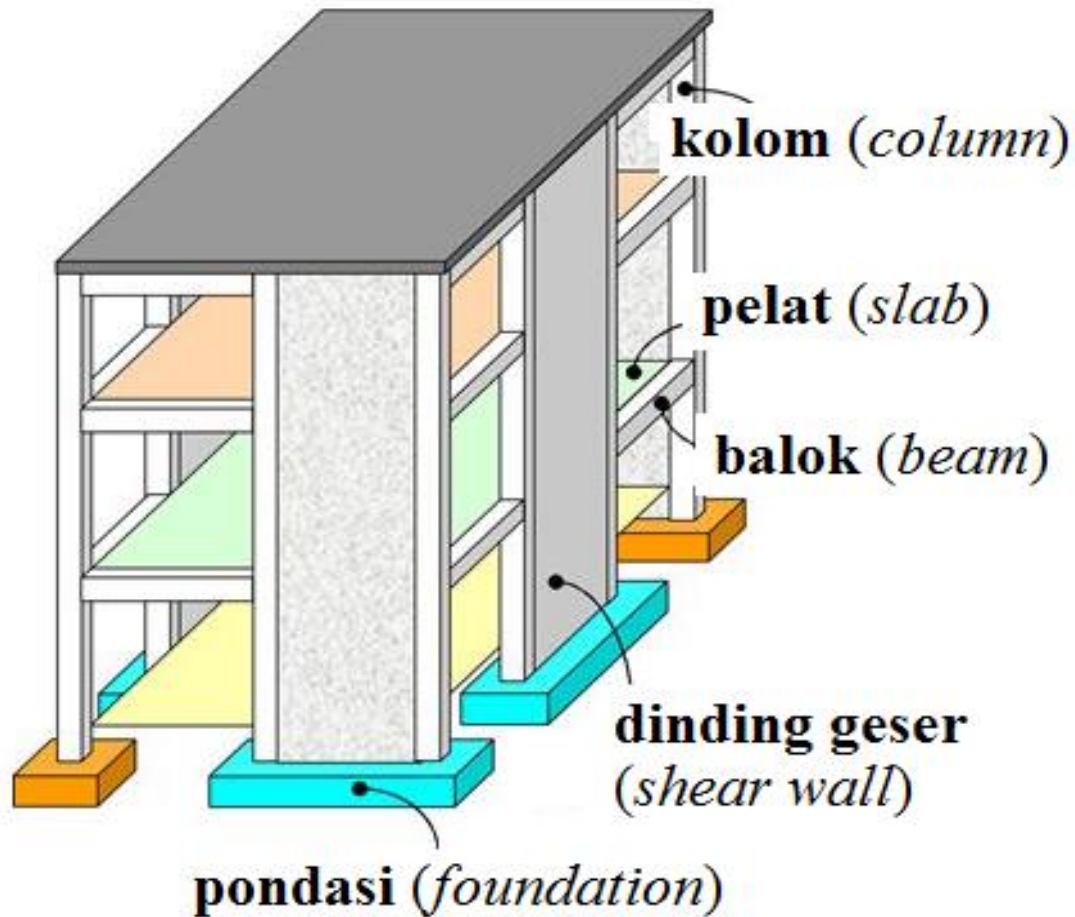


Mata Kuliah : Perancangan Struktur Beton
Kode : CIV-204
SKS : 3 SKS

Kombinasi Gaya Tekan dan Lentur

Pertemuan – 9,10,11

- Sub Pokok Bahasan :
 - Analisis dan Desain Kolom Pendek

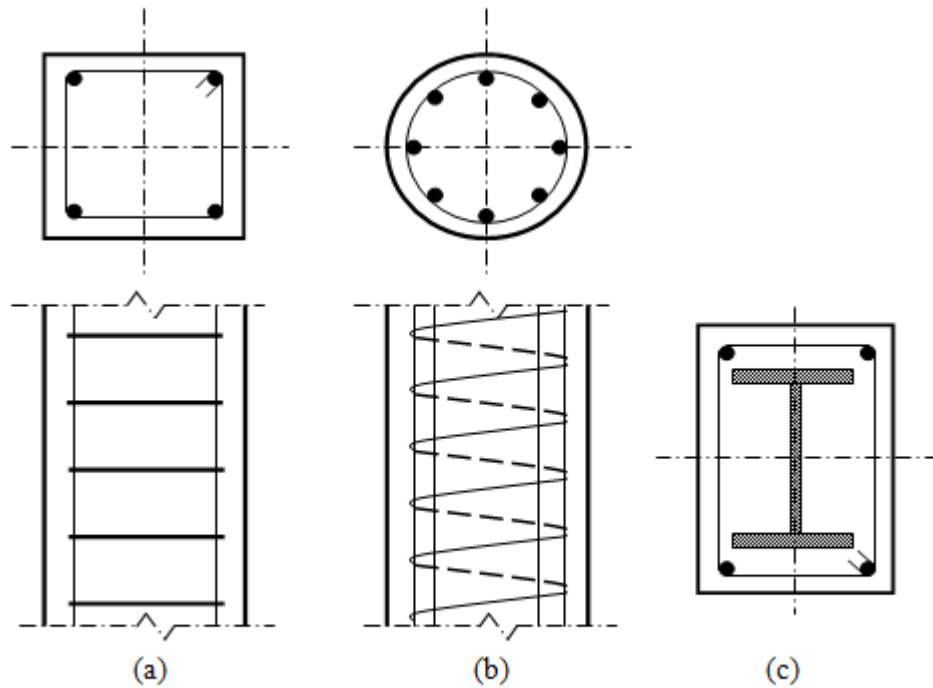


Gambar 1. Elemen struktur beton bertulang.

- Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih.
- Pada suatu struktur bangunan beton bertulang, sangat jarang dijumpai elemen kolom yang murni memikul beban aksial saja.
- Namun dapat saja diasumsikan bahwa beban aksial bekerja dengan eksentrisitas, e , yang cukup kecil sekitar $0,1h$ atau kurang diukur dari pusat kolom

Klasifikasi Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang

- Berdasarkan Beban Yang Bekerja
 - Kolom dengan beban aksial, eksentris dan biaksial
- Berdasarkan Panjangnya
 - Kolom panjang dan kolom pendek
- Berdasarkan Bentuk Penampang
 - Bujursangkar, persegi, lingkaran, L
