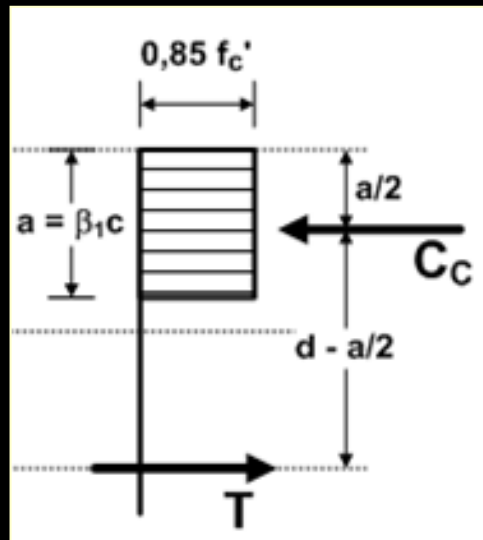
Momen Negatif

Momen Positif

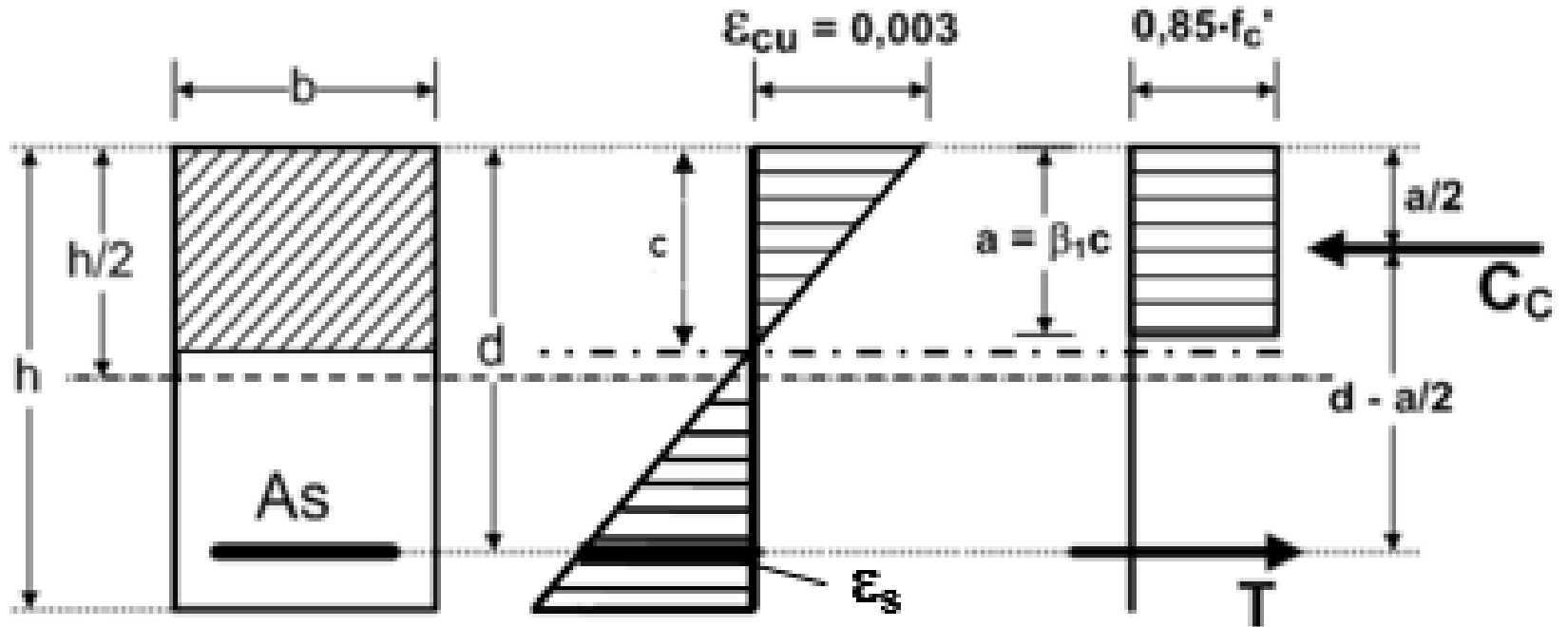
ANALISIS DIAGRAM TEGANGAN-REGANGAN BETON



BLOK TEGANGAN SEGIEMPAT EKIVALEN CHARLES S. WHITNEY (ACI Journal 1937)



MOMEN NOMINAL (M_n) PENAMPANG SEGIEMPAT BERTULANGAN TUNGGAL BERDASARKAN BLOK TEGANGAN EKIVALEN



Analisis penampang beton berdasarkan blok tegangan ekuivalen

Keseimbangan Gaya

$$C_c = T$$

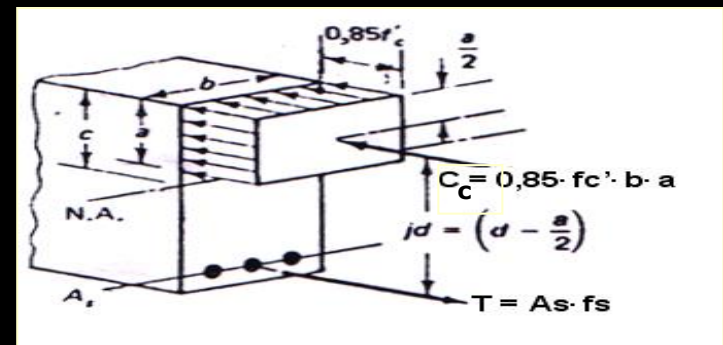
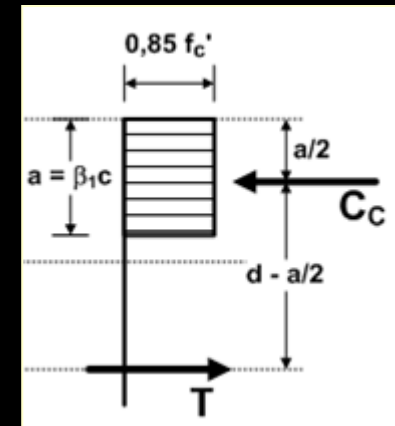
$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_s \quad ; \quad a = \beta_1 \cdot c = k \cdot d$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot k \cdot d = A_s \cdot f_s$$

$$k = \frac{f_s}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{f_s}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \quad ; \quad \rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$a = k \cdot d = \frac{f_s}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \cdot d$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{k \cdot d}{\beta_1} = \frac{f_s}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \cdot \frac{d}{\beta_1}$$



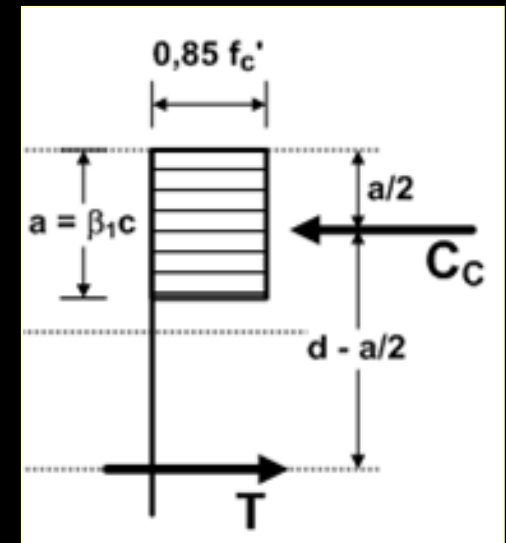
Momen Nominal Penampang Balok:

$$M_n = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) = T (d - \frac{1}{2} \cdot a)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot k \cdot d \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot k \cdot d)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$



Tergantung nilai f_s , ada 3 keruntuhan yang mungkin terjadi, yaitu:

- **Keruntuhan seimbang (balance failure)**
→ **Balanced reinforced**
- **Keruntuhan tarik (tension failure)**
→ **Under reinforced**
- **Keruntuhan tekan (compression failure)**
→ **Over reinforced**

Keruntuhan Seimbang (Balanced reinforced)

- Merupakan kondisi yg ideal
- Tulangan baja tarik meleleh bersamaan dgn rusaknya beton
- Kondisi ideal ini susah dipenuhi dilapangan krn kualitas mutu beton dan baja serta pelaksanaan dilapangan tidak tepat dipenuhi.
- Makanya perlu ditetapkan suatu kondisi yg dapat menjamin ketidakpastian/ keterbatasan agar balok dpt tetap berperilaku daktail.

Keruntuhan tarik (Under reinforced)

- Kekuatan baja lebih lemah dari beton maka oleh beban ultimit baja leleh/rusak lebih dahulu.
- Ductile reinforcement design
- Rasio tulangan lebih sedikit dari rasio seimbang
- Pada beban ultimit tulangan akan leleh dan balok akan berotasi cukup besar yg ditandai lendutan yg disertai oleh retak lentur yg besar pd momen maksimumnya.
- Pada beban gempa, balok akan memancarkan energi gempa shg. amplitudo getaran oleh gempa akan cepat berhenti.

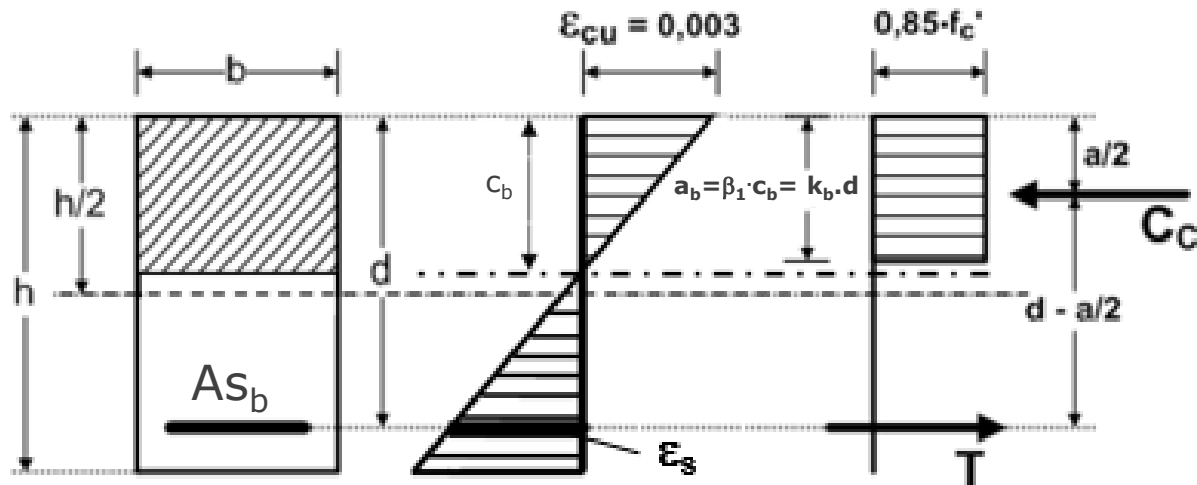
Keruntuhan Tekan (Over reinforced)

- Pemasangan tulangan berlebih dapat menjadikan beton tekan akan rusak lebih dahulu (perilaku getas).
- Beton didaerah tekan mendadak mengelupas/meledak shg tdk memberikan kesempatan pemakainya untuk menghindar dari bencana tsb.
- Tanda-tanda kerusakan tidak tampak jelas.
- Tanda-tanda awal berupa pengelupasan (spalling) pada sisi tekan sekitar momen maksimumnya yg kemudian dilanjutkan dengan keruntuhan mendadak.
- Kekuatan tidak bertambah secara berarti
- Tidak memberikan manfaat secara ekonomi

ANALISIS BALOK SEGIEMPAT BERTULANGAN TUNGGAL PADA KERUNTUHAN SEIMBANG

Baja tulangan mulai meleleh sedangkan daerah tekan beton mencapai regangan tekan maksimum

- $\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$ dengan $\varepsilon_y = f_y / E_s$
- $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0,003$
- $\rho = \rho_b$



Analisis penampang beton berdasarkan blok tegangan ekuivalen

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y}$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200.000}}$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$a = \beta_1 \cdot c_b = k_b \cdot d$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{k_b}{\beta_1} = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$k_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Keseimbangan gaya:

$$C_c = T$$

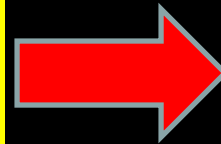
$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_b = A_s b \cdot f_y \quad \left| \times \frac{1}{b \cdot d} \right.$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \frac{a_b}{d} = \frac{A_s b}{b \cdot d} \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot k_b = \rho_b \cdot f_y$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot k_b$$

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



**Rasio
Tulangan Seimbang**

Momen Nominal Balok:

$$M_n = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a_b) = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot k_b \cdot d)$$

$$M_n = C_c \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_b \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

$$M_n = T \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a_b) = T \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

$$M_n = A_{sb} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

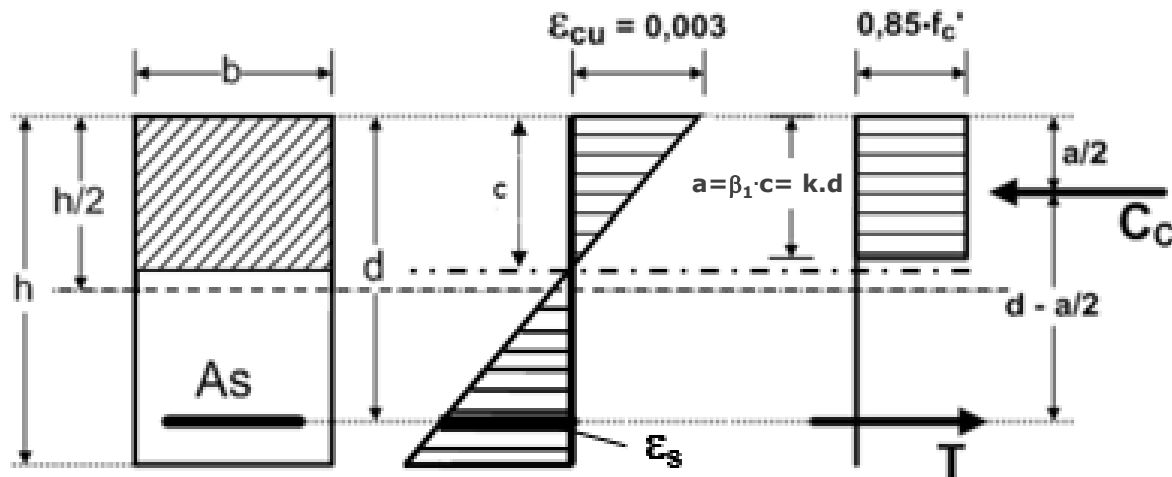
ANALISIS BALOK PERSEGI EMPAT BERTULANGAN TUNGGAL PADA KERUNTUHAN TARIK

Tanda-tanda keruntuhan:

Lelehnya tulangan tarik diikuti lendutan yang besar

Sifat sifat keruntuhan tarik:

- Terjadi secara bertahap**
- Tidak mendadak/getas**
- Penampang daktail**



Analisis penampang beton berdasarkan blok tegangan ekuivalen

$$\text{Syarat: } \varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,003 \quad ; \quad \rho < \rho_b$$

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$a = \beta_1 \cdot c = k \cdot d \quad ; \quad \frac{c}{d} = \frac{k}{\beta_1} = \frac{600}{600 + f_y} \quad ; \quad k = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y \quad \left| \times \frac{1}{b \cdot d} \right.$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \frac{a}{d} = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot f_y \quad ; \quad 0,85 \cdot f_c' \cdot k = \rho \cdot f_y$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot k}{f_y} \quad ; \quad \rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \quad \text{atau} \quad k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \left(\frac{A_s}{b \cdot d} \right)$$

$$k = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}$$

Momen Nominal Balok:

$$M_n = C_c \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_n = T \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

Momen Nominal Balok:

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot k\right) \text{ atau}$$

$$k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho$$

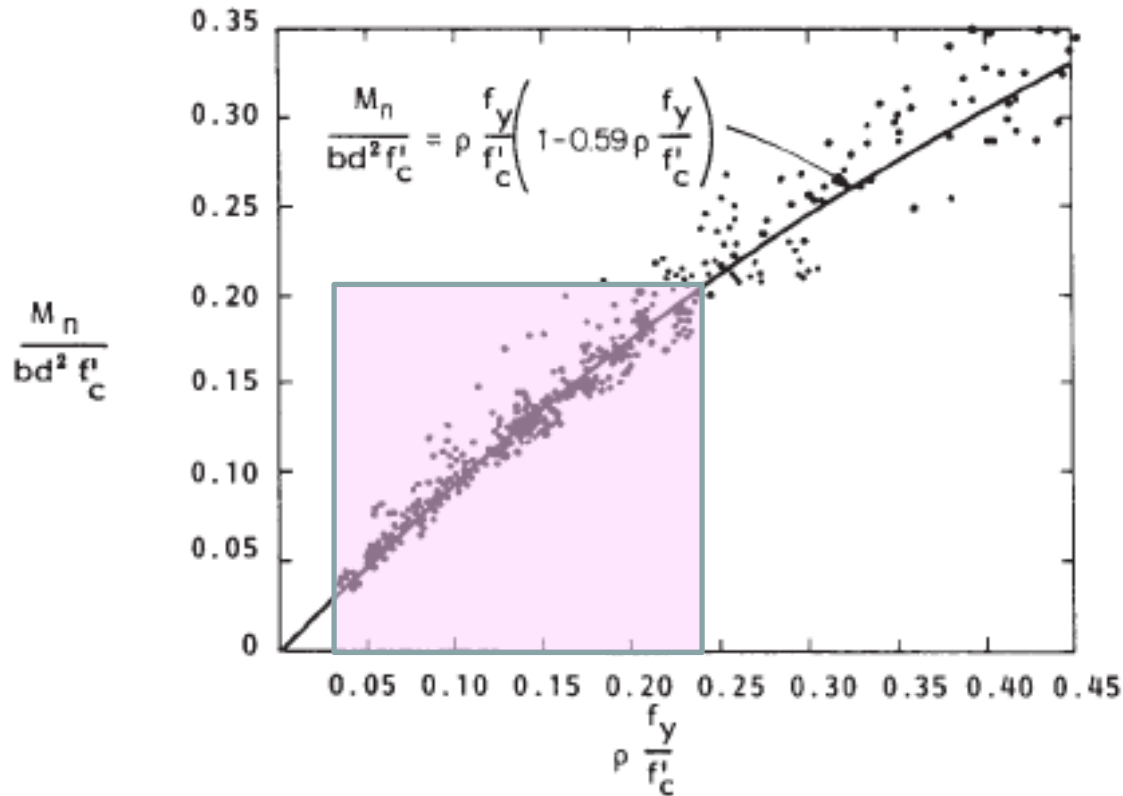
$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho\right]\right)$$

$$M_n = b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \rho \cdot \left(1 - 0,59 \cdot \rho \cdot \left[\frac{f_y}{f_c'}\right]\right)$$

$$\frac{M_n}{b \cdot d^2 \cdot f_c'} = \frac{f_y}{f_c'} \cdot \rho \cdot \left(1 - 0,59 \cdot \rho \cdot \left[\frac{f_y}{f_c'}\right]\right)$$

Elstner 1961: pengujian thd 364 balok dengan keruntuhan tarik

$$\frac{M_n}{b \cdot d^2 \cdot f_c'} = \frac{f_y}{f_c'} \cdot \rho \cdot \left(1 - 0,59 \cdot \rho \cdot \left[\frac{f_y}{f_c'} \right] \right)$$



Valid untuk:
 $0.025 \leq \rho \cdot (f_y/f_c') \leq 0.230$

Figure 6-11 Tests of 364 Beams Controlled by Tension ($\epsilon_s > \epsilon_y$)

Syarat penampang balok daktail:

Agar tidak terjadi keruntuhan getas, maka rasio tulangan baja (ρ) harus ada pembatasan minimum & maximum dgn harga ρ :

- **SNI-1992:**

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y \rightarrow f_y \text{ dalam MPa}$$

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

- **SNI-2002, SNI-2013, dan ACI 318M-05:**

Untuk beton $f_c' < 30$ MPa maka :

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

Untuk beton $f_c' > 30$ MPa maka :

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y}$$

tapi tidak boleh kurang dari

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

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

Kondisi ini akan memastikan tulangan leleh pada kondisi ultimit; $\epsilon_s \cong (1.8 \text{ sampai } 2.0) \epsilon_y$ pada saat runtuh

Syarat penampang balok daktail SNI-2002, SNI-2013:

**** Untuk beton $f_c' \leq 30$ MPa, maka:**

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

**** Untuk beton $f_c' > 30$ MPa, maka:**

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$

Jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka hitung $\rho_{\text{perlu}}^* = (4/3) \cdot \rho_{\text{perlu}}$:

**** Jika $\rho_{\text{perlu}}^* = (4/3) \cdot \rho_{\text{perlu}}$ melebihi nilai ρ_{\min} maka $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}}^*$**

**** Jika $\rho_{\text{perlu}}^* = (4/3) \cdot \rho_{\text{perlu}}$ kurang dari nilai ρ_{\min} maka $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\min}$**

$$\rho_t < \rho_{\max}$$

Kondisi ini akan memastikan tulangan leleh pada kondisi ultimit; $\varepsilon_s \cong (1.8 \text{ sampai } 2.0) \varepsilon_y$ pada saat runtuh

Rasio tulangan $\rho = (0.4 \text{ hingga } 0.5) \rho_{bal}$ adalah yang ideal agar terdapat ruang yang cukup untuk penempatan tulangan dan dapat membatasi retak dan lendutan yang terjadi.

$$\rho_t > \rho_{\min}$$

Batas bawah diperlukan agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit.

Konsekuensi luas tulangan A_s yang terlalu kecil ($M_n < M_{cr}$):

ε_s besar (lendutan yang terjadi besar)

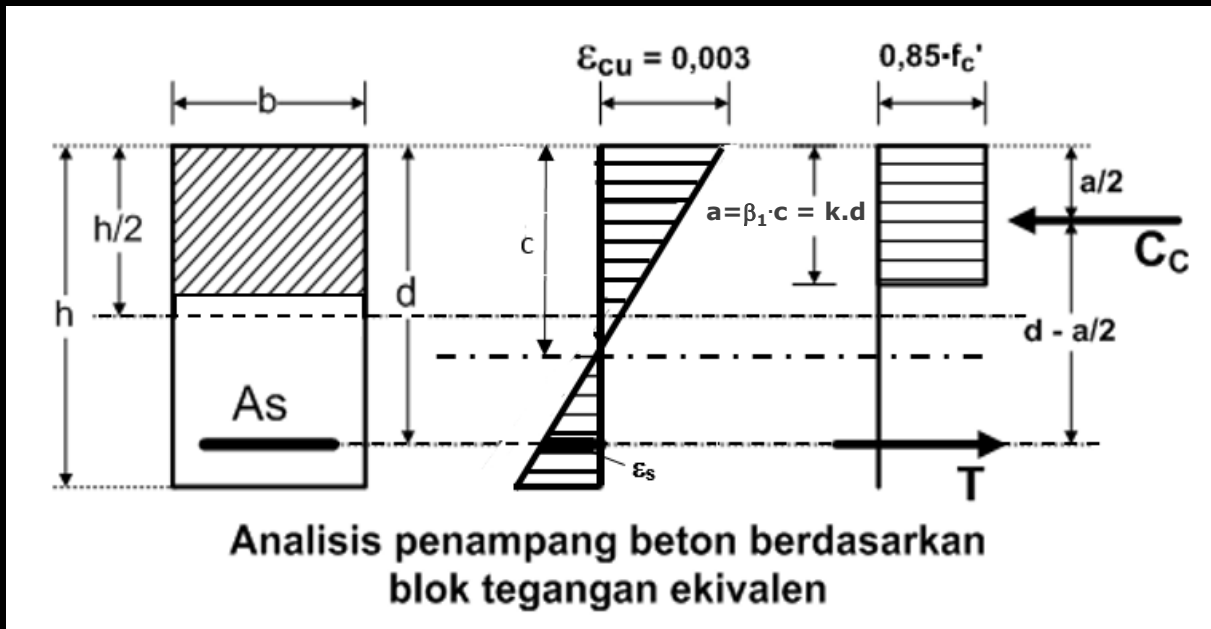
ketika beton retak ($M_s > M_{cr}$), balok akan segera runtuh karena $M_n < M_{cr}$

ANALISIS BALOK PERSEGI EMPAT BERTULANGAN TUNGGAL PADA KERUNTUHAN TEKAN

- Keruntuhan diawali dengan hancurnya beton dan saat itu tegangan baja belum mencapai tegangan lelehnya.

$$\rho > \rho_b \text{ dan } \varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0,003, \varepsilon_s < \varepsilon_y$$

- Tidak terlihat tanda-tanda awal seperti terjadinya lendutan.
- Keruntuhan total terjadi secara mendadak dan dinamakan *keruntuhan getas (brittle)*.



Berdasarkan diagram tegangan-regangan beton diatas didapat:

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d-c}{c} \right), c = \frac{k \cdot d}{\beta_1}$$

$$\epsilon_s = 0,003 \cdot d \cdot \left(\frac{1 - c/d}{c} \right) ; \epsilon_s = 0,003 \cdot \left(\frac{1 - k/\beta_1}{k/\beta_1} \right) = 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right)$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s = E_s \cdot \epsilon_y = E_s \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right)$$

Keseimbangan gaya:

$$C_c = T$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot k = A_s \cdot f_s = A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right) \quad | \times k$$

$$0,85 f_c' \cdot b \cdot d \cdot k^2 + A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot k - A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot \beta_1 = 0$$

(A)

(B)

(C)

$$A \cdot k^2 + B \cdot k - C = 0 \quad ; \quad k = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \quad ; \quad a = k \cdot d$$

Momen Nominal Balok:

$$M_n = C_c \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot a)$$

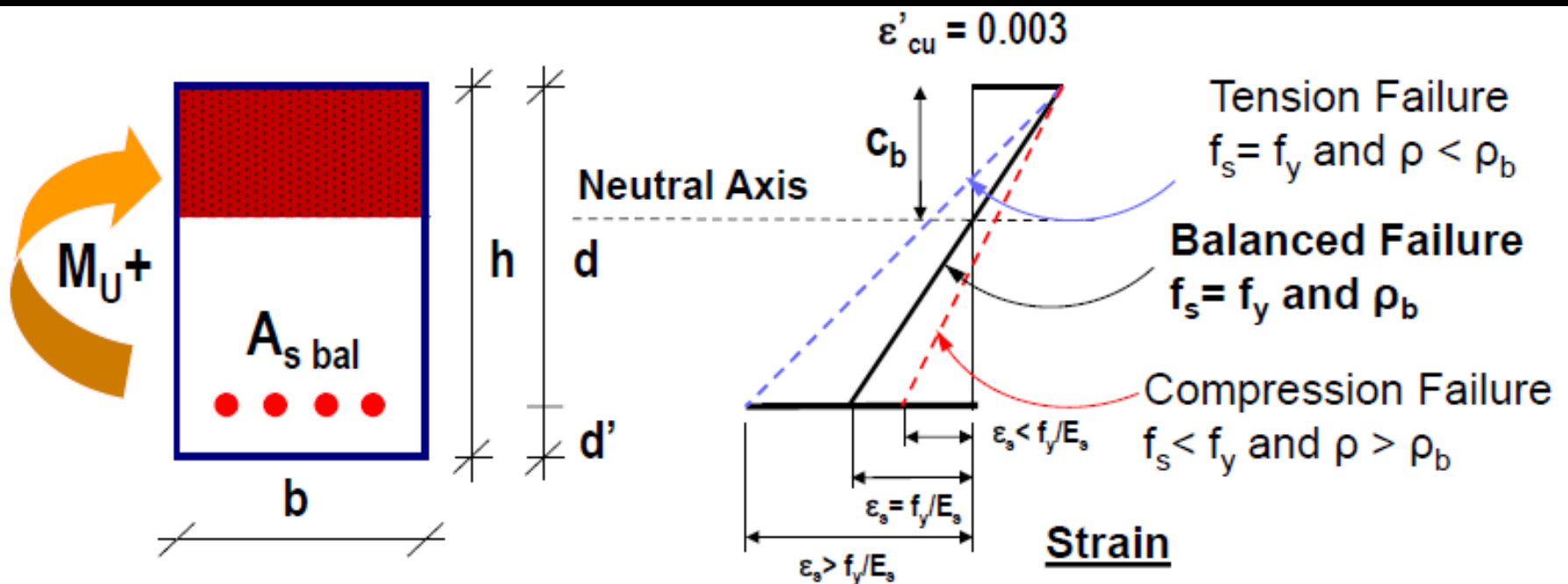
$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - 1/2 \cdot k)$$

$$M_n = T \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot a)$$

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot k)$$

Kesimpulan:

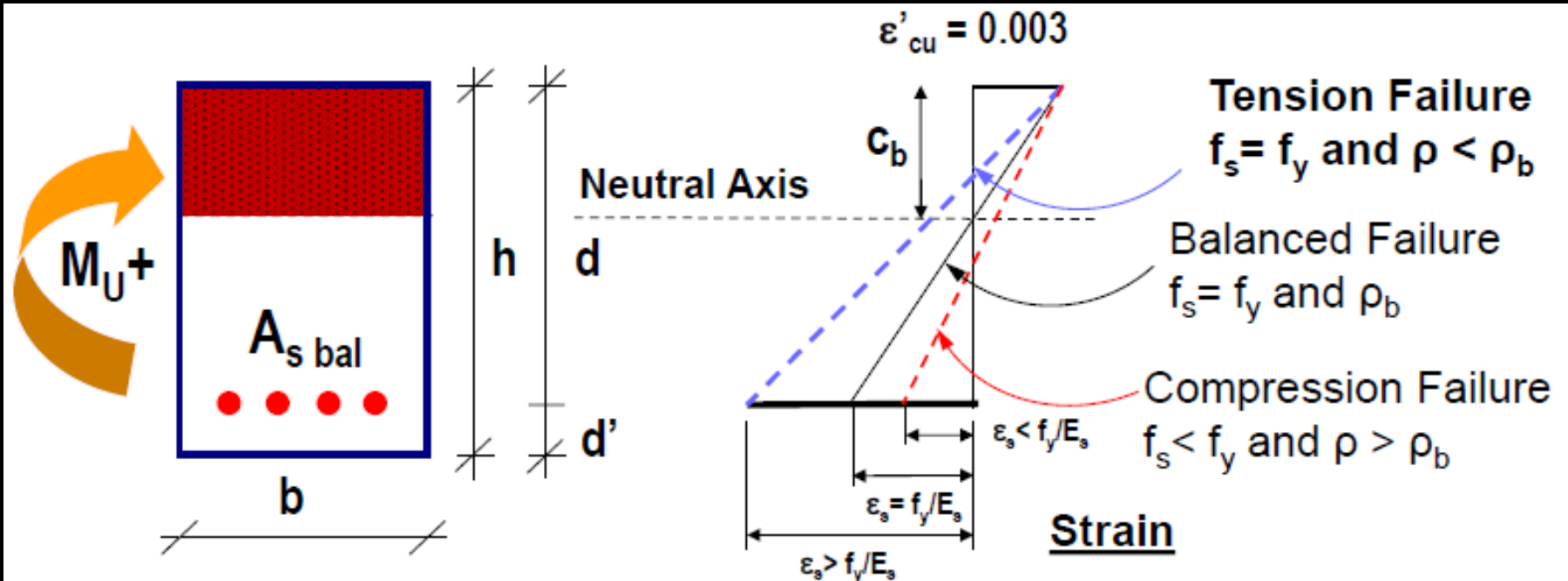
- **Regangan Tekan Beton Ultimit ($\epsilon_{cu} = 0,003$)**
- **Regangan tulangan baja:**
 - **Under Reinforced:** $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ diambil $\epsilon_s = \epsilon_y$ (leleh)
 - **Balanced:** $\epsilon_s = \epsilon_y$ (leleh)
 - **Over Reinforced:** $\epsilon_s < \epsilon_y$ (belum leleh)
- **Tegangan tulangan baja:**
 - **Under Reinforced:** $f_s = f_y$ (leleh)
 - **Balanced:** $f_s = f_y$ (leleh)
 - **Over Reinforced:** $f_s = E_s \cdot \epsilon_s$ (belum leleh)



