

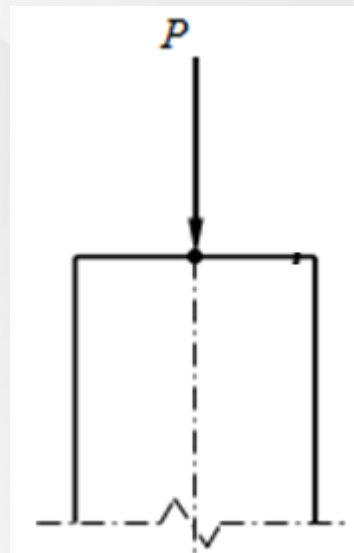
Mata Kuliah : Perancangan Struktur Beton
Kode : TSI-303
SKS : 3 sks

Kolom Dengan Gaya Tekan Aksial Eksentris

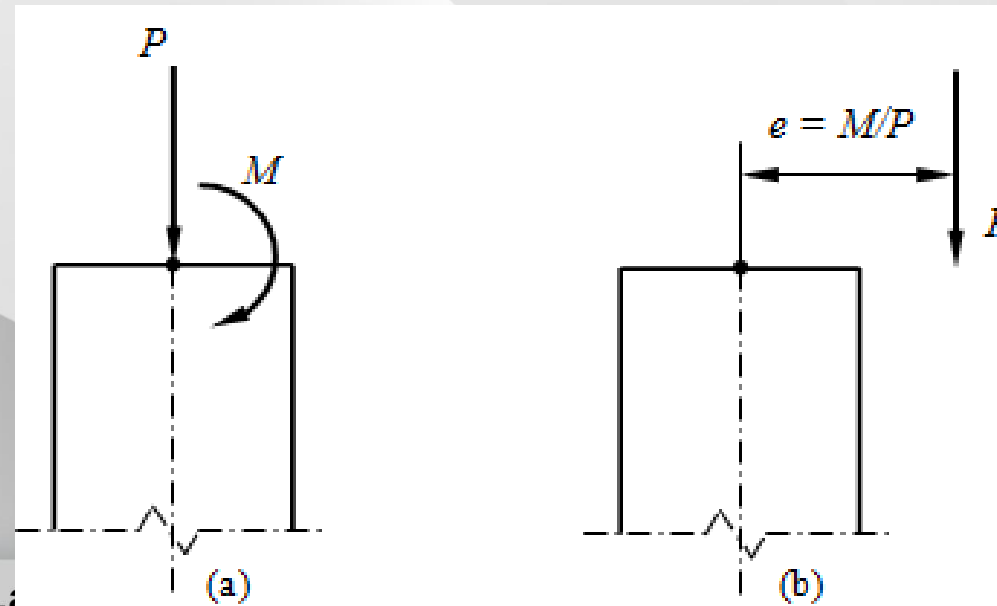
Pertemuan - 10

- Sub Pokok Bahasan :
 - Keruntuhan Seimbang, Tarik dan Tekan
 - Diagram Interaksi Kolom

- Pada umumnya selain beban aksial tekan, kolom pada saat yang bersamaan juga memikul momen lentur
- Ketika sebuah elemen kolom diberi beban aksial, P , dan momen lentur, M , maka biasanya dapat diekivalenkan dengan beban P yang bekerja pada eksentrisitas, $e = M/P$