- Berdasarkan Jenis Tulangan Sengkang
 - Dengan sengkang persegi atau sengkang spiral



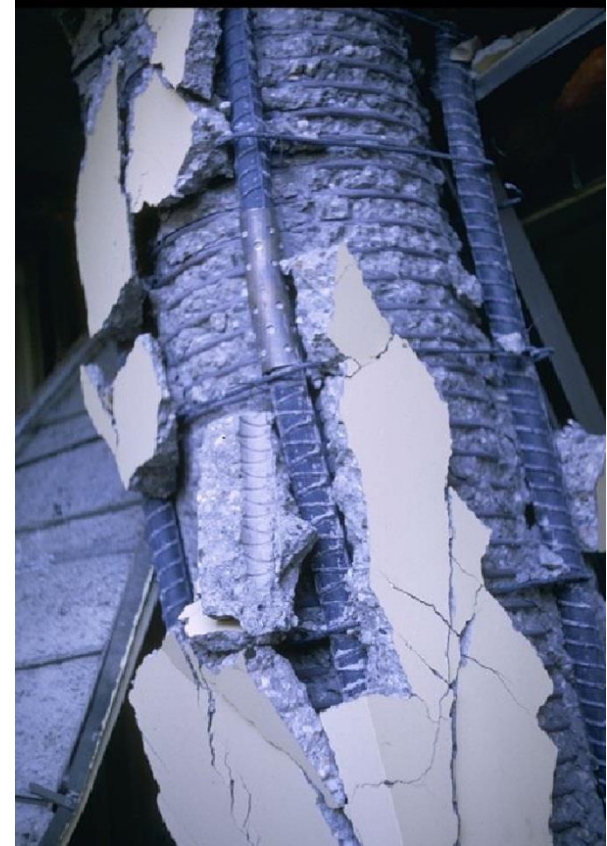
(a) Kolom Persegi Dengan Sengkang Persegi,

(b) Kolom Bundar Dengan Sengkang Spiral, (c) Kolom Komposit

- Kolom dengan sengkang persegi dan sengkang spiral menunjukkan perilaku yang sedikit berbeda pada saat keruntuhan.
- Pada kolom dengan sengkang persegi, pada saat beban ultimit tercapai selimut beton akan pecah dan mengelupas.
- Peristiwa ini akan segera diikuti dengan tertekuknya tulangan memanjang ke arah luar dari penampang kolom, apabila tidak disediakan tulangan sengkang dalam jarak yang cukup rapat.
- Gambar menunjukkan keruntuhan pada kolom dengan sengkang persegi. Bagian beton pada inti kolom hancur setelah beban ultimit tercapai.
- Keruntuhan ini bersifat getas dan terjadi secara tiba-tiba, dan lebih sering terjadi pada struktur yang menerima beban gempa, tanpa *detailing* yang memadai.