1. **Balanced Failure** (kegagalan seimbang):

Tulangan tarik mencapai regangan leleh ($\epsilon_y = f_y/E_s$)

“bersamaan” dengan bagian beton yg tertekan mencapai regangan batas (asumsi $\epsilon_c = 0,003$)

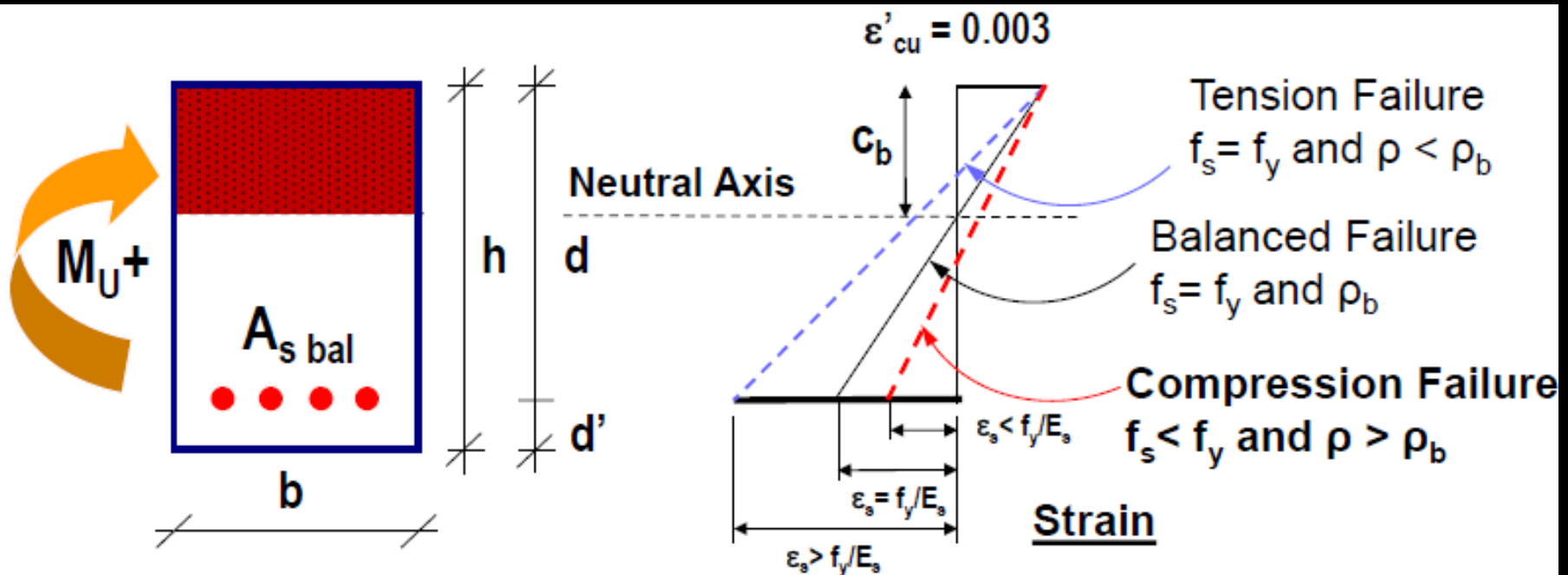


2. **Tension failure** (kegagalan tarik – under reinforced):

Luas besi tulangan yang ada $< A_{s\text{-balanced}}$

Garis netral $c < c_{\text{balance}} \rightarrow \epsilon_s > \epsilon_y$

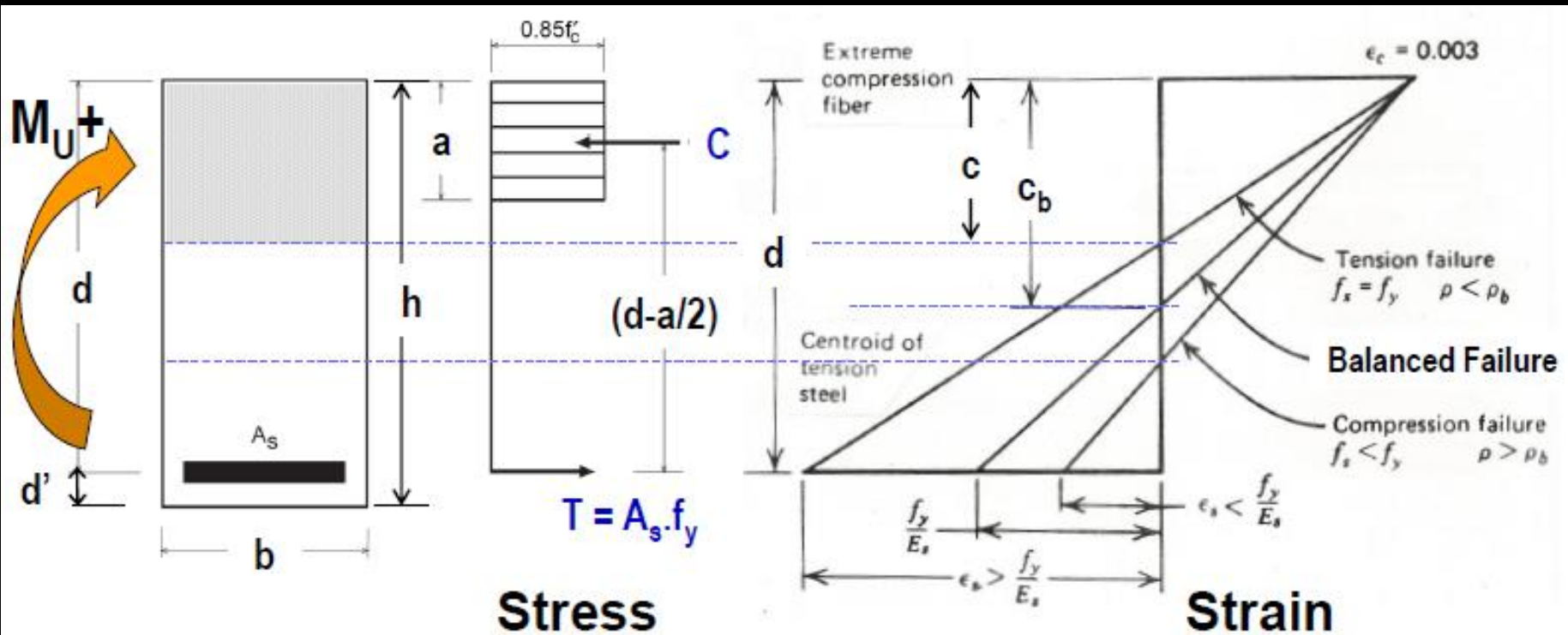
Jadi tulangan akan meleleh dulu sebelum regangan beton mencapai $\epsilon_{cu} = 0,003$; Keruntuhan balok dalam kondisi ini akan ditandai dengan melendutnya balok terlebih dulu



3. **Compression failure** (kegagalan tekan – over reinforced):

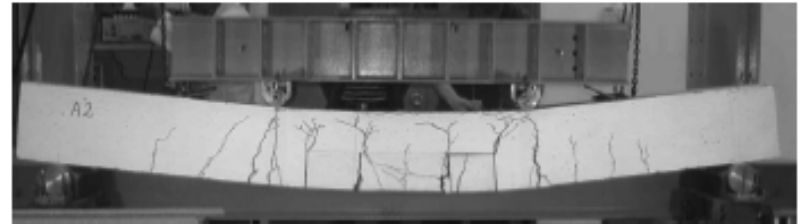
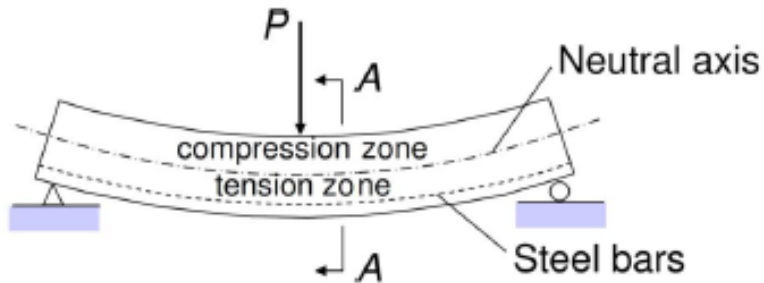
Luas besi tulangan yang ada $> A_{s\text{-balanced}} \rightarrow \epsilon_s < \epsilon_{\text{leleh}} (= \epsilon_y)$

Jadi tulangan baja belum leleh saat tegangan tekan beton pada serat terluar mencapai $\epsilon_{cu} = 0,003$

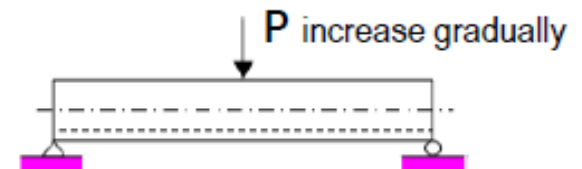
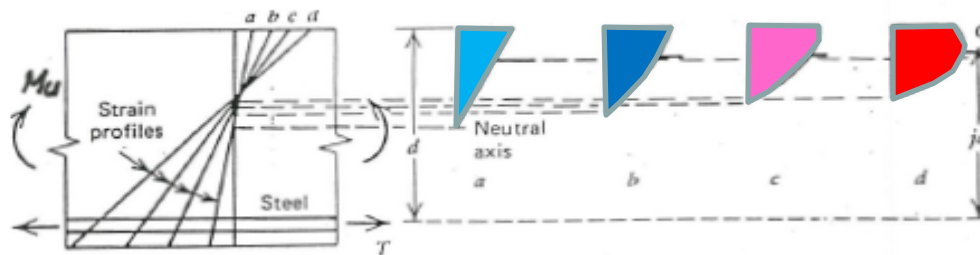
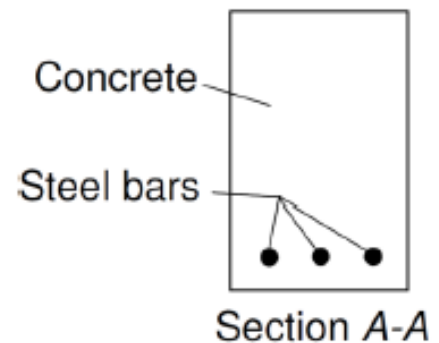
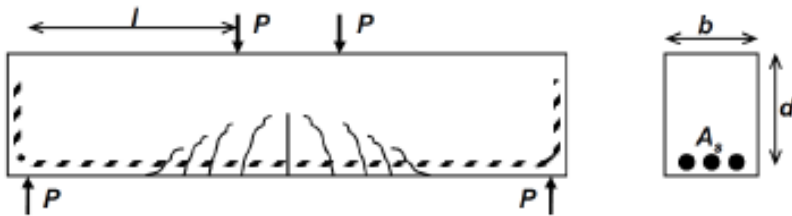


1. *Balanced Failure* Apabila: $\rho = \rho_b$
2. *Tension failure* Apabila: $\rho < \rho_b =$ Tension Failure
3. *Compression failure* Apabila: $\rho > \rho_b =$ Compression Failure

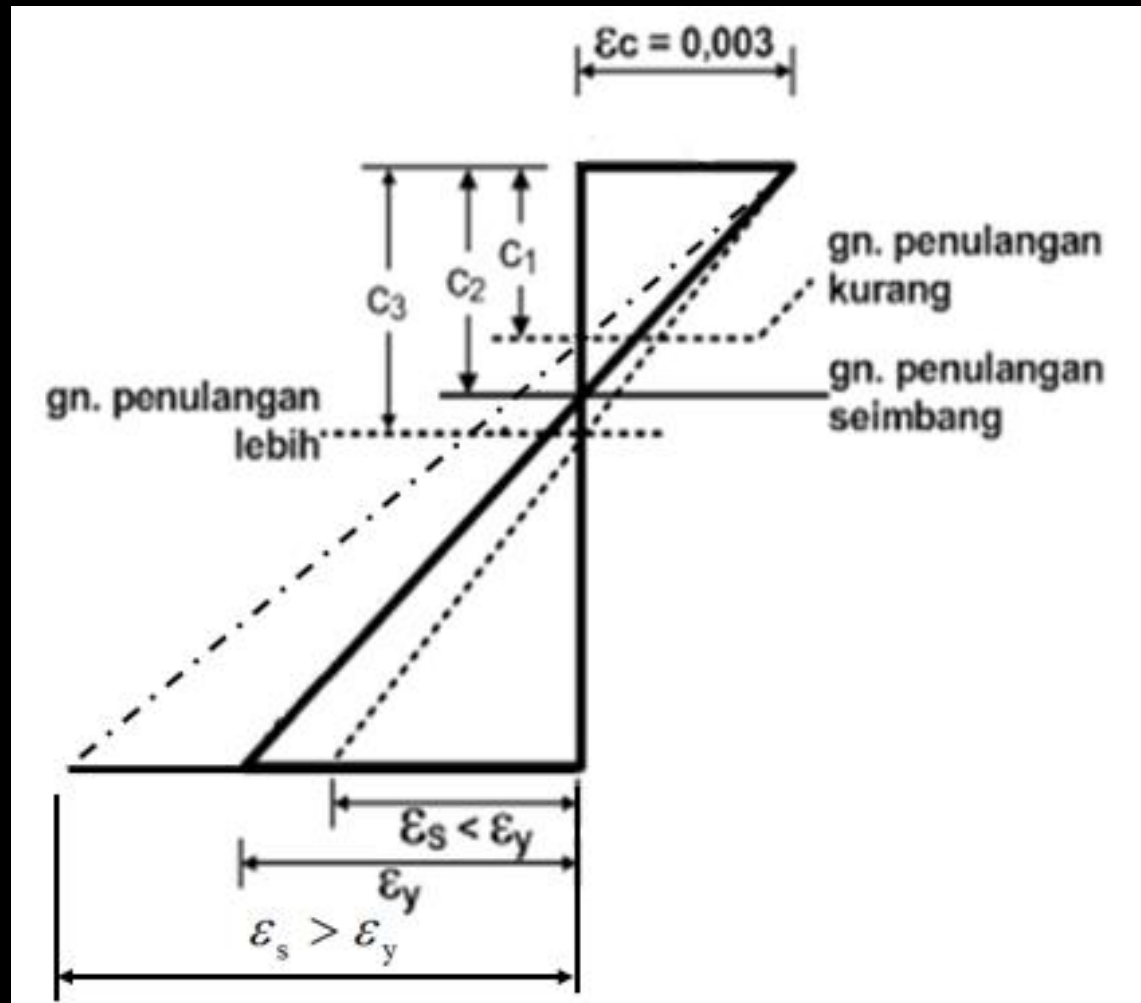
Analysis of Singly Reinforced Beams



- Analysis of singly reinforced beams



POSISI GARIS NETRAL (c) UNTUK BEBERAPA KONDISI PENULANGAN



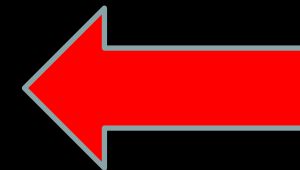
Lanjutan Kesimpulan:

- **Garis netral:**

$$c_1 < c_2 < c_3$$

- **Rasio tulangan:**

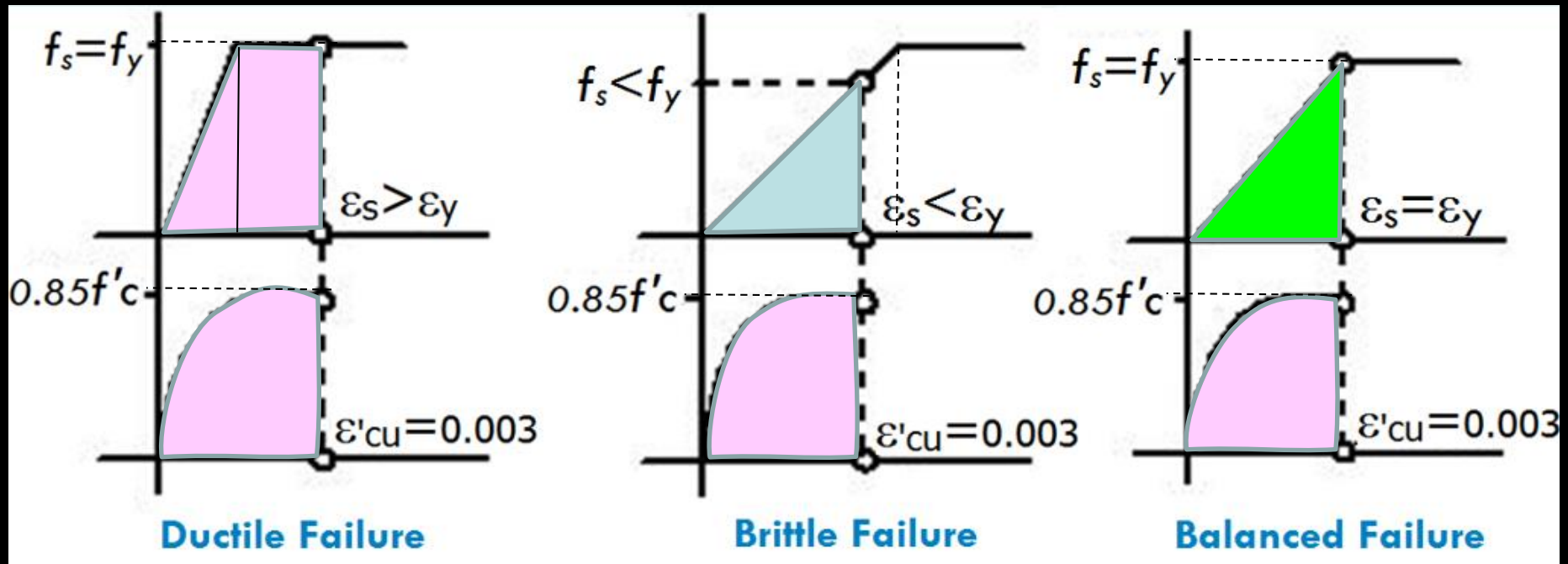
- **Under Reinforced:** $\rho < \rho_b$
- **Balanced:** $\rho = \rho_b$
- **Over Reinforced:** $\rho > \rho_b$



Peraturan SNI-02 telah membatasi rasio penulangan sbb.:

- **Under Reinforced:** $\rho < 0,75 \cdot \rho_b$
- **Balanced:** $\rho = \rho_b$
- **Over Reinforced:** $\rho > 0,75 \cdot \rho_b$

Lanjutan Kesimpulan:



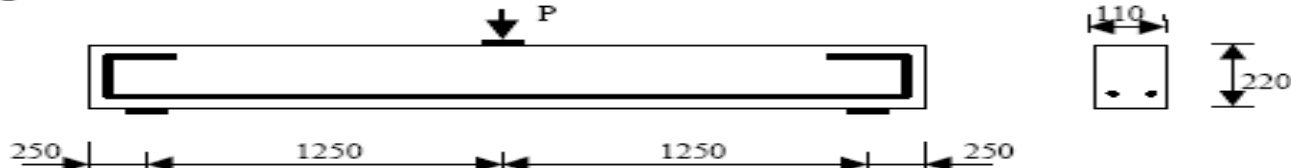
↑
Keruntuhan Tarik

↑
Keruntuhan Tekan

↑
Keruntuhan Seimbang

KONDISI PENULANGAN KURANG (UNDER REINFORCED)

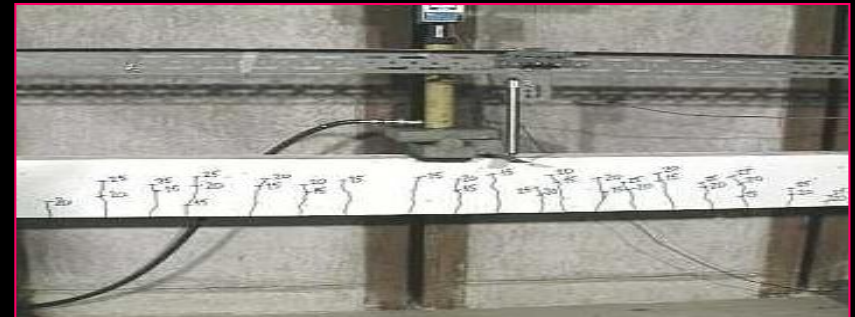
Beam design and dimensions



Concrete cube strength $f_{cu} = 51.0 \text{ N/mm}^2$, tensile strength $f_t = 5.49 \text{ N/mm}^2$. Bottom reinforcement is 2 T12 bars. Cover is 25mm. Young's Modulus $E_s = 200,000 \text{ N/mm}^2$ for the steel and $E_c = 30,000 \text{ N/mm}^2$ for the concrete.



Pola Retak beban 20 kN



Pola Retak beban 25 kN



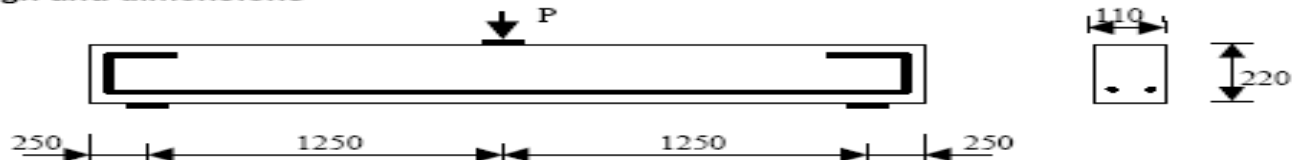
Pola Retak beban 30 kN



Pola Retak Beban ultimit 33,8 kN

KONDISI PENULANGAN LEBIH (OVER REINFORCED)

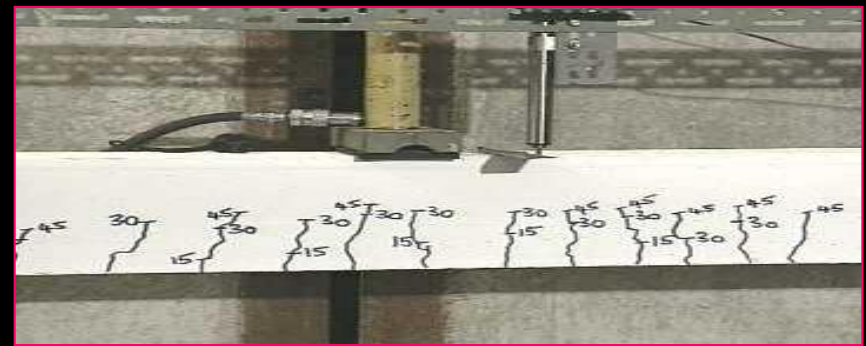
Beam design and dimensions



Concrete cube strength $f_{cu} = 52.5 \text{ N/mm}^2$, tensile strength $f_t = 5.65 \text{ N/mm}^2$. Bottom reinforcement is 2 T20 bars. Cover is 25mm. Young's Modulus $E_s = 200,000 \text{ N/mm}^2$ for the steel and $E_c = 30,000 \text{ N/mm}^2$ for the concrete.



Pola Retak beban 30 kN



Pola Retak beban 45 kN



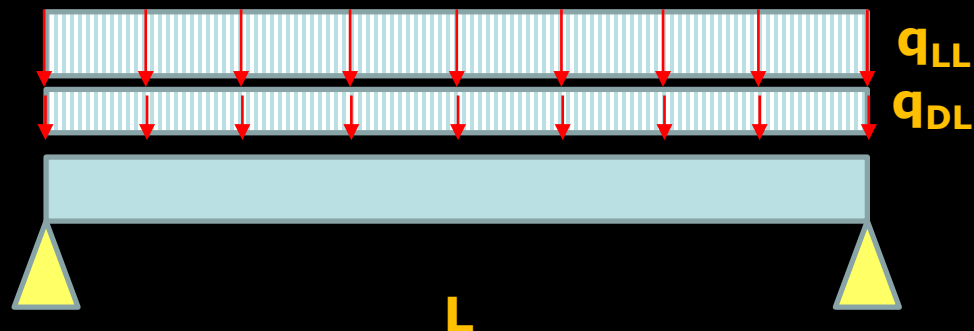
Pola Retak beban 60 kN



Pola Retak Beban ultimit

FORMAT KEAMANAN SNI-02

$M_u = \lambda \cdot q$ -- Kapasitas momen ultimit akibat beban berfaktor dari hasil **ANALISA STRUKTUR**



$\lambda > 1$ -- lihat Code SNI/ ACI

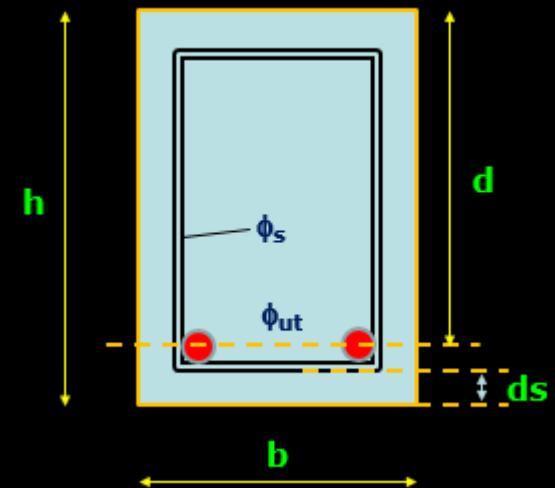
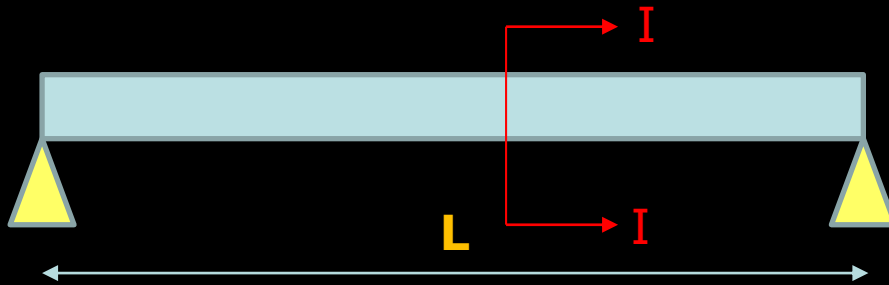
$$q_u = 1,2 \cdot q_{DL} + 1,6 \cdot q_{LL}$$

$$M_u = (1/8) \cdot q_u \cdot L^2$$

$$M_{\max} = M_u$$

FORMAT KEAMANAN SNI-02

$M_r = \phi \cdot M_n$ --- Kapasitas Momen Rencana
Ultimit dari hasil **ANALISA**
PENAMPANG BETON → **CODE** yg
berlaku—**SNI-2002/SNI-2013.**



Syarat:

$M_r \geq M_u$ ----- **AMAN**

POT I-I

ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

Diketahui: A_{st}, b, d, f_c', f_y

Ditanya: $M_{nt} = ?, M_r = \phi \cdot M_{nt}$

Prosedur Desain :

1. Menghitung Koefisien Blok Stress (β_1)

SNI 03-2847-1992

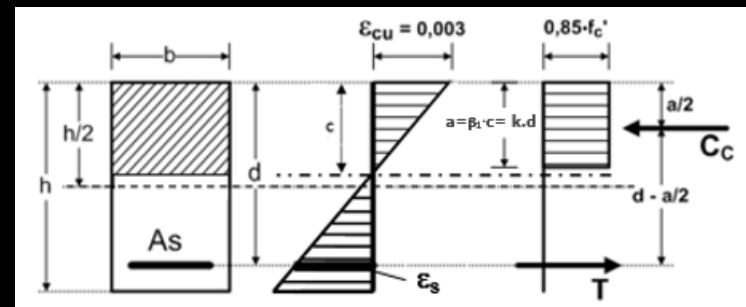
Koefisien Blok Stress β_1	Mutu Beton (f_c') MPa
$\beta_1 = 0,85$	$0 \leq f_c' \leq 30$
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f_c' - 30)$	$30 \leq f_c' \leq 55$
$\beta_1 = 0,65$	$f_c' \geq 55$

SNI 03-2847-2002

Koefisien Blok Stress β_1	Mutu Beton (f_c') MPa
$\beta_1 = 0,85$	$0 \leq f_c' \leq 30$
$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot (f_c' - 30)/7$	$30 \leq f_c' \leq 58$
$\beta_1 = 0,65$	$f_c' \geq 58$

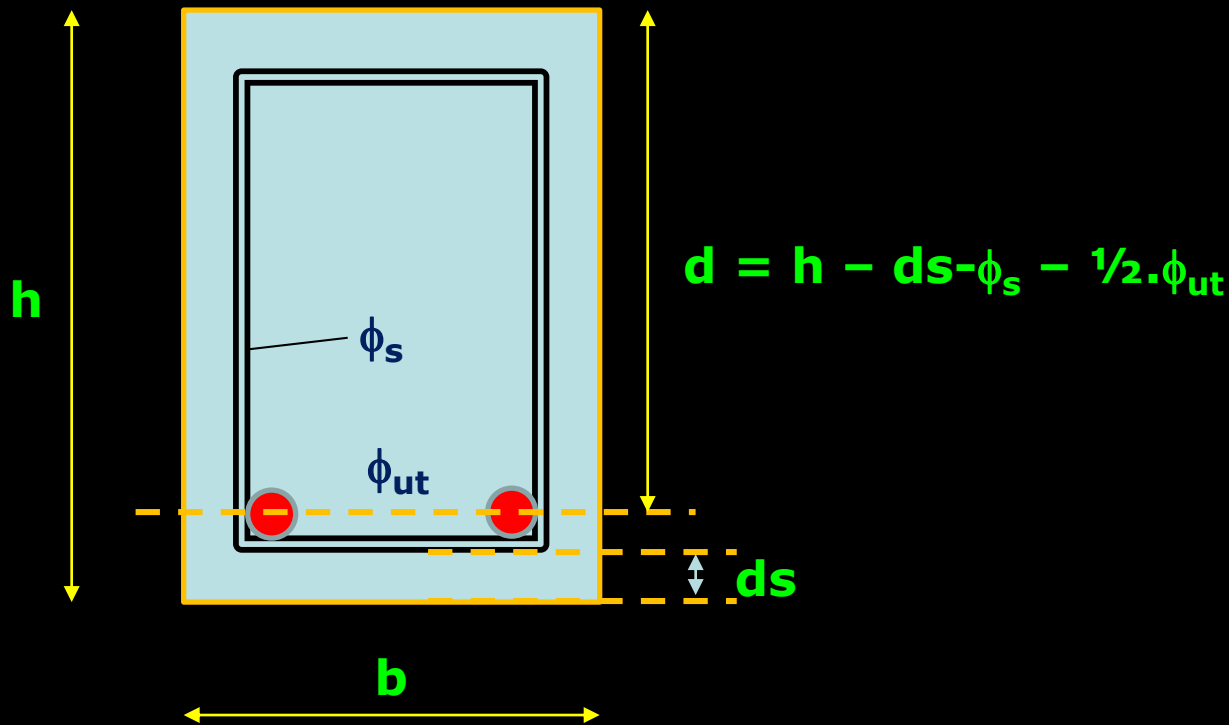
ACI 318M-05/ ACI 318R-08 / SNI 2847-2013