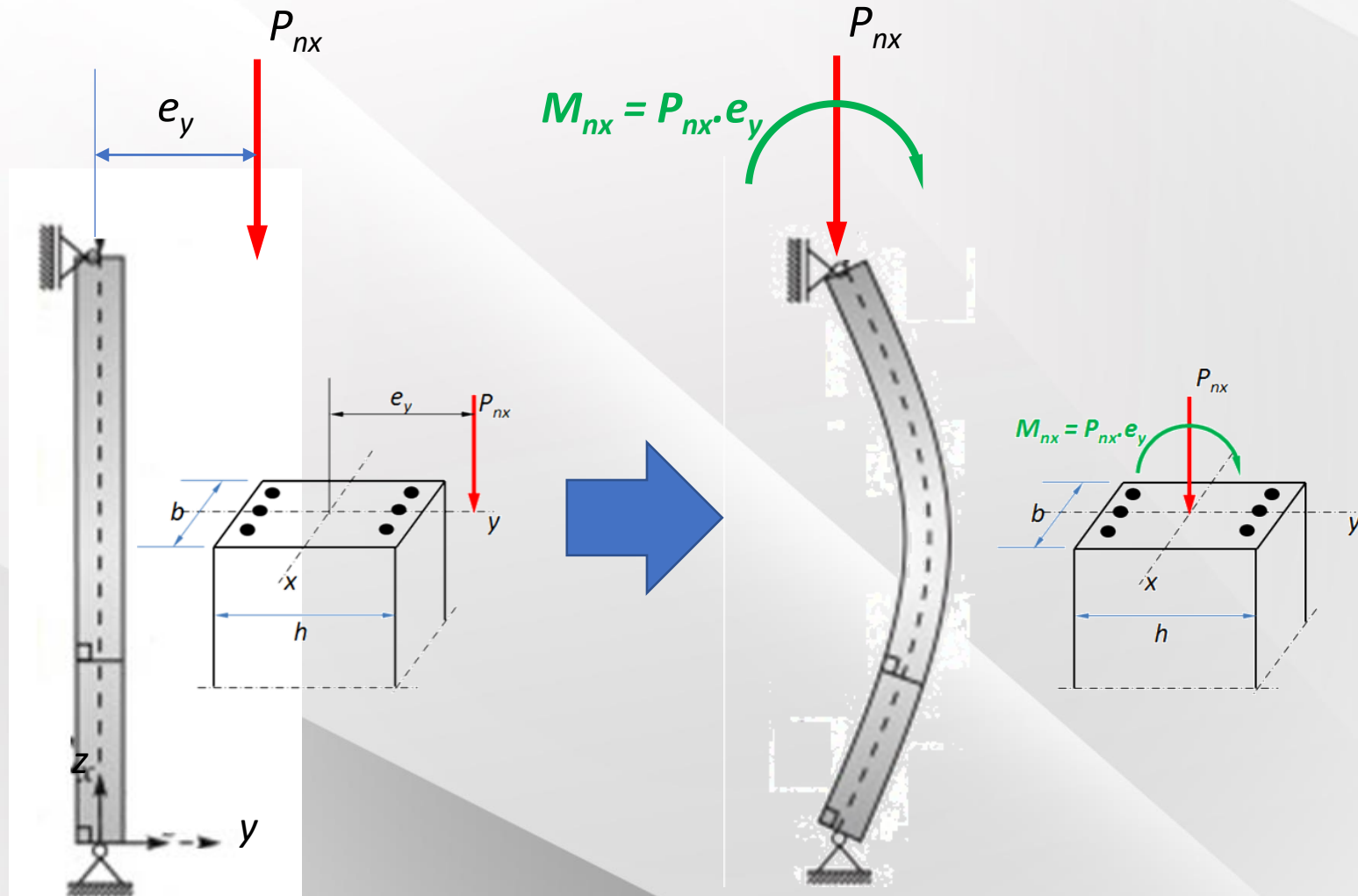


P konsentris

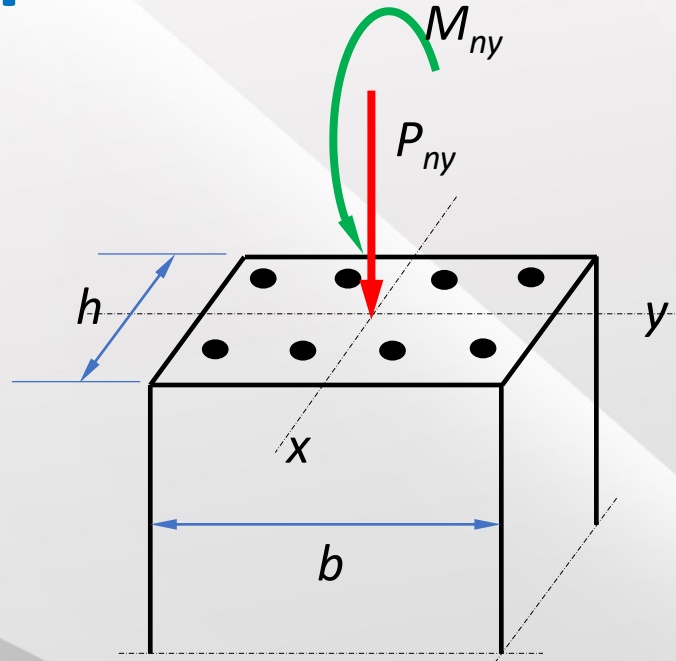
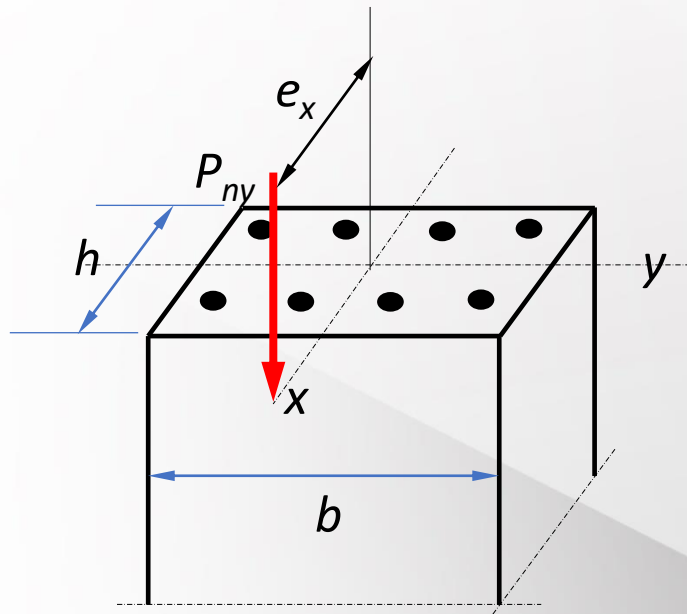


(a)

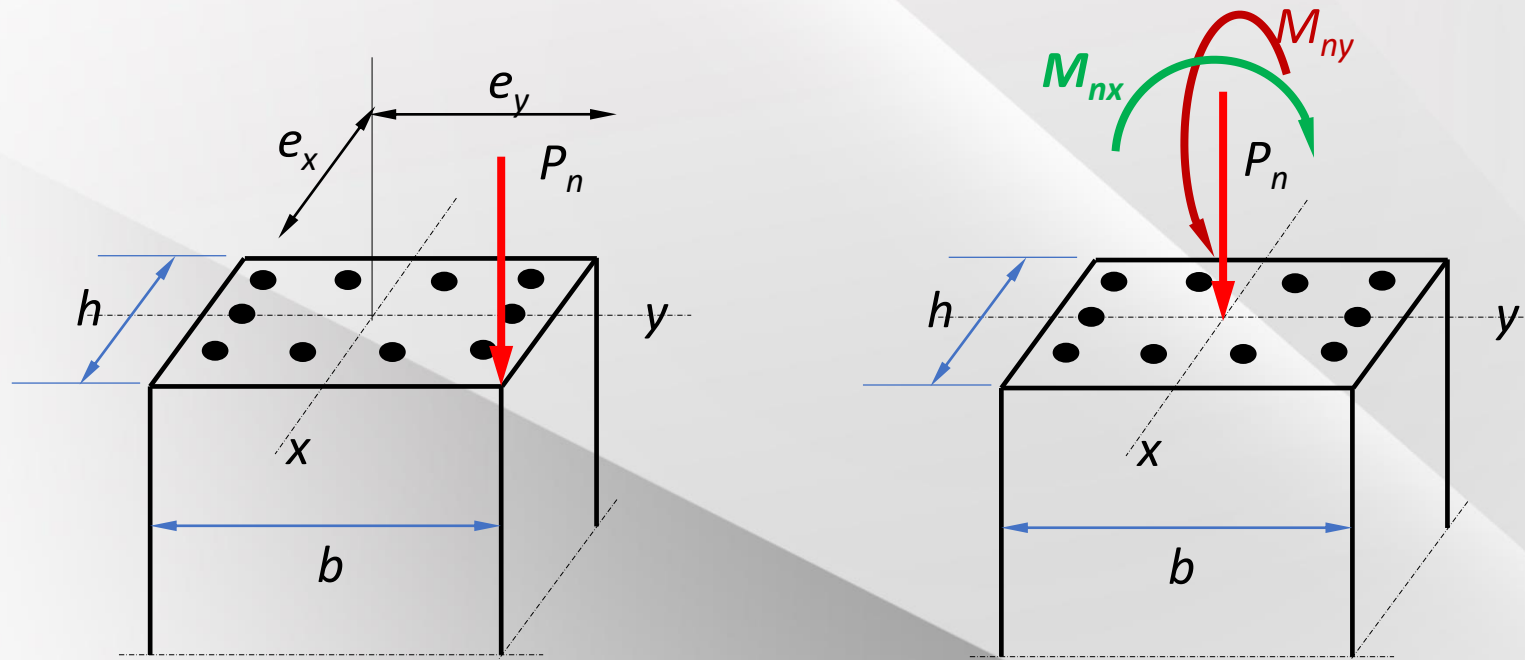
(b)