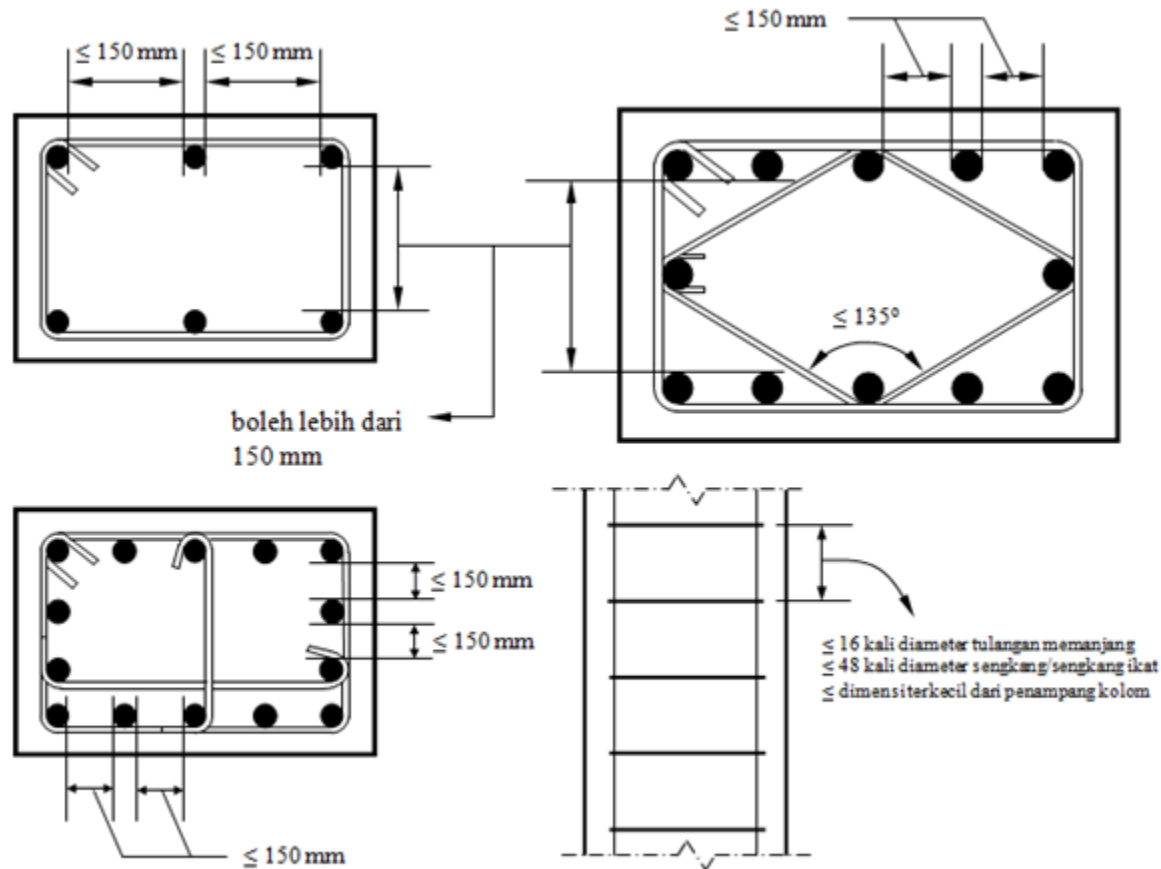


- Perilaku daktail akan ditunjukkan oleh kolom yang diberi tulangan sengkang spiral.
- Pada saat beban ultimit tercapai, seperti halnya pada sengkang persegi, maka selimut beton pun akan terkelupas dan pecah, namun inti beton akan tetap berdiri.
- Apabila jarak lilitan sengkang dibuat cukup rapat, maka kolom ini masih akan mampu memikul beban tambahan yang cukup besar di atas beban yang menimbulkan pecah pada selimut beton.
- Tulangan spiral dengan jarak yang cukup rapat, bersama dengan tulangan memanjang akan membentuk semacam sangkar yang cukup efektif membungkus inti beton.
- Pecahnya selimut beton pada kolom dengan sengkang spiral ini dapat menjadi tanda awal bahwa keruntuhan akan terjadi bila beban terus ditingkatkan