Koefisien Blok Stress β_1	Mutu Beton (f_c') MPa
$\beta_1 = 0,85$	$17 \leq f_c' \leq 28$
$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot (f_c' - 28)/7$	$28 \leq f_c' \leq 56$
$\beta_1 = 0,65$	$f_c' \geq 56$



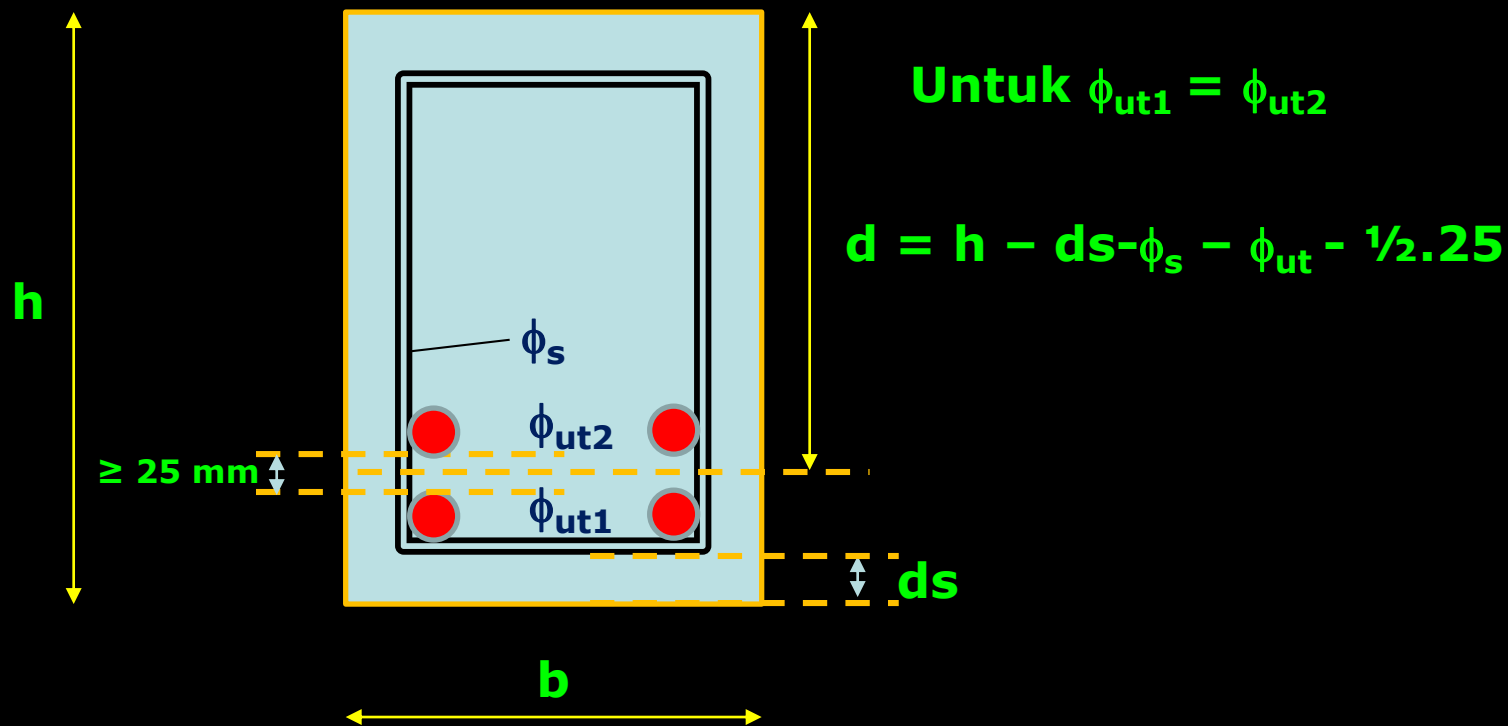
ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

2. Menghitung Tinggi Efektif Balok (d)



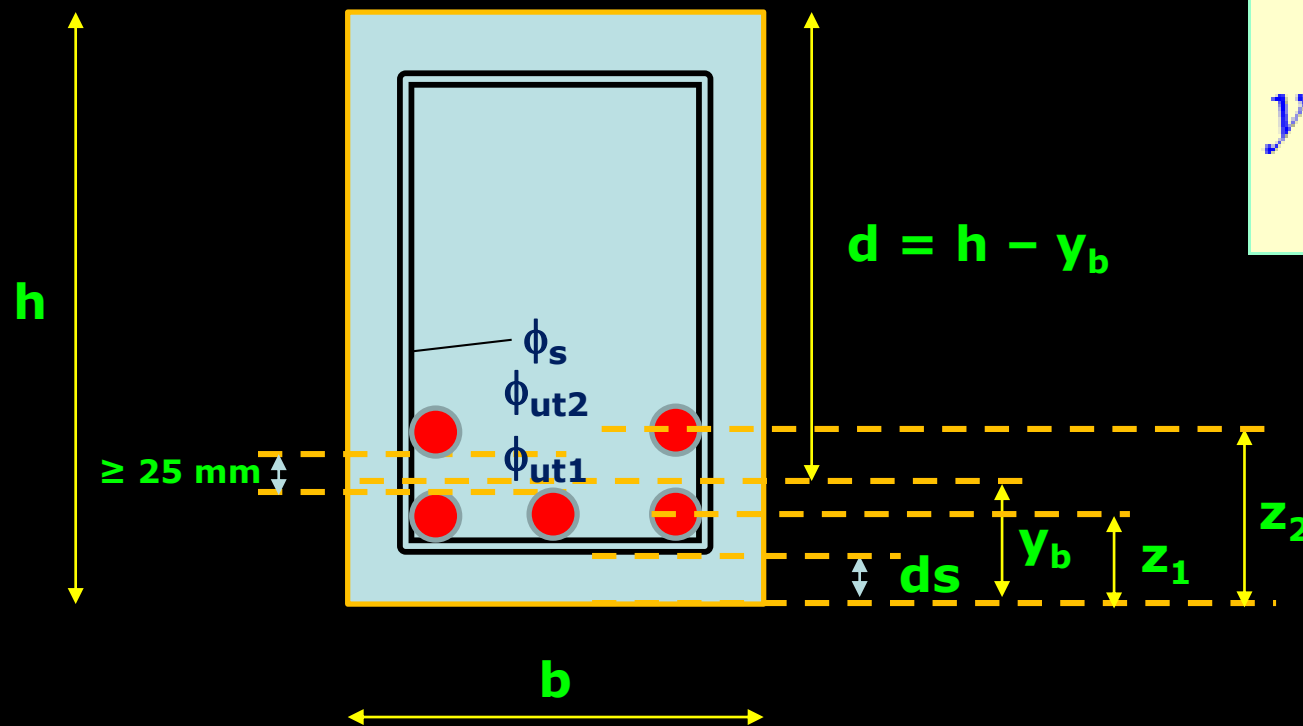
ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

2. Menghitung Tinggi Efektif Balok (d)



ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

2. Menghitung Tinggi Efektif Balok (d)



$$y_b = \frac{\sum A_{stj} \cdot z_i}{\sum A_{stj}}$$

ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

3. Menghitung Rasio Tulangan Terpasang (ρ_t)

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{b \cdot d}$$

4. Hitunglah nilai Rasio Tulangan Minimum

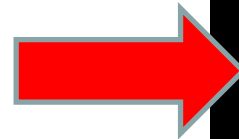
** Untuk beton $f_c' \leq 30$ MPa, maka:

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

** Untuk beton $f_c' > 30$ MPa, maka:

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$



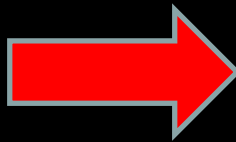
$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

5. Hitunglah nilai Rasio Tulangan Maksimum

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

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$



$$A_{s_{max}} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$$

6. Ceklah Tipe Keruntuhan Balok

Jika $\rho_t < 0.75 \cdot \rho_b$, maka Keruntuhan Tarik

Jika $\rho_t = \rho_b$, maka Keruntuhan Seimbang

Jika $\rho_t > 0.75 \cdot \rho_b$, maka Keruntuhan Tekan

ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

7. Kapasitas Lentur Nominal (M_{nt})

- KASUS KERUNTUHAN TARIK ($\rho_t \leq 0,75 \cdot \rho_b$)

$$k_t = \frac{A_{st} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}$$

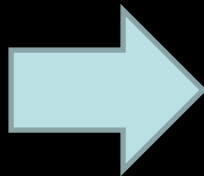
$$k_t = \rho_t \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

Tinggi Blok Stress :

$$a = k_t \cdot d$$

Tinggi Garis Netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$



Regangan Tarik Tulangan Baja :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_t}{k_t} \right) \geq \varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s}$$

Momen Nominal Balok :

$$M_{nt} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_t \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_t) \text{ atau}$$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_t)$$

Momen Rencana Ultimit Balok :

$$M_r = \phi \cdot M_{nt} , \phi = 0,80 \text{ (lentur)}$$

ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

- KASUS KERUNTUHAN SEIMBANG ($\rho_t = \rho_b$)

$$k_b = \frac{A_{st_b} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}$$

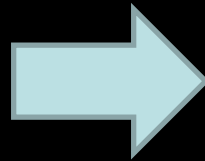
$$k_b = \rho_b \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

Tinggi Blok Stress :

$$a_b = k_b \cdot d$$

Tinggi Garis Netral :

$$c_b = \frac{a_b}{\beta_1}$$



Regangan Tarik Tulangan Baja :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_b}{k_b} \right) \geq \varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s}$$

Momen Nominal Balok :

$$M_{nt} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_b \cdot (1 - 1/2 \cdot k_b) \text{ atau}$$

$$M_{nt} = A_{st_b} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot k_b)$$

Momen Rencana Ultimit Balok :

$$M_r = \phi \cdot M_{nt}, \phi = 0,80 \text{ (lentur)}$$

ANALISIS PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

- KASUS KERUNTUHAN TEKAN ($\rho_t > 0,75 \cdot \rho_b$)

$$A = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d$$

$$B = A_{st} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu} = A_{st} \cdot E_s \cdot 0,003$$

$$C = A_{st} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu} \cdot \beta_1 = B \cdot \beta_1$$

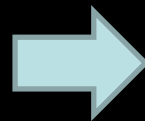
$$k_t = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2A}$$

Tinggi Blok Stress :

$$a = k_t \cdot d$$

Tinggi Garis Netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$



Regangan Tarik Tulangan Baja :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_t}{k_t} \right) < \varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s}$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s < f_{sy}$$

Momen Nominal Balok :

$$M_{nt} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_t \cdot (1 - 1/2 \cdot k_t) \text{ atau}$$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot (f_s) \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot k_t)$$

Momen Rencana Ultimit Balok :

$$M_r = \phi \cdot M_{nt} \text{ , } \phi = 0,80 \text{ (lentur)}$$

PROVISI KEAMANAN STRUKTUR

Faktor reduksi kekuatan

NO.	JENIS KEKUATAN	FAKTOR REDUKSI KEKUATAN (ϕ)			
		SNI-92	SNI-02	ACI 318-08	Usul Mac.G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Lentur murni	0,80	0,80	0,90	0,85
2	Aksial tarik, aksial tarik dan lentur	0,80	0,80	0,90	0,70
3	Aksial tekan, aksial tekan dan lentur				
	a.dgn tulangan spiral	0,70	0,70	0,75	0,70
	b.dgn tulangan sengkang	0,65	0,65	0,70	0,65
4	Geser dan torsi	0,60	0,75	0,75	0,70
5	Tumpuan pada beton	0,70	0,65	0,65	0,60

Faktor reduksi kekuatan

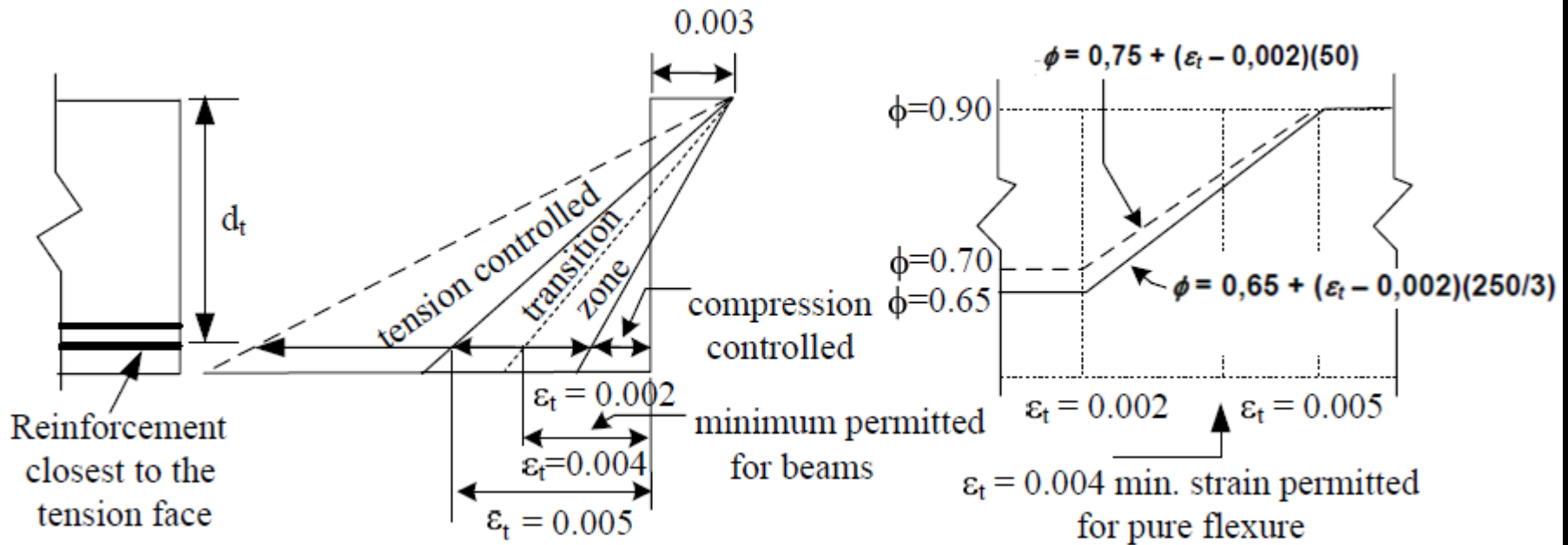
Faktor Reduksi Kekuatan

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



Contoh soal 1:

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 300 mm, tinggi (h) = 500 mm memiliki tulangan tarik **2D25**, diameter tulangan geser 10 mm, selimut beton $d_s = 40$ mm, mutu baja $f_y = 420$ MPa, mutu beton $f_c' = 20$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = 2.10^5 MPa.

Hitunglah Kapasitas Momen Nominal dan Rencana Ultimit penampang balok tsb. menurut SNI 03-2847-2002.