Lentur Dalam Arah Y



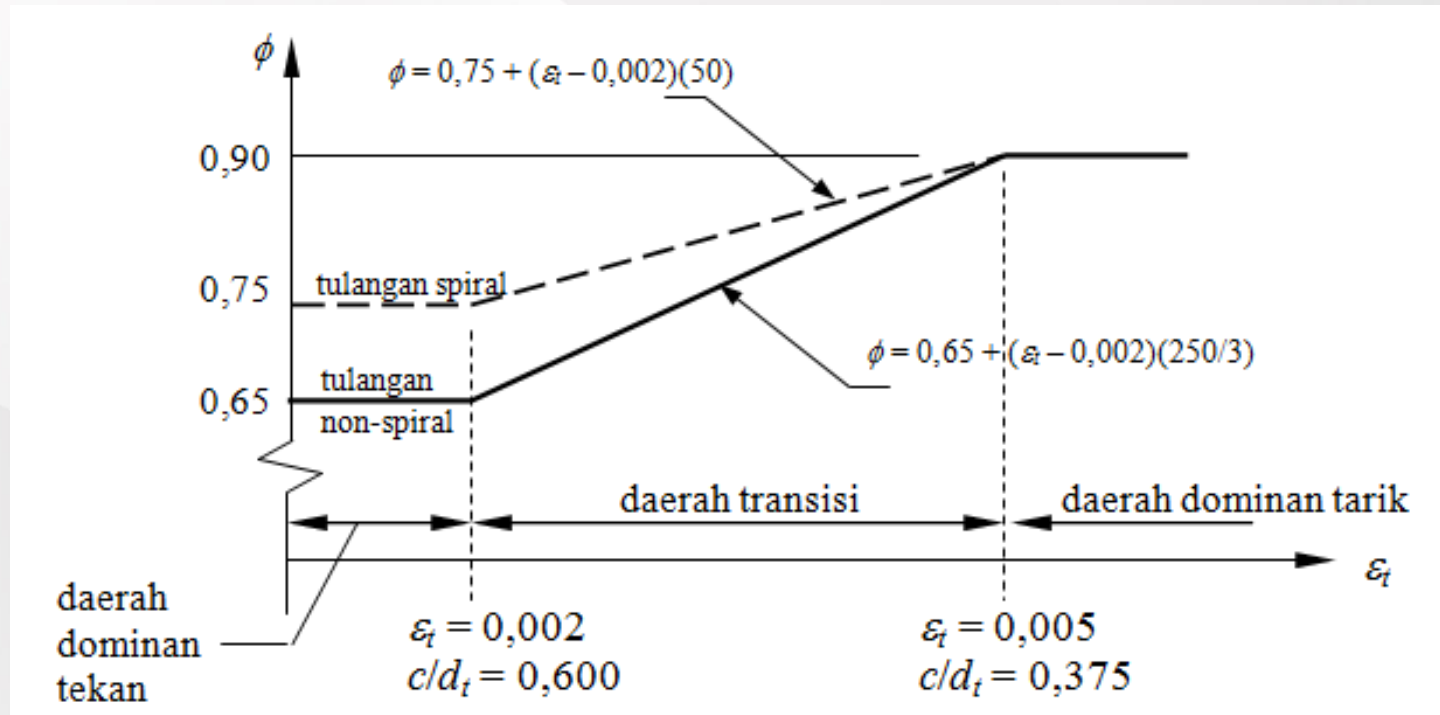
- Apabila timbul beban kombinasi antara P_n , $M_{nx} = P_n e_y$ dan $M_{ny} = P_n e_x$, maka kolom pada kondisi ini dikatakan mengalami lentur dua arah (**biaxial bending**).



Asumsi Desain dan Faktor Reduksi Kekuatan

- Regangan pada beton dan baja dianggap proporsional terhadap jarak ke sumbu netral
- Keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan harus dipenuhi
- Regangan tekan maksimum pada beton dibatasi sebesar 0,003
- Kekuatan beton di daerah tarik dapat diabaikan
- Tegangan pada tulangan baja adalah $f_s = \varepsilon E_s < f_y$
- Blok tegangan beton dianggap berbentuk persegi sebesar $0,85f'_c$ yang terdistribusi merata dari serat tekan terluar hingga setinggi $a = \beta_1 c$. Dengan c adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral penampang. Nilai β_1 adalah 0,85, jika $f'_c < 30$ MPa. Nilai β_1 akan berkurang 0,05 setiap kenaikan 7 MPa, namun tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

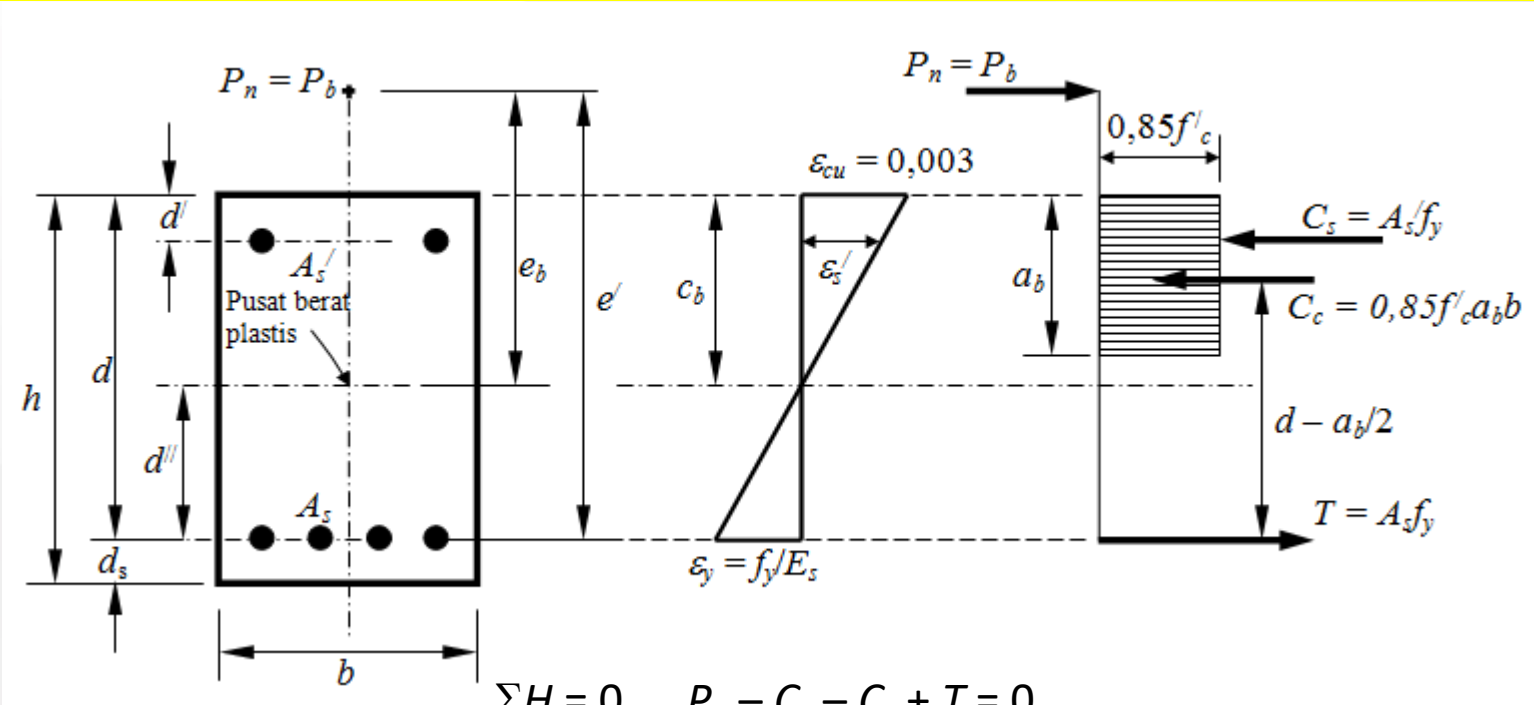
- Faktor reduksi kekuatan, ϕ ,



3 Tipe Keruntuhan Kolom

- **Kondisi seimbang** terjadi pada penampang kolom, ketika beban P_b bekerja pada penampang, yang akan menghasilkan **regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton**, dan pada saat yang bersamaan **tulangan baja mengalami luluh**, atau regangannya mencapai $\varepsilon_y = f_y/E_s$.
- Apabila beban eksentris yang bekerja lebih besar daripada P_b , maka kolom akan mengalami **keruntuhan tekan ($P_n > P_b$)**
- Sedangkan apabila beban eksentris yang bekerja lebih kecil daripada P_b , kolom akan mengalami **keruntuhan Tarik ($P_n < P_b$)**