Persyaratan Peraturan ACI 318M-11 Untuk Kolom

- **Pasal 9.3.2.2**, memberikan batasan untuk faktor reduksi kekuatan, ϕ , yaitu sebesar 0,65 untuk sengkang persegi dan $\phi = 0,75$ untuk sengkang spiral.
- **Pasal 10.9.1**, mensyaratkan bahwa persentase minimum tulangan memanjang adalah 1%, dengan nilai maksimum 8%, terhadap luas total penampang kolom
- **Pasal 10.9.2**, menyatakan bahwa minimal harus dipasang empat buah tulangan memanjang untuk kolom dengan sengkang persegi atau lingkaran, minimal tiga buah untuk kolom berbentuk segitiga, serta minimal enam buah untuk kolom dengan sengkang spiral.
- Jarak antar tulangan memanjang tanpa kekangan lateral maksimal adalah 150 mm, apabila lebih maka harus diberikan sengkang ikat (*tie*), sehingga jarak antar tulangan memanjang yang tak terkekang lateral tidak lebih dari 150 mm
- **Pasal 7.10.4**, sengkang spiral harus memiliki diameter minimum 10 mm dan jarak bersihnya tidak lebih dari 75 mm, namun tidak kurang dari 25 mm. Untuk penyambungan batang spiral ulir tanpa lapisan dapat digunakan sambungan lewatan sepanjang $48d_b$ atau tidak kurang dari 300 mm. Sedangkan untuk batang spiral polos diambil sepanjang $72d_b$ atau 300 mm.



Persyaratan Detailing Kolom

Persyaratan Peraturan ACI 318M-11 Untuk Kolom

- **Pasal 7.10.5.1**, tulangan sengkang harus memiliki diameter minimum 10 mm untuk mengikat tulangan memanjang dengan diameter 32 mm atau kurang. Sedangkan untuk tulangan memanjang dengan diameter di atas 32 mm harus diikat dengan sengkang berdiameter minimum 13 mm.
- **Pasal 7.10.5.2**, jarak vertikal sengkang atau sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan memanjang, 48 kali diameter sengkang/sengkang ikat, atau dimensi terkecil dari penampang kolom

Tulangan Sengkok Spiral

- Dalam ACI 318M-11 rasio tulangan spiral disyaratkan dalam pasal 10.9.3, yaitu :

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

A_c adalah luas inti yang dihitung hingga sisi sengkang spiral terluar

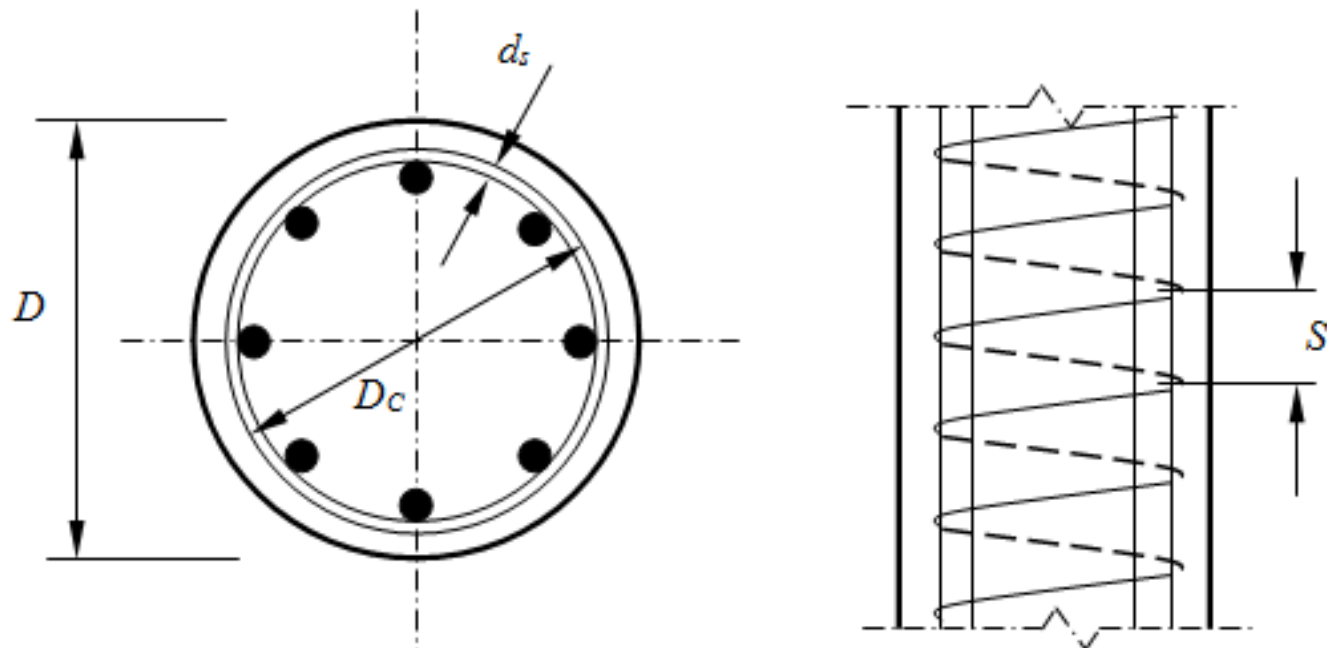
- Nilai f_{yt} tidak boleh diambil lebih dari 700 MPa. Hubungan ρ_s dengan jarak spiral, S , dapat dituliskan :