Solusi:

Data:

$b = 300$ mm
 $h = 500$ mm
 $d = 412.5$ mm
 $f_c = 20$ MPa
 $f_y = 420$ MPa
 $A_{st} = 981.7477$ mm²
 $\beta_1(f_c) = 0.85$

Tulangan Tarik:

$\rho = 0.00793$
 $\epsilon_{sy} = 0.0021$
 $\epsilon_s = 0.01001$
 $f_s = 420$ MPa Cek = "Tulangan Tarik Leleh"

Syarat Daktilitas:

$\rho_{min}(f_c) = 0.00333$
 $\rho_b = 0.02024$
 $\rho_{maks} = 0.01518$
Keruntuhan = "Under Reinforced"

Daerah Tekan:

$a = 80.84981$ mm
 $c = 95.11742$ mm
 $k = 0.196$

$$C_c := 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \quad \frac{C_c}{1000} = 412.33404 \quad \text{kN}$$

Daerah Tarik:

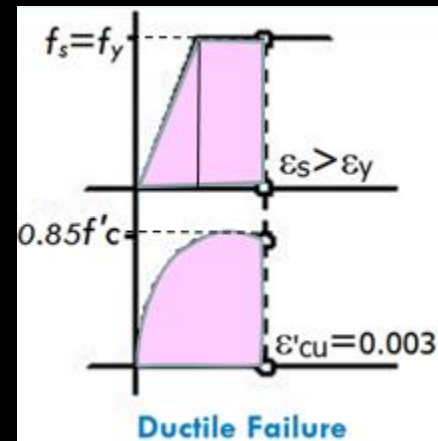
$$T := A_{st} \cdot f_s \quad \frac{T}{1000} = 412.33404 \quad \text{kN}$$

Momen Nominal:

$$M_n = 153.41923 \quad \text{kN.m}$$

Momen Rencana Ultimit:

$$M_r = 122.73538 \quad \text{kN.m}$$



Contoh soal 2:

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 300 mm, tinggi (h) = 500 mm memiliki tulangan tarik **4D29.0109439451685**, diameter tulangan geser 10 mm, selimut beton $d_s = 40$ mm, mutu baja $f_y = 420$ MPa, mutu beton $f_c' = 20$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = $2 \cdot 10^5$ MPa.

Hitunglah Kapasitas Momen Nominal dan Rencana Ultimit penampang balok tsb. menurut SNI 03-2847-2002.

Solusi:

$$b = 300 \quad \text{mm}$$

$$h = 500 \quad \text{mm}$$

$$d = 435.49453 \quad \text{mm}$$

$$f_c = 20 \quad \text{MPa}$$

$$f_y = 420 \quad \text{MPa}$$

$$A_{st} = 2644.07392 \quad \text{mm}^2$$

$$\beta_1(f_c) = 0.85$$

Tulangan Tarik:

$$\rho = 0.02024$$

$$\epsilon_{sy} = 0.0021$$

$$\epsilon_s = 0.0021$$

$$f_s = 420 \quad \text{MPa} \quad \text{Cek} = \text{"Tulangan Tarik Leleh"}$$

Syarat Daktilitas:

$$\rho_{\min}(f_c) = 0.00333$$

$$\rho_b = 0.02024$$

$$\rho_{\max} = 0.01518$$

Keruntuhan = "Balanced Reinforced"

Daerah Tekan:

$$a = 217.74726 \quad \text{mm}$$

$$c = 256.17325 \quad \text{mm}$$

$$k = 0.5$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \quad \frac{C_c}{1000} = 1110.51105 \quad \text{kN}$$

Daerah Tarik:

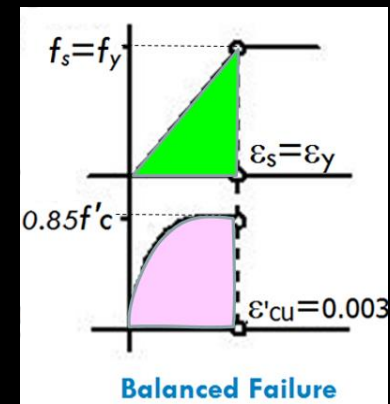
$$T := A_{st} \cdot f_s \quad \frac{T}{1000} = 1110.51105 \quad \text{kN}$$

Momen Nominal:

$$M_n = 362.71611 \quad \text{kN.m}$$

Momen Rencana Ultimit:

$$M_r = 290.17289 \quad \text{kN.m}$$



Contoh soal 3:

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 300 mm, tinggi (h) = 500 mm memiliki tulangan tarik **4D30**, diameter tulangan geser 10 mm, selimut beton $d_s = 40$ mm, mutu baja $f_y = 420$ MPa, mutu beton $f_c' = 20$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = 2.10^5 MPa.

Hitunglah Kapasitas Momen Nominal dan Rencana Ultimit penampang balok tsb. menurut SNI 03-2847-2002.

Solusi:

Data:

$$b = 300 \quad \text{mm}$$

$$h = 500 \quad \text{mm}$$

$$d = 435 \quad \text{mm}$$

$$f_c = 20 \quad \text{MPa}$$

$$f_y = 420 \quad \text{MPa}$$

$$A_{st} = 2827.43339 \quad \text{mm}^2$$

$$\beta_1(f_c) = 0.85$$

Tulangan Tarik:

$$\rho = 0.02167$$

$$\epsilon_{sy} = 0.0021$$

$$\epsilon_s = 0.002$$

$$f_s = 400.11661 \quad \text{MPa} \quad \text{Cek} = \text{"Tulangan Tarik Belum Leleh"}$$

Syarat Daktilitas:

$$\rho_{\min}(f_c) = 0.00333$$

$$\rho_b = 0.02024$$

$$\rho_{\max} = 0.01518$$

Keruntuhan = "Over Reinforced"

Daerah Tekan:

$$a = 221.82413 \quad \text{mm}$$

$$c = 260.96957 \quad \text{mm}$$

$$k = 0.50994$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \quad \frac{C_c}{1000} = 1131.30307 \quad \text{kN}$$

Daerah Tarik:

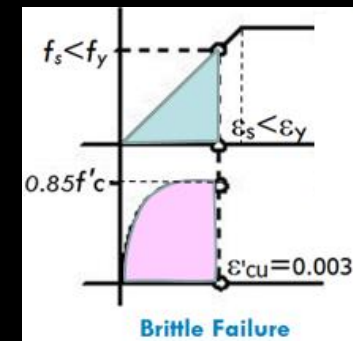
$$T := A_{st} \cdot f_s \quad \frac{T}{1000} = 1131.30307 \quad \text{kN}$$

Momen Nominal:

$$M_n = 366.64168 \quad \text{kN.m}$$

Momen Rencana Ultimit:

$$M_r = 293.31334 \quad \text{kN.m}$$



Kesimpulan Soal 1 sd 3:

Keruntuhan Tarik:

$$\varepsilon_s = 0,01001$$

$$c = 95,11742 \text{ mm}$$

$$k = 0,196$$

$$M_n = 153,41923 \text{ kN.m}$$

$$M_r = 122,73538 \text{ kN.m}$$

Keruntuhan Seimbang:

$$\varepsilon_s = 0,0021$$

$$c = 256,17325 \text{ mm}$$

$$k = 0,5$$

$$M_n = 362,716111 \text{ kN.m}$$

$$M_r = 290,17289 \text{ kN.m}$$

Keruntuhan Tekan:

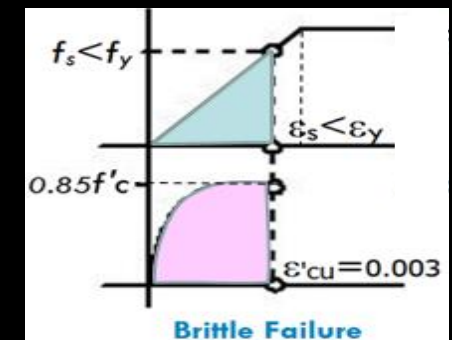
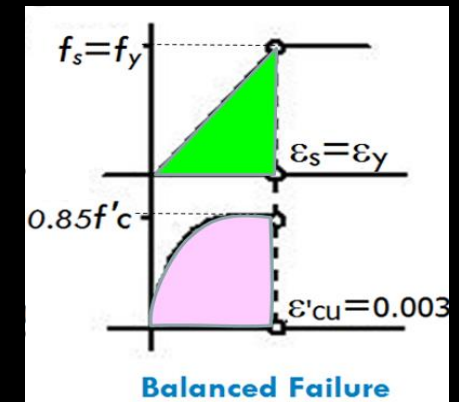
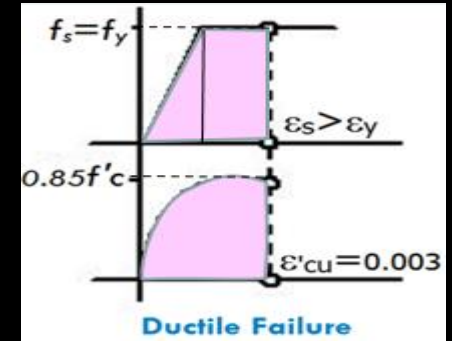
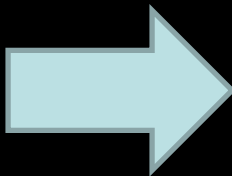
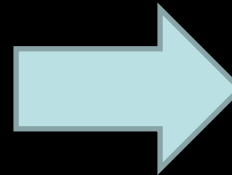
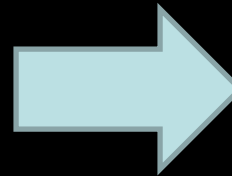
$$\varepsilon_s = 0,002$$

$$c = 260,96957 \text{ mm}$$

$$k = 0,50994$$

$$M_n = 366,64168 \text{ kN.m}$$

$$M_r = 293,31334 \text{ kN.m}$$



Contoh soal 4:

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 250 mm, tinggi (h) = 500 mm, selimut beton $d_s = 50$ mm, mutu baja $f_y = 400$ MPa, mutu beton $f'_c = 20$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = $2 \cdot 10^5$ MPa.

Hitung Momen Nominal untuk kondisi:

$$\rho = 0,5 \rho_b$$

$$\rho = 0,75 \rho_b$$

$$\rho = \rho_b$$

$$\rho = 1,25 \rho_b$$

Solusi

$$f_c' = 20 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 20}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02168 = 2,168\%$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

• Rumus untuk kasus 1-3

$$T = A_s \cdot f_y \Rightarrow k = \frac{T}{0,85 f_c' \cdot b \cdot d} ; j = (1 - 1/2k) ; M_n = T \cdot d \cdot j$$

• Rumus untuk kasus 4

$$A = 0,85 f_c' \cdot b \cdot d ; B = A_s \cdot E_s \cdot 0,003 ; C = A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot \beta_1 = B \cdot \beta_1$$

$$k = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} ; j = (1 - 1/2k) ; C_c = 0,85 f_c' \cdot b \cdot d \cdot k$$

$$M_n = C_c \cdot d \cdot j$$

Tabel Hasil Perhitungan

ρ	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4
	$0,50 \cdot \rho_b$	$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$	ρ_b	$1,25 \cdot \rho_b$
A_s (mm ²)	1.219,219	1.828,828	2.438,438	3.048,047
ρ (%)	1,084	1,626	2,168	2,709
$T = C_c$ (N)	487.687,50	731.531,25	975.375,00	1.037.288,22
k	0,255	0,383	0,510	0,542
j	0,873	0,809	0,745	0,729
M_n (kN.m)	191,478	266,232	326,994	340,195
M_n/M_b	0,59	0,81	1,00	1,04

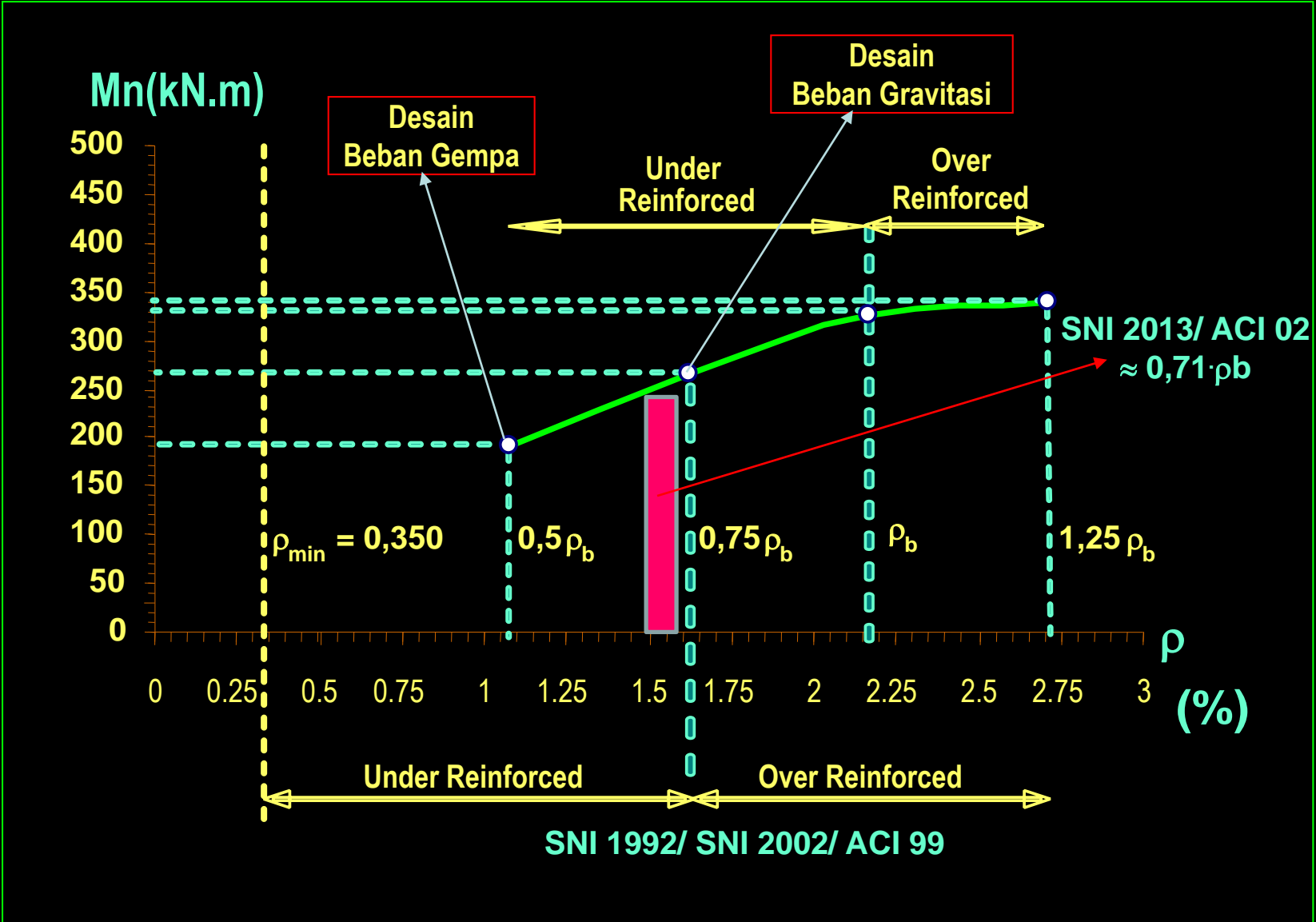
- Kasus 4:**

$A = 1912500$ N, $B = 1828828$ N, $C = 1554504$ N

$C_c = 0,85 f_c' \cdot b \cdot d \cdot k = 1037288,22$ N

$M_n = C_c \cdot d \cdot j = 340,195$ KN.m

$$k = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = 0,542$$



Resume:

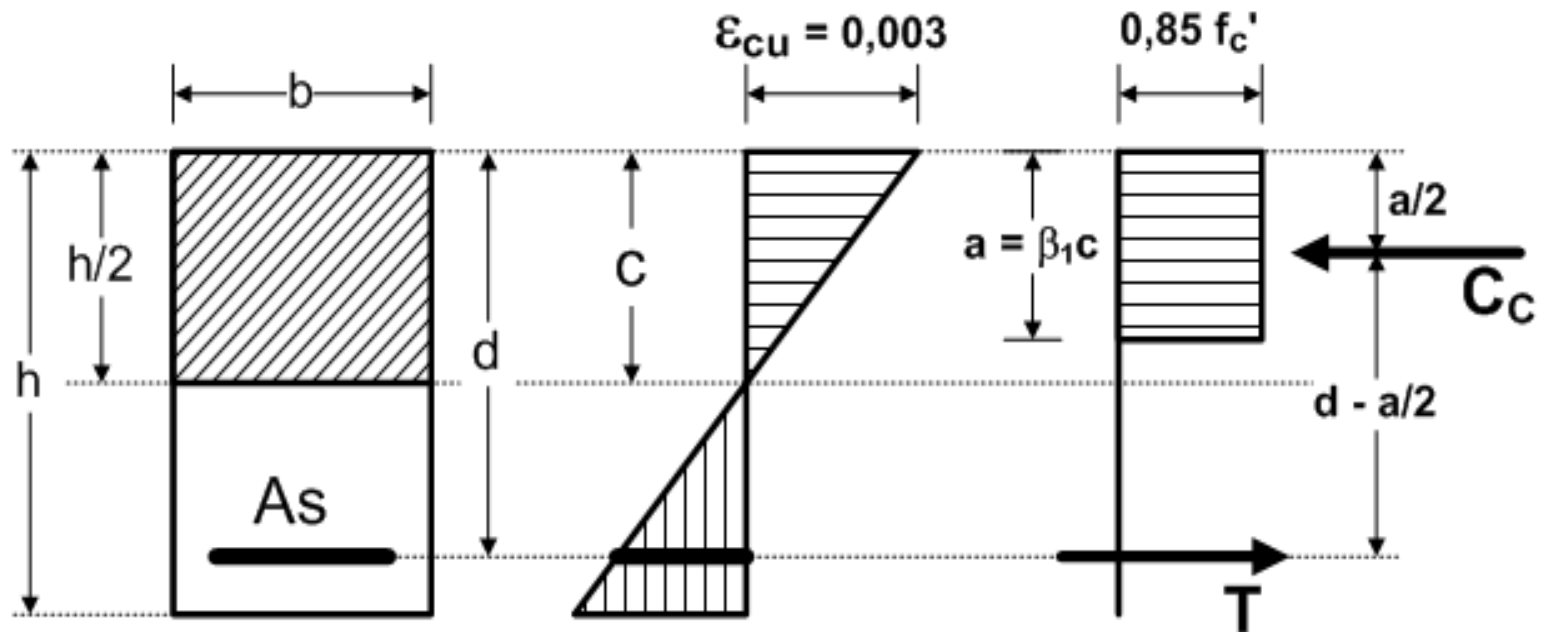
1. Peningkatan tulangan tarik sd melebihi ρ_b hanya memberikan sedikit kenaikan nilai momen nominal.
2. Peningkatan tulangan tarik menyebabkan kapasitas rotasi/ lendutan balok mengecil sehingga penampang menjadi getas.

DESAIN PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

Diketahui: M_u , b , d , f_c' , f_y

Ditanya: $A_s = ?$

Prosedur Desain :



Analisis penampang beton berdasarkan blok tegangan ekuivalen

DESAIN PENULANGAN LENTUR BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

1. Menghitung Koefisien Blok Stress (β_1)

SNI 03-2847-1992

Koefisien Blok Stress β_1	Mutu Beton (f_c') MPa
$\beta_1 = 0,85$	$0 \leq f_c' \leq 30$
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f_c' - 30)$	$30 \leq f_c' \leq 55$
$\beta_1 = 0,65$	$f_c' \geq 55$

SNI 03-2847-2002

Koefisien Blok Stress β_1	Mutu Beton (f_c') MPa
$\beta_1 = 0,85$	$0 \leq f_c' \leq 30$
$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot (f_c' - 30)/7$	$30 \leq f_c' \leq 58$
$\beta_1 = 0,65$	$f_c' \geq 58$

ACI 318M-05 / ACI 318R-08 / SNI 2847-2013

Koefisien Blok Stress β_1	Mutu Beton (f_c') MPa
$\beta_1 = 0,85$	$17 \leq f_c' \leq 28$
$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot (f_c' - 28)/7$	$28 \leq f_c' \leq 56$
$\beta_1 = 0,65$	$f_c' \geq 56$

2. Menghitung Tinggi Efektif Balok (d)

3. Menghitung Momen Nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad \text{---- } \phi = 0,80 \text{ utk lentur}$$

4. Kontrol apakah balok perlu tulangan rangkap

$$k_{maks} = 0,75 k_b = 0,75 \cdot \left(\beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_{maks} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot k_{maks} \right)$$

Hitung selisih momen: $M_{n2} = \Delta M = M_n - M_{n1}$

- Jika $M_{n2} > 0$ diperlukan tulangan rangkap
- Jika tulangan rangkap diperlukan, maka harus ada tulangan tekan
- Jika $M_{n2} < 0$ cukup dipakai tulangan tunggal

Jika dipakai tulangan tunggal

5. Menghitung nilai k_{perlu}

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_{perlu} \cdot \left(1 - \frac{k_{perlu}}{2}\right) \quad | \times 2$$

$$\frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2} = 2 \cdot k_{perlu} - k_{perlu}^2$$

$$(k_{perlu} - 1)^2 = 1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2}$$

$$k_{perlu} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2}}$$

6. Menentukan nilai A_s yang diperlukan (asumsi tulangan tarik leleh --- $f_s = f_y$)

$$M_n = A_{s_{perlu}} \cdot f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot k_{perlu}\right)$$

$$A_{s_{perlu}} = \frac{M_n}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k_{perlu}}{2}\right)}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

atau

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}}\right)$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

7. Hitung Luas Tulangan Minimum ($A_{s_{min}}$)

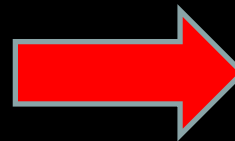
** Untuk beton $f_c' \leq 30$ MPa, maka:

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

** Untuk beton $f_c' > 30$ MPa, maka:

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$



$$A_{s_{min}} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

Jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka hitung $\rho_{perlu}^* = (4/3) \cdot \rho_{perlu}$:

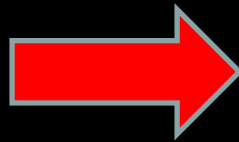
** Jika $\rho_{perlu}^* = (4/3) \cdot \rho_{perlu}$ melebihi nilai ρ_{min} maka $\rho_{perlu} = \rho_{perlu}^*$

** Jika $\rho_{perlu}^* = (4/3) \cdot \rho_{perlu}$ kurang dari nilai ρ_{min} maka $\rho_{perlu} = \rho_{min}$

8. Hitunglah nilai Rasio Tulangan Maksimum

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

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$



$$A_{s_{max}} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$$

9. Pilih tulangan dengan syarat: $A_{st} \geq A_{s_{perlu}}$

10. Cek syarat daktilitas: $A_{s_{min}} \leq A_{st} \leq A_{s_{max}}$

ANALISIS TULANGAN TERPASANG

(Jika tulangan tarik leleh --- $f_s \geq f_y$)

11. Hitung Regangan Tarik Baja (ϵ_s)

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_t}{k_t} \right) =$$

$$\epsilon_s = 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_t}{k_t} \right) \geq \epsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} \quad (\text{tulangan tarik baja leleh, maka sesuai asumsi awal } f_s = f_y)$$

12. Kontrol Kapasitas Momen Nominal (M_{nt})

$$k_t = \frac{A_{st}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}, \quad a = k_t \cdot d, \quad c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot k_t) \geq M_n$$

13. Kontrol Kapasitas Momen Rencana (M_r)

$$M_r = \phi \cdot M_{nt} \geq M_u$$

14. Gambar Hasil Tulangan Tarik

(Jika tulangan tarik belum leleh --- $f_s < f_y$)

11. Hitung Regangan Tarik Baja (ϵ_s)

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_t}{k_t} \right) =$$

$$\epsilon_s = 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k_t}{k_t} \right) < \epsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} \quad (\text{tulangan tarik baja belum leleh})$$

Jika $\epsilon_s < \epsilon_{sy} \rightarrow f_s = E_s \cdot \epsilon_s$ maka koreksi nilai k_t :

12. Kontrol Kapasitas Momen Nominal (M_{nt})

$$A = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d$$

$$B = A_{st} \cdot E_s \cdot \epsilon_{cu} = A_{st} \cdot E_s \cdot 0,003$$

$$C = A_{st} \cdot E_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot \beta_1 = B \cdot \beta_1$$

$$k_t = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2A}, \quad a = k_t \cdot d, \quad c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot f_s \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot k_t) \geq M_n$$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot (E_s \cdot \epsilon_s) \cdot d \cdot (1 - 1/2 \cdot k_t) \geq M_n$$

13. Kontrol Kapasitas Momen Rencana Ultimit (M_r)

$$M_r = \phi \cdot M_{nt} \geq M_u$$

14. Hitung Faktor Keamanan (SF)

$$SF = \frac{M_r}{M_u} \geq 1 \text{ --- Aman}$$

DESAIN DIMENSI PENAMPANG BALOK PERSEGI BERTULANGAN TUNGGAL

$$b \cdot d^2 = \frac{M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot k_{maks} \cdot \left(1 - \frac{k_{maks}}{2}\right)}$$

- Tentukan nilai lebar (b)
 $b/d = 1/2 \rightarrow d = 2 \cdot b$

Keterangan :

ACI / SNI-02	: $k_{maks} \leq 0,75 \cdot k_b$
UBC/Gempa	: $k_{maks} \leq 0,50 \cdot k_b$
Pengalaman	: $k_{maks} \leq 0,30 \cdot k_b$

$$k_b = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot k_b$$

Contoh soal 5:

Sebuah pelat lantai sebuah bangunan air dengan tebal 120 mm, selimut beton $d_s = 20$ mm, mutu baja $f_y = 240$ MPa, dan mutu beton $f'_c = 15$ MPa. Momen ultimit yang bekerja pada pelat tersebut adalah sebesar $11,64 \times 10^6$ N.mm.

Desainlah tulangan pelat tersebut per meter.

Penyelesaian:

Momen Nominal:

$$\phi = 0,80 \text{ --- utk lentur}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{11,64 \cdot 10^6}{0,80} = 14550000 \text{ N.mm}$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583$$

Rasio tulangan maksimum:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ -- karena } f_c' = 15 \text{ MPa}$$

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \left[\beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right]$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \left[0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 15}{240} \cdot \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \right] = 0,0242$$

Tinggi efektif pelat:

perkiraan diameter tulangan $\phi = 12$ mm

$$d = h - ds - \frac{1}{2} \cdot \phi = 120 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 12 = 94 \text{ mm}$$

Rasio Tulangan Perlu:

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{14550000}{1000 \cdot 94^2} = 1,647$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot fc'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot fc'}} \right) = \frac{0,85 \cdot 15}{240} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,647}{0,85 \cdot 15}} \right) = 0,00737$$

Karena $\rho_{\min} = 0,00583 < \rho = 0,00737 < \rho_{\max} = 0,0242$,
maka dipakai $\rho = 0,00737$

Luas tulangan perlu:

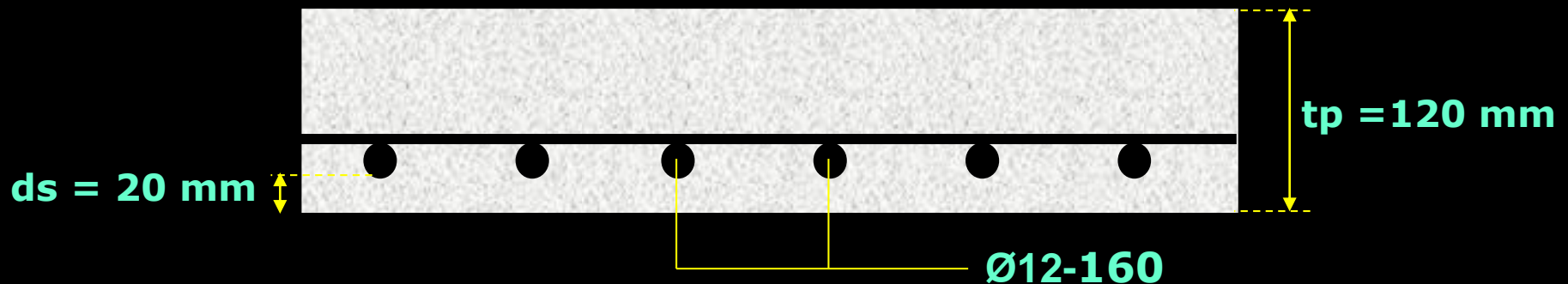
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00737 \cdot 1000 \cdot 94 = 692,78 \text{ mm}^2$$

dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$\text{Jarak Antar Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 1000}{692,78} = 163,17 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan $\emptyset 12 - 160$

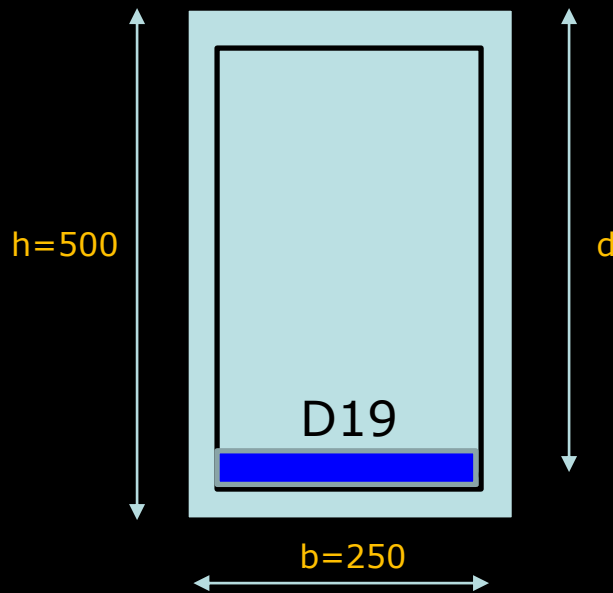
**Cek jarak antar tulangan $160 \text{ mm} < 3h = 360 \text{ mm}$
dan $< 500 \text{ mm} \dots \text{ok!}$**



Contoh soal 6:

Sebuah balok beton mempunyai ukuran $b \times h = 250 \times 500$ mm, mutu beton $f'_c = 25$ MPa, mutu baja $f_y = 400$ MPa, balok memikul beban lentur $M_u = 100$ kNm.

Ditanya, tentukan jumlah tulangan As yang dibutuhkan.