Penampang Kolom Dengan Keruntuhan Seimbang



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

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

$$\Sigma H = 0 \quad P_b - C_c - C_s + T = 0$$

Dengan :

$$C_c = 0,85 f'_c a_b b$$

$$T = A_s f_y$$

$$C_s = A_s' (f'_s - 0,85 f'_c)$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) \leq f_y$$



Sehingga persamaan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal dapat ditulis kembali menjadi berbentuk

$$P_b = 0,85f'_c a_b b + A_s'(f'_s - 0,85f'_c) - A_s f_y$$

dengan mengambil jumlahan momen terhadap pusat berat plastis.

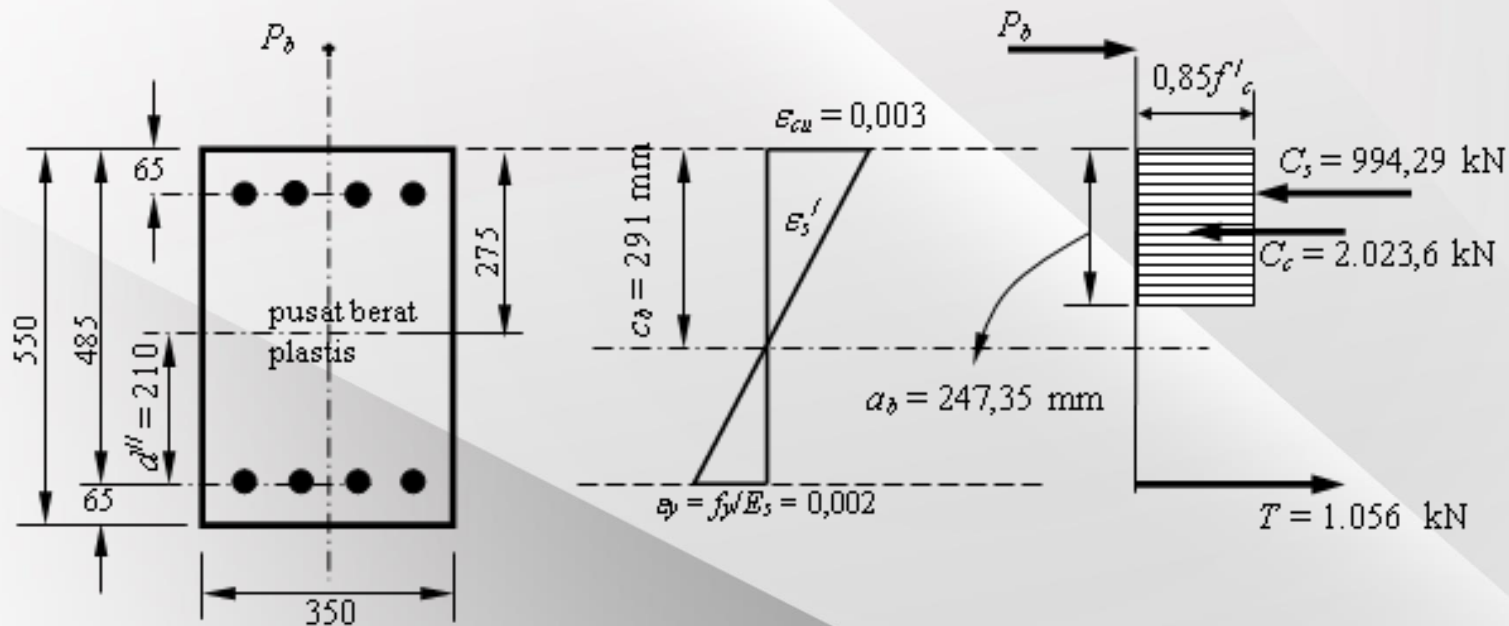
$$P_b \cdot e_b = C_c \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + C_s (d - d' - d'') + T d''$$

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

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

Contoh 1

Tentukan gaya tekan pada kondisi seimbang, P_b , serta tentukan pula besar eksentrisitas dan momen pada kondisi seimbang, e_b dan M_b untuk penampang kolom berikut. Gunakan $f'_c = 27,5$ MPa dan $f_y = 400$ MPa.



1. Hitung nilai ϵ_y

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200.000} = 0,002$$

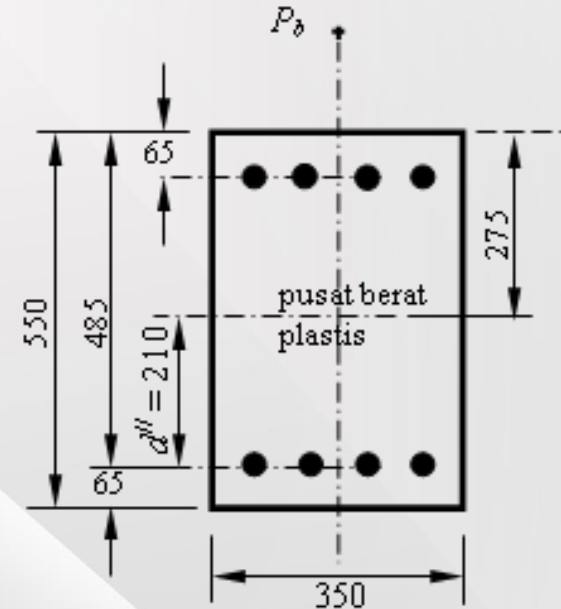
2. Hitung c_b dan a_b

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d = \frac{600}{600 + 400} (485) = 291$$

$$a_b = \beta_1 c_b = 0,85(291) = 247,35 \text{ mm}$$

3. Periksa keluluhan tulangan tekan

$$f_s' = 600 \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) = 600 \left(\frac{291 - 65}{291} \right) = 465,98 \text{ MPa} > 400 \text{ MPa}$$



4. Hitung C_c , C_s dan T

$$C_c = 0,85f'_c a_b b = 0,85(27,5)(247,35)(350) = 2.023.632,19 \text{ N}$$

$$T = A_s f_y = 4(660)(400) = 1.056.000 \text{ N}$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85f'_c) = 4(660)(400 - 0,85(27,5)) = 994.290 \text{ N}$$

5. Hitung P_b dan M_b

$$P_b = C_c + C_s - T = 2.023.632,19 + 994.290 - 1.056.000 = 1.961.922,19 \text{ N}$$

$$M_b = 0,85 f'_c a_b b \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + A'_s (f_y - 0,85 f'_c) (d - d' - d'') + A_s f_y d''$$

$$M_b = 2.023.632,19 \left(485 - \frac{247,35}{2} - 210 \right) + 994.290 (485 - 65 - 210) + 1.056.000 (210)$$

$$M_b = 736.787.041,15 \text{ N}\cdot\text{mm} \quad e_b = \frac{M_b}{P_b} = \frac{736.787.041,15}{1.961.922,19} = 375,54 \text{ mm}$$

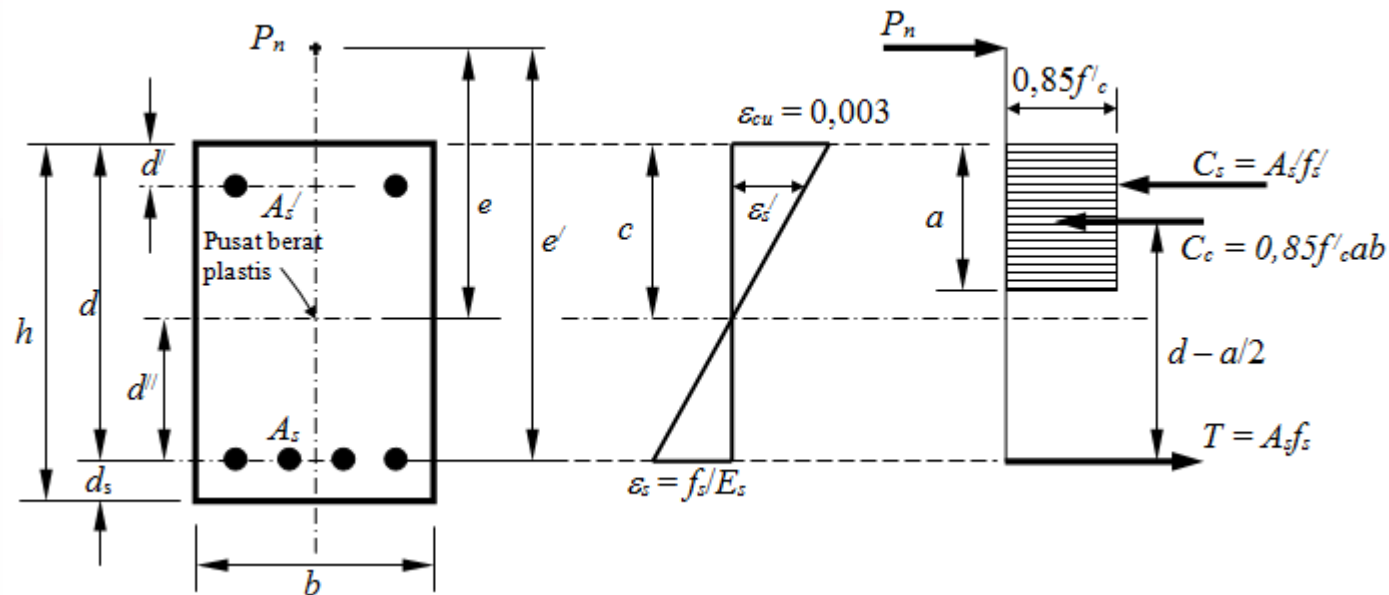
6. Hitung e_b

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} = \frac{736.787.041,15}{1.961.922,19} = 375,54 \text{ mm}$$

7. Hitung ϕP_b dan ϕM_b , dengan $\phi = 0,65$

$$\phi P_b = 1.275.249,42 \text{ N} = 1.275,25 \text{ kN}$$

$$\phi M_b = 478.911.576,75 \text{ N}\cdot\text{mm} = 478,91 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$$\Sigma H = 0$$

$$P_n - C_c - C_s + T = 0$$

Dengan :

$$C_c = 0,85f'_c ab$$

$$C_s = A_s'(f'_s - 0,85f'_c)$$

$$T = A_s f_s$$

(jika tulangan tekan luluh, $f'_s = f_y$)

(jika tulangan tarik luluh, $f_s = f_y$)

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$f_s = \epsilon_s \times E_s = \epsilon_s \times 200.000$$

$$f_s = \frac{d - c}{c} \times 600$$

$$f'_s = \epsilon'_s \times E_s = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

Ambil momen terhadap A_s :

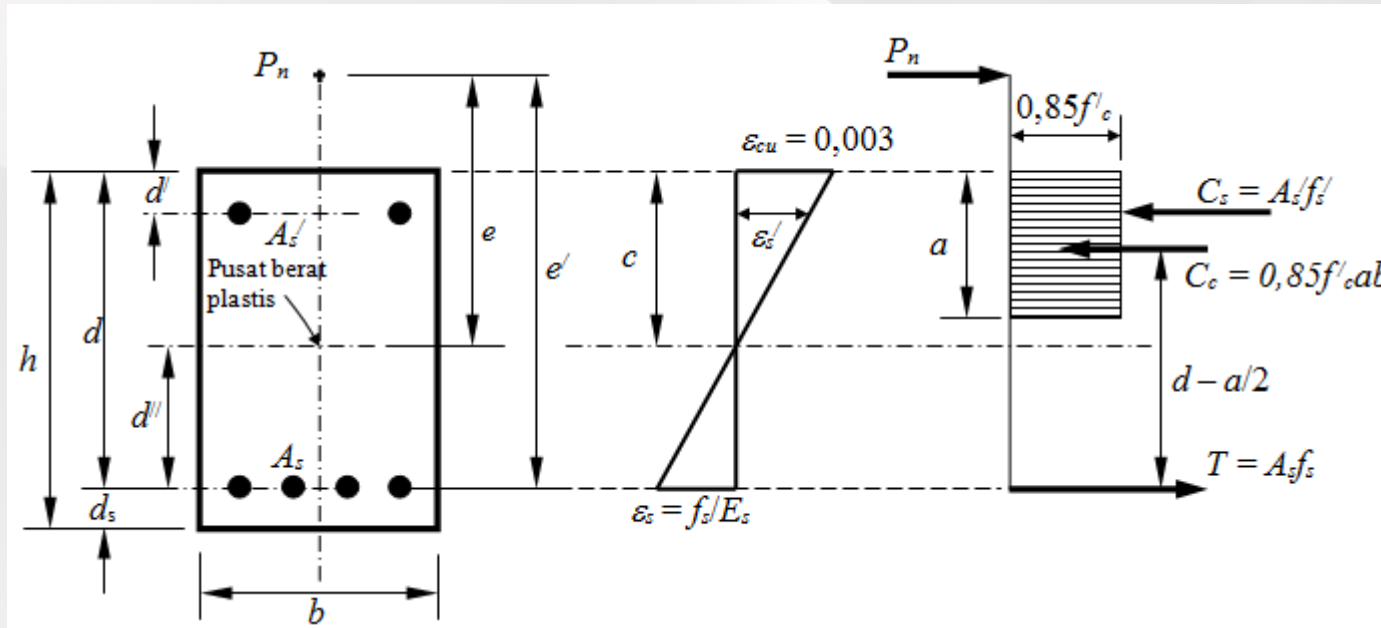
$$P_n e' - C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) - C_s (d - d') = 0$$

$$P_n = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

Ambil momen terhadap C_c :

$$P_n \left[e' - \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] - T \left(d - \frac{a}{2} \right) - C_s \left(\frac{a}{2} - d' \right) = 0$$

$$P_n = \frac{T \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{a}{2} - d' \right)}{\left(e' + \frac{a}{2} - d \right)}$$