Penyelesaian:

1. Koefisien Blok Stress (β_1)

$$\beta_1 = 0,85 \text{ -- karena } f_c' = 25 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$$

2. Tinggi Efektif Balok (d):

Asumsi dipakai diameter tulangan 19 mm –1 lapis

$$d = h - d_s - \phi_s - \frac{1}{2} \cdot \phi_{ut}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 440,50 \text{ mm}$$

3. Momen Nominal Balok (M_n):

$$\phi = 0,80 \text{ --- utk lentur}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{100}{0,80} = 125 \text{ kN.m}$$

4. Kontrol apakah balok perlu tulangan rangkap

$$k_{maks} = 0,75 \cdot \left(\beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$k_{maks} = 0,75 \cdot \left(0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \right) = 0,3825$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_{maks} \cdot (1 - 1/2 \cdot k_{maks})$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot (25) \cdot (250) \cdot (440,50)^2 \cdot (0,3825) \cdot (1 - 1/2 \cdot (0,3825)) \times 10^{-6}$$

$$M_{n1} = 318,8868 \text{ kN.m}$$

$$M_{n2} = \Delta M = M_n - M_{n1}$$

$$M_{n2} = 125 - 318,8868 = -193,8868 \text{ kN.m} < 0 - \text{cukup tulangan tunggal}$$

5. Nilai k_{perlu}

$$k_{perlu} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2}}$$

$$k_{perlu} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (125 \times 10^6)}{0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 440,50^2}} = 0,1297$$

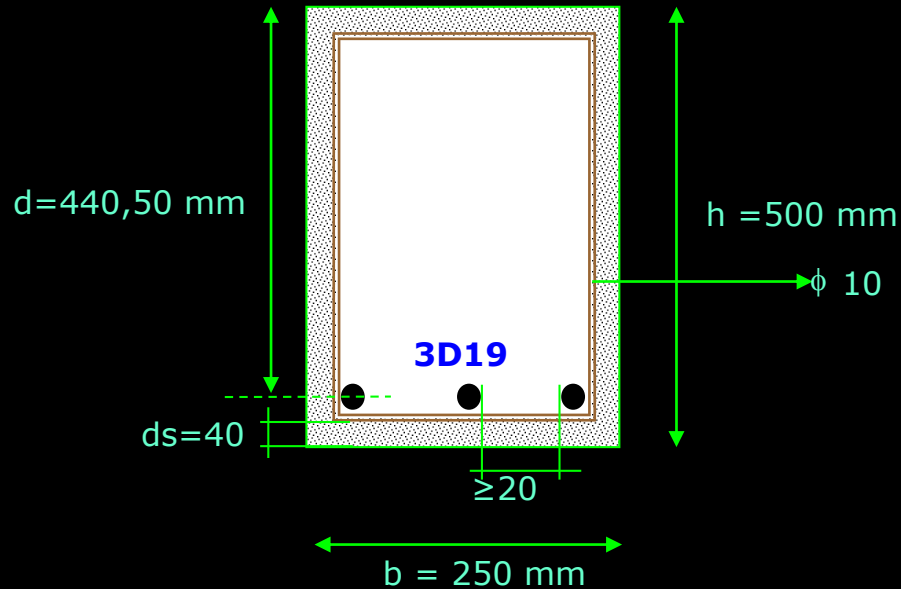
6. Nilai A_{sperlu}

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k_{perlu}}{2}\right)}$$

$$A_{sperlu} = \frac{125 \times 10^6}{400 \cdot 440,50 \cdot \left(1 - \frac{0,1297}{2}\right)} = 758,6042 \text{ mm}^2$$

7. Tulangan Terpasang

Dipakai tulangan 3D19 ($A_{st} = 859,909 \text{ mm}^2$)



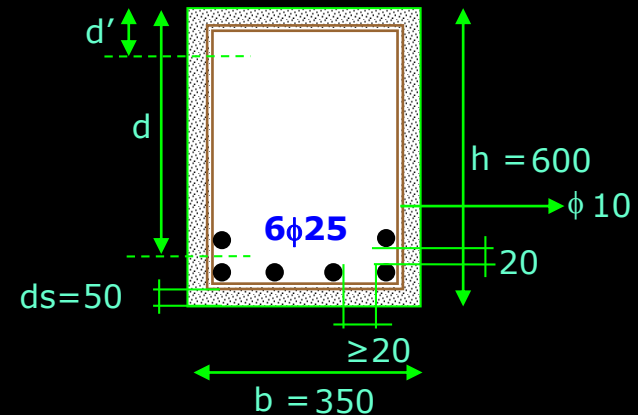
Umpan Balik Modul 3

Soal 1:

Sebuah balok segiempat yang terletak diatas 2 tumpuan dengan panjang bentang balok $L = 10$ m dan memikul beban merata berfaktor total sebesar q_u , balok tersebut berdimensi lebar 350 mm, tinggi 600 mm, diameter sengkang 10 mm dan jarak minimum antar tulangan utama 20 mm. Tulangan tarik 6D-25, selimut beton 50 mm. Hitunglah besarnya beban q_u yang mampu dipikul penampang balok.

Nim Ganjil : $f_y = 350$ MPa, $f_c' = 22$ MPa.

Nim Genap : $f_y = 400$ MPa, $f_c' = 32$ MPa.



Umpan Balik Modul 3

Soal 2:

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 300 mm, tinggi (h) = 500 mm, selimut beton $d_s = 50$ mm, mutu baja $f_y = 400$ MPa, mutu beton $f_c' = 32$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = $2 \cdot 10^5$ MPa. Momen ultimit yang bekerja adalah 160 kN.m (Ganjil), 200 kN.m (Genap)

Desainlah tulangan balok tersebut dengan kondisi under reinforced.

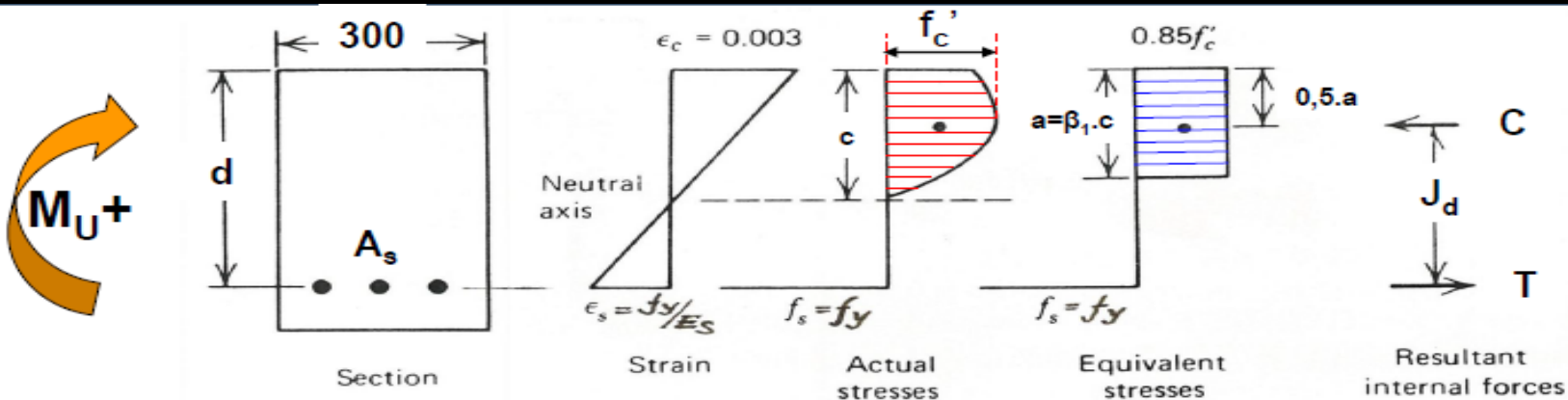
Soal 3:

Sebuah pelat satu arah dengan tebal 150 mm, selimut beton $d_s = 25$ mm, mutu baja $f_y = 350$ MPa, dan mutu beton $f_c' = 25$ MPa. Momen ultimit yang bekerja pada pelat tersebut adalah sebesar 15 kN.m (Ganjil), 20 kN.m (Genap).

Desainlah tulangan pelat tersebut per meter.

Umpan Balik Modul 3

Soal 4:



Diketahui: balok beton bertulang tunggal
 $b = 300$ mm ; $f_c' = 20$ MPa ; $f_y = 400$ MPa
 $M_{DL} = 85$ kNm dan $M_{LL} = 120$ kNm

Ditanya: Untuk mendesain

- Tinggi balok minimum ($\rho = \rho_{\max} = 0.75 \rho_{\text{balance}}$)
- Apabila tinggi efektif balok 700 mm ($=d$)
- Apabila tinggi total balok 750 mm

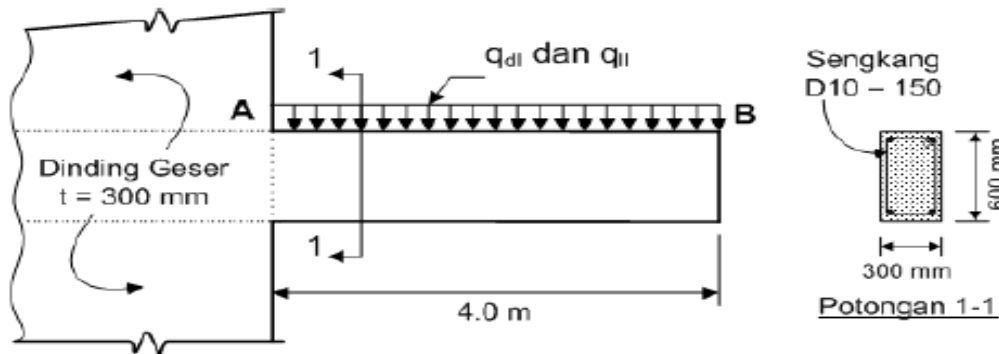
Umpan Balik Modul 3

Soal 5:

Diketahui balok kantilever dengan penampang persegi empat (300 mm x 600 mm) seperti pada gambar dibawah ini.

Beban mati termasuk berat sendiri = 16 kN/m'

Beban hidup = 5 kN/m'



Mutu bahan :

Beton

$f'_c = 20; 25; 30; 35 \text{ MPa}$

Besi tulangan

$f'_y = 400 \text{ MPa} ;$

$E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$

Diminta dari saudara untuk menghitung :

- Jumlah tulangan di ujung balok kantilever (pergunakan diameter tulangan D-25)
- Gambar detail penampang penulangan balok tersebut

LAMPIRAN DESAIN TULANGAN

BESI TULANGAN UTK BALOK DAN KOLOM

DAFTAR TULANGAN POLOS BETON

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Luas Tulangan (mm ²)									
		Jumlah Tulangan									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0.220	28.286	56.571	84.857	113.143	141.429	169.714	198.000	226.286	254.571	282.857
8	0.393	50.286	100.571	150.857	201.143	251.429	301.714	352.000	402.286	452.571	502.857
8.5	0.439	56.768	113.536	170.304	227.071	283.839	340.607	397.375	454.143	510.911	567.679
9	0.499	63.643	127.286	190.929	254.571	318.214	381.857	445.500	509.143	572.786	636.429
10	0.620	78.571	157.143	235.714	314.286	392.857	471.429	550.000	628.571	707.143	785.714
12	0.887	113.143	226.286	339.429	452.571	565.714	678.857	792.000	905.143	1018.286	1131.429
13	1.040	132.786	265.571	398.357	531.143	663.929	796.714	929.500	1062.286	1195.071	1327.857
14	1.209	154.000	308.000	462.000	616.000	770.000	924.000	1078.000	1232.000	1386.000	1540.000
15	1.377	176.786	353.571	530.357	707.143	883.929	1060.714	1237.500	1414.286	1591.071	1767.857
16	1.580	201.143	402.286	603.429	804.571	1005.714	1206.857	1408.000	1609.143	1810.286	2011.429
18	1.994	254.571	509.143	763.714	1018.286	1272.857	1527.429	1782.000	2036.571	2291.143	2545.714
19	2.230	283.643	567.286	850.929	1134.571	1418.214	1701.857	1985.500	2269.143	2552.786	2836.429
20	2.465	314.286	628.571	942.857	1257.143	1571.429	1885.714	2200.000	2514.286	2828.571	3142.857
22	2.980	380.286	760.571	1140.857	1521.143	1901.429	2281.714	2662.000	3042.286	3422.571	3802.857
25	3.850	491.071	982.143	1473.214	1964.286	2455.357	2946.429	3437.500	3928.571	4419.643	4910.714
26	4.136	531.143	1062.286	1593.429	2124.571	2655.714	3186.857	3718.000	4249.143	4780.286	5311.429
28	4.830	616.000	1232.000	1848.000	2464.000	3080.000	3696.000	4312.000	4928.000	5544.000	6160.000
30	5.510	707.143	1414.286	2121.429	2828.571	3535.714	4242.857	4950.000	5657.143	6364.286	7071.429

BESI TULANGAN UTK BALOK DAN KOLOM

DAFTAR TULANGAN ULIR BETON

Diameter (mm)	Berat (kg/m ³)	Diameter Nominal (mm)	Luas Tulangan (mm ²)									
			Jumlah Tulangan									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0.560	9.530	71.359	142.719	214.078	285.437	356.796	428.156	499.515	570.874	642.234	713.593
13	0.995	12.700	126.728	253.456	380.184	506.911	633.639	760.367	887.095	1013.823	1140.551	1267.279
16	1.560	15.900	198.636	397.273	595.909	794.546	993.182	1191.819	1390.455	1589.091	1787.728	1986.364
19	2.250	19.100	286.636	573.273	859.909	1146.546	1433.182	1719.819	2006.455	2293.091	2579.728	2866.364
22	3.040	22.200	387.231	774.463	1161.694	1548.926	1936.157	2323.389	2710.620	3097.851	3485.083	3872.314
25	3.980	25.400	506.911	1013.823	1520.734	2027.646	2534.557	3041.469	3548.380	4055.291	4562.203	5069.114
29	5.040	28.600	642.683	1285.366	1928.049	2570.731	3213.414	3856.097	4498.780	5141.463	5784.146	6426.829
32	6.230	31.800	794.546	1589.091	2383.637	3178.183	3972.729	4767.274	5561.820	6356.366	7150.911	7945.457
35	7.510	34.900	957.008	1914.016	2871.024	3828.031	4785.039	5742.047	6699.055	7656.063	8613.071	9570.079
38	8.950	38.100	1140.551	2281.101	3421.652	4562.203	5702.754	6843.304	7983.855	9124.406	10264.956	11405.507

BESI TULANGAN UTK PELAT LANTAI

DAFTAR TULANGAN POLOS BETON

Jarak antar tulangan as-as (mm)	Jumlah batang tiap m'	Luas Total Tulangan dalam 1 m lebar pelat sesuai diameter tulangan (mm) yang tercantum (mm ²)							
		6	8	10	12	16	19	22	25
70	14.29	404.082	718.367	1122.449	1616.327	2873.469	4052.041	5432.653	7015.306
75	13.33	377.143	670.476	1047.619	1508.571	2681.905	3781.905	5070.476	6547.619
80	12.50	353.571	628.571	982.143	1414.286	2514.286	3545.536	4753.571	6138.393
85	11.76	332.773	591.597	924.370	1331.092	2366.387	3336.975	4473.950	5777.311
90	11.11	314.286	558.730	873.016	1257.143	2234.921	3151.587	4225.397	5456.349
95	10.53	297.744	529.323	827.068	1190.977	2117.293	2985.714	4003.008	5169.173
100	10.00	282.857	502.857	785.714	1131.429	2011.429	2836.429	3802.857	4910.714
105	9.52	269.388	478.912	748.299	1077.551	1915.646	2701.361	3621.769	4676.871
110	9.09	257.143	457.143	714.286	1028.571	1828.571	2578.571	3457.143	4464.286
115	8.70	245.963	437.267	683.230	983.851	1749.068	2466.460	3306.832	4270.186
120	8.33	235.714	419.048	654.762	942.857	1676.190	2363.690	3169.048	4092.262
125	8.00	226.286	402.286	628.571	905.143	1609.143	2269.143	3042.286	3928.571
130	7.69	217.582	386.813	604.396	870.330	1547.253	2181.868	2925.275	3777.473
135	7.41	209.524	372.487	582.011	838.095	1489.947	2101.058	2816.931	3637.566
140	7.14	202.041	359.184	561.224	808.163	1436.735	2026.020	2716.327	3507.653
145	6.90	195.074	346.798	541.872	780.296	1387.192	1956.158	2622.660	3386.700
150	6.67	188.571	335.238	523.810	754.286	1340.952	1890.952	2535.238	3273.810
155	6.45	182.488	324.424	506.912	729.954	1297.696	1829.954	2453.456	3168.203
160	6.25	176.786	314.286	491.071	707.143	1257.143	1772.768	2376.786	3069.196
165	6.06	171.429	304.762	476.190	685.714	1219.048	1719.048	2304.762	2976.190
170	5.88	166.387	295.798	462.185	665.546	1183.193	1668.487	2236.975	2888.655
175	5.71	161.633	287.347	448.980	646.531	1149.388	1620.816	2173.061	2806.122
180	5.56	157.143	279.365	436.508	628.571	1117.460	1575.794	2112.698	2728.175
190	5.26	148.872	264.662	413.534	595.489	1058.647	1492.857	2001.504	2584.586
200	5.00	141.429	251.429	392.857	565.714	1005.714	1418.214	1901.429	2455.357