Keruntuhan Tarik

- Apabila penampang kolom diberi beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar, maka akan terjadi keruntuhan tarik.
- Dalam kasus ini kuat tekan nominal penampang, P_n , akan lebih kecil dari P_b , atau eksentrisitas, $e = M_n/P_n$ lebih besar dari eksentrisitas pada kondisi seimbang, e_b .

$$P_n < P_b$$

$$e > e_b$$

Prosedur Analisis Keruntuhan Tarik

1. Bila terjadi keruntuhan tarik, maka tulangan tarik luluh, dan tegangannya $f_s = f_y$. Asumsikan bahwa tegangan pada tulangan tekan adalah $f_s' = f_y$
2. Evaluasi P_n dari kondisi kesetimbangan (persamaan 8.14)

$$P_n = C_c + C_s - T$$

Dengan $C_c = 0,85f'_c ab$, $C_s = A_s'(f_y - 0,85f'_c)$ dan $T = A_s f_y$

3. Hitung P_n dengan mengambil jumlah momen terhadap A_s (persamaan 8.15)

$$P_n e' = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

Dengan $e' = e + d''$, dan $e' = e + d - h/2$ serta $A_s = A_s'$.

4. Samakan P_n dari langkah 2 dan 3 :

$$C_c + C_s - T = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

Persamaan ini akan menghasilkan persamaan kuadrat untuk a . Substitusikan C_c , C_s dan T untuk mendapatkan nilai a .

Prosedur Analisis Keruntuhan Tarik

5. Persamaan pada langkah 4, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$Aa^2 + Ba + C = 0$$

Dengan :

$$A = 0,425f'_c b$$

$$B = 0,85f'_c b(e' - d) = 2A(e' - d)$$

$$C = A_s'(f_y - 0,85f'_c)(e' - d + d') - A_s f_y e'$$

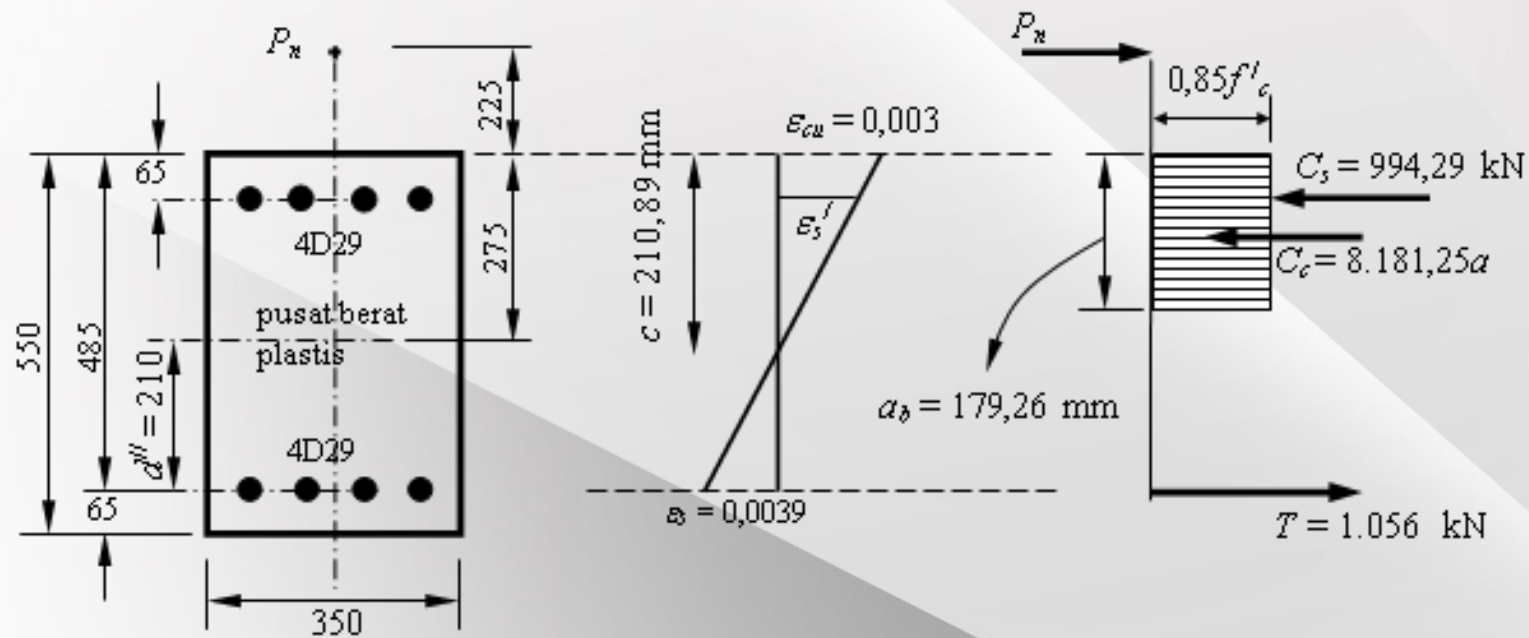
Selesaikan a , dengan menggunakan persamaan :

$$a = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

6. Substitusikan a ke dalam persamaan langkah 2 untuk mendapatkan P_n . Hitung $= P_n \cdot e$
7. Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh seperti yang diasumsikan. Jika $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$, maka tulangan tekan sudah luluh, jika tidak, maka $f_s' = E_s \varepsilon_s'$.
Ulangi kembali langkah 2 hingga 5.
Sebagai catatan : $\varepsilon_s' = [(c - d')c]0,003$, $\varepsilon_y = f_y/E_s$, dan $c = a/\beta_1$.
8. tentukan besarnya faktor reduksi, ϕ , yang besarnya bervariasi antara 0,65(atau 0,70) dan 0,90.

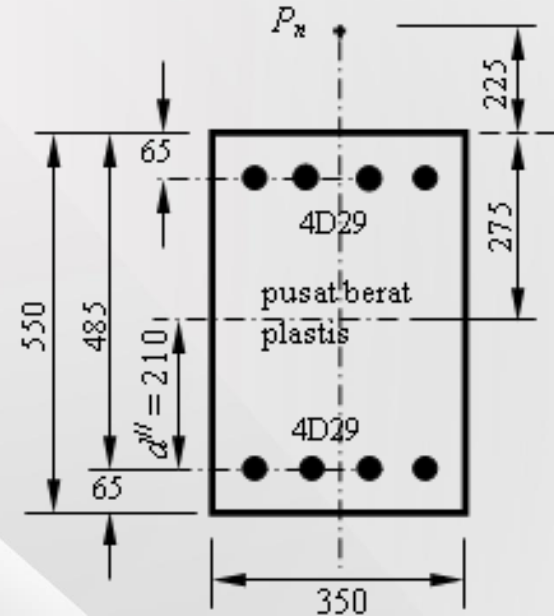
Contoh 2

Tentukan kuat tekan nominal, P_n , untuk penampang pada Contoh 1, jika $e = 500$ mm.



1. Cek $e > e_b$?

e ($=500$ mm) $> e_b$ ($= 375,54$ mm), maka terjadi keruntuhan tarik. Regangan pada tulangan tarik akan melampaui ϵ_y , dan tegangan yang terjadi adalah f_y . Asumsikan tulangan tekan sudah luluh, $f'_s = f_y$,



2. Dari persamaan keseimbangan

$$P_n = C_c + C_s - T$$

$$C_c = 0,85f'_c ab = 0,85(27,5)(a)(350) = 8.181,25a$$

$$C_s = A'_s(f_y - 0,85f'_c) = 4(660)(400 - 0,85(27,5)) = 994.290$$

$$T = A_s f_y = 4(660)(400) = 1.056.000$$

$$P_n = C_c + C_s - T = 8.181,25a + 994.290 - 1.056.000 = 8.181,25a - 61.710$$

3. Hitung P_n dari persamaan :

$$P_n = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \quad e' = e + d'' = 500 + 210 = 710 \text{ mm}$$

$$P_n = \frac{1}{710} \left[8.181,25a \left(485 - \frac{a}{2} \right) + 994.290(485 - 65) \right]$$

$$P_n = 5.588,6a - 5,7614a^2 + 588.171,55$$

4. Samakan P_n langkah 2 dan 3

$$8.181,25a - 61.710 = 5.588,6a - 5,7614a^2 + 588.171,55$$

Atau $a^2 + 450a - 112.799 = 0 \quad a = 179,26 \text{ mm}$

5. Hitung P_n (dari langkah 2), hitung M_n

$$P_n = 8.181,25a - 61.710 = 8.181,25(179,26) - 61.710 = 1.404.860,88 \text{ N}$$
$$= \mathbf{1.404,86 \text{ kN}}$$

$$M_n = P_n \cdot e = 1.404.860,88(500) = 702.430.440 \text{ N}\cdot\text{mm} = \mathbf{702,43 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

6. Periksa apakah tul tekan sudah luluh?

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{179,26}{0,85} = 210,89 \text{ mm}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'}{c} (0,003) = \frac{210,89 - 65}{210,89} (0,003) = 0,00207 > \varepsilon_y (=0,002)$$

Apabila tulangan tekan belum luluh, maka f'_s dihitung dari persamaan $f'_s = \varepsilon'_s E_s$, dan ulangi kembali perhitungan

7. Periksa apakah tul Tarik sudah luluh?

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) = \frac{485 - 210,89}{210,89} (0,003) = 0,0039 > \varepsilon_y$$

penampang berada pada daerah transisi :

$$\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - 0,002)(250/3) = 0,81$$

8. Hitung ϕP_n dan ϕM_n

$$\phi P_n = 0,81(1.404,86) = \mathbf{1.137,94 \text{ kN}}$$

$$\phi M_n = 0,81(702,43) = \mathbf{568,97 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Keruntuhan Tekan

- Apabila gaya tekan, P_n , melebihi gaya tekan dalam kondisi seimbang, P_b , atau apabila eksentrisitas, $e = M_n/P_n$, lebih kecil daripada eksentrisitas pada kondisi seimbang, e_b . Maka penampang kolom akan mengalami keruntuhan tekan.
- Pada kasus ini regangan pada beton akan mencapai 0,003, sedangkan regangan pada tulangan baja tarik akan kurang dari ε_y .

$$P_n > P_b$$

$$e < e_b$$

Prosedur Analisis Keruntuhan Tekan

1. Hitung jarak sumbu netral sumbu netral untuk penampang pada kondisi seimbang, c_b :

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

2. Evaluasi P_n dari kesetimbangan gaya :

$$P_n = C_c + C_s - T$$

3. Evaluasi P_n dengan mengambil momen terhadap A_s

$$P_n e' = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

Dengan $e' = e + d''$ (atau $= e + d - h/2$, jika $A_s = A_s'$), $C_c = 0,85f'_c ab$, $C_s = A_s'(f'_s - 0,85f'_c)$ dan $T = A_s f_s$

4. Asumsikan suatu nilai c sehingga $c > c_b$. Hitung $a = \beta_1 c$. Asumsikan $f'_s = f_y$
5. Hitung nilai f_s berdasarkan asumsi nilai c :

$$f_s = \varepsilon_s E_s = 600 \left(\frac{d - c}{c} \right) \leq f_y$$

Prosedur Analisis Keruntuhan Tekan

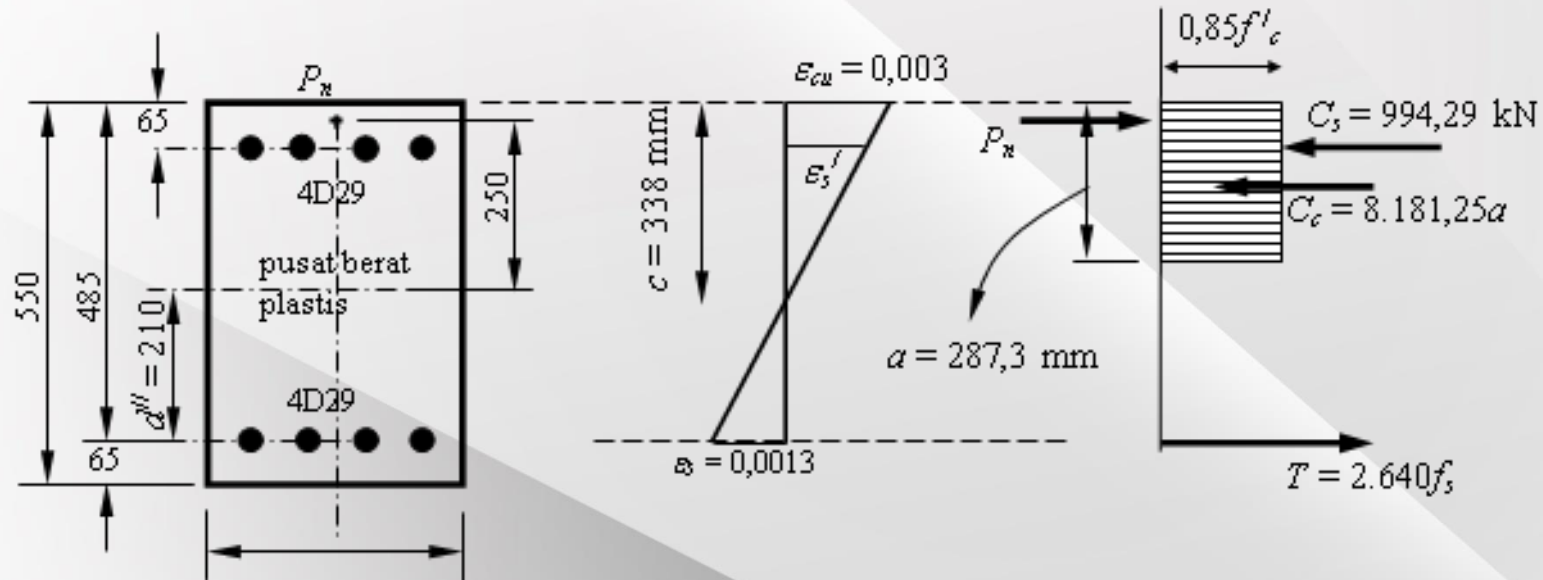
6. Hitung P_{n1} dari langkah 2, dan hitung P_{n2} dari langkah 3. Apabila P_{n1} cukup dekat dengan P_{n2} , maka nilai P_n diambil dari nilai terkecil antara P_{n1} dan P_{n2} atau rerata keduanya. Jika P_{n1} dan P_{n2} tidak cukup dekat, maka asumsikan nilai c atau a yang baru dan ulangi perhitungan dari langkah 4 hingga P_{n1} cukup dekat dengan P_{n2} (kurang lebih 1%)
7. Periksa apakah tulangan tekan benar sudah luluh sesuai asumsi semula, dengan menghitung ε_s' dan membandingkannya dengan ε_y . Bila $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$ tulangan tekan sudah luluh, jika belum, maka f_s' dihitung sebagai berikut :

$$f_s' = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

8. Regangan tulangan tarik, ε_t , pada kondisi keruntuhan tekan, biasanya kurang dari 0,002, sehingga faktor reduksi dapat diambil sama dengan 0,65 atau 0,75 untuk penampang kolom dengan sengkang spiral.

Contoh 3

- Tentukan kuat tekan nominal, P_n , untuk penampang pada Contoh 2, jika $e = 250$ mm.



1. Cek $e < e_b$?

Karena $e < e_b$ ($= 375,54$ mm), maka jenis keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tekan.

2. persamaan kesetimbangan

$$P_n = C_c + C_s - T$$

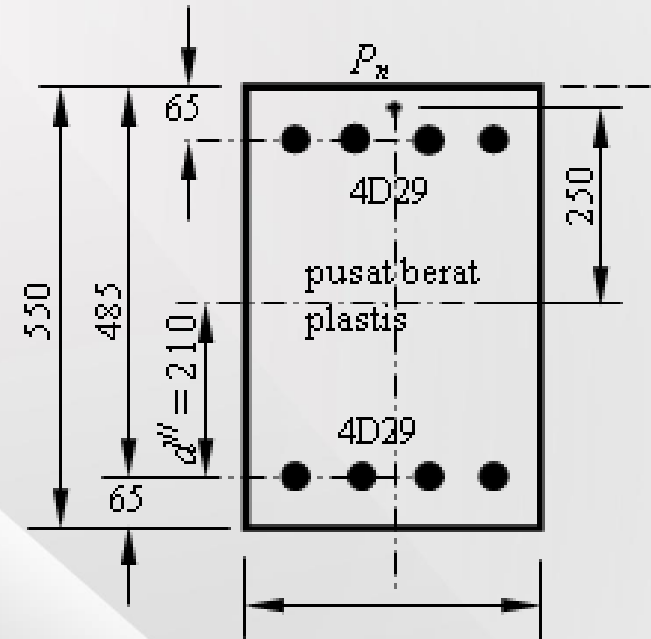
$$C_c = 0,85f'_c ab = 0,85(27,5)(a)(350) = 8.181,25a$$

$$C_s = A_s'(f'_s - 0,85f'_c) = 4(660)(400 - (0,85)(27,5)) = 994.290 \text{ N}$$

$$T = A_s f_s = 4(660)f_s = 2.640f_s \quad (f_s < f_y)$$

$$P_n = 8.181,25a + 994.290 - 2.640f_s$$

$$P_n = 8.181,25a + 994.290 - 2.640(600)(485\beta_1/a - 1) \quad (i)$$



Tulangan tekan diasumsikan sudah luluh

$$f_s = \left(\frac{d-c}{c} \right) 600 = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 600 = \left(\frac{485\beta_1}{a} - 1 \right) 600$$

3. Hitung P_n dari persamaan

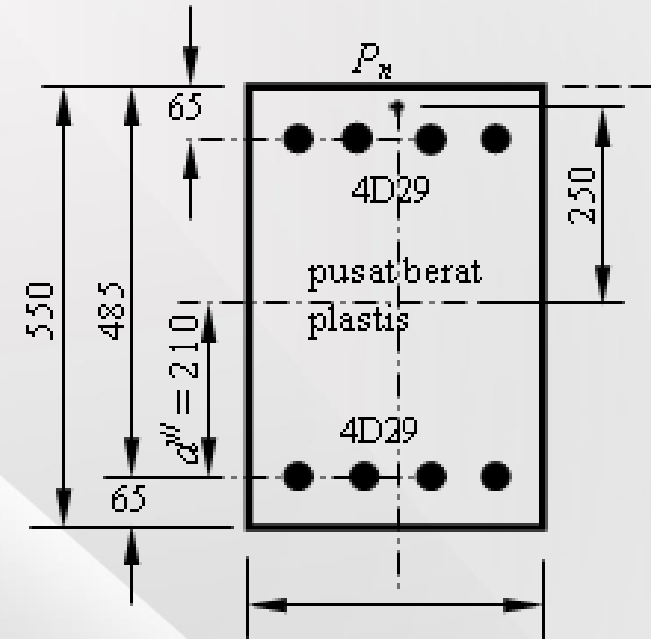
$$P_n = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

$$e' = e + d'' = 250 + 210 = 460 \text{ mm}$$

$$P_n = \frac{1}{460} \left[8.181,25a \left(485 - \frac{a}{2} \right) + 994.290(485 - 65) \right]$$

$$P_n = 8.625,88a - 8,8926a^2 + 907.830 \quad (\text{ii})$$

4. Samakan persamaan (i) dan (ii) untuk mendapatkan nilai a



$$8.181,25a + 994.290 - 2.640(600)(485\beta_1/a - 1) = 8.625,88a - 8,8926a^2 + 907.830$$

Kalikan semua ruas dengan a , sehingga akan diperoleh persamaan pangkat tiga sebagai berikut :

$$8,8926a^3 - 444,63a^2 + 1.670.460a - 653.004.000 = 0$$

Jika diselesaikan maka akan diperoleh nilai

$$a = 286,99 \text{ mm} \quad - > c = a/\beta_1 = 337,64 \text{ mm}$$

Substitusikan nilai a ke persamaan (i) atau (ii) untuk mendapatkan nilai P_n .

5. Hitung P_n , hitung M_n

$$P_n = 2.650.947,77 \text{ N} = \mathbf{2.650,95 \text{ kN}}$$

$$M_n = P_n \cdot e = 2.650,95(0,25) = \mathbf{662,74 \text{ kN.m}}$$

6. Periksa apakah tul sudah luluh?

$$\varepsilon_s' = \frac{c - d'}{c} 0,003 = \frac{337,64 - 65}{337,64} (0,003) = 0,002422$$

Tulangan tekan sudah luluh

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{485 - 337,64}{337,64} (0,003) = 0,00131$$

karena nilai $\varepsilon_t = 0,0013 < 0,002$, maka $\phi = 0,65$

7. Hitung ϕP_n dan ϕM_n

$$\phi P_n = 0,65(2.650) = 1.723,8 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = 0,65(663) = 430,95 \text{ kN}\cdot\text{m}$$