$$\rho_s = \frac{\text{volume spiral 1 lilitan}}{\text{volume inti sejarak } S}$$

$$\rho_s = \frac{a_s \pi (D_c - d_s)}{\left(\frac{\pi}{4} D_c^2 \right) S} = \frac{4a_s (D_c - d_s)}{D_c^2 S}$$

dengan :

- a_s adalah luas tulangan spiral
- D_c adalah diameter inti beton, diukur hingga sisi luar diameter spiral
- D adalah diameter kolom
- d_s adalah diameter spiral
- S adalah jarak antar tulangan spiral



Gambar 7.4 Kolom Dengan Tulangan Sengkang Spiral

- **Persamaan Desain Kolom Dengan Beban Aksial**

$$\phi P_n = \phi(0,80)[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c)] \quad \Rightarrow \quad \text{sengkang persegi}$$

$$\phi P_n = \phi(0,85)[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c)] \quad \Rightarrow \quad \text{sengkang spiral}$$

dengan :

ϕ = 0,65 untuk sengkang persegi

= 0,75 untuk sengkang spiral

A_g adalah luas total penampang kolom

A_{st} adalah luas total tulangan tekan memanjang

Secara praktis pada praktek di lapangan dapat digunakan rasio tulangan memanjang, ρ_g , sebesar **1% hingga maksimum 8%** terhadap luas penampang kolom beton

Contoh 1

Tentukan kuat aksial tekan rencana, P_u , dari sebuah penampang kolom bujur sangkar dengan sisi 300 mm, yang memiliki tulangan memanjang 4D29 serta sengkang persegi D10 – 300 mm.

Gunakan $f'_c = 27,5$ MPa dan $f_y = 400$ MPa

Penyelesaian

- Dari persamaan $\phi P_n = \phi(0,80)[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c)]$

$$A_{st} = 4(660) = 2.640 \text{ mm}^2, \text{ dan } A_g = 300 \times 300 = 90.000 \text{ mm}^2,$$

maka :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,65(0,80)[0,85(27,5)(90.000) + 2.640(400 - 0,85(27,5))] \\ &= 1.610.981 \text{ N} = 1.610 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Periksa persentase tulangan memanjang, $\rho_g = 2.640/90.000 = \mathbf{2,93 \%}$. Nilai ini berada di antara batasan 1% dan 8%.
- Periksa jarak tulangan sengkang. Sengkang yang digunakan memiliki diameter 10 mm, jarak maksimum sengkang diambil dari nilai terkecil antara :
 - 48 kali diameter sengkang = $48(10) = 480 \text{ mm}$
 - 16 kali diameter tulangan memanjang = $16(29) = 464 \text{ mm}$
 - Dimensi terkecil penampang kolom = **300 mm**
- Jadi jarak maksimum sengkang adalah 300 mm (sudah terpenuhi).

Contoh 2

Desainlah sebuah kolom dengan penampang bujursangkar, untuk memikul beban mati aksial tekan sebesar 1.200 kN dan beban hidup aksial tekan 800 kN. Gunakan $f'_c = 30$ MPa dan $f_y = 400$ MPa, serta rasio tulangan memanjang, $\rho_g = 2,5\%$. Desainlah pula tulangan sengkangnya

Penyelesaian

Hitung P_u : $P_u = 1,2P_D + 1,6P_L = 1,2(1.200) + 1,6(800) = 2.720$ kN

Dengan menggunakan persamaan

$$\phi P_n = \phi(0,80)[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c)]$$

$$A_{st} = 2,5\%A_g = 0,025A_g,$$

$$\phi P_n = \phi(0,80)[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c)]$$

$$2.720 \cdot 10^3 = 0,65(0,8)[0,85(30)(A_g) + 0,025A_g(400 - (0,85)(30))]$$

Diperoleh $A_g = 150.039$ mm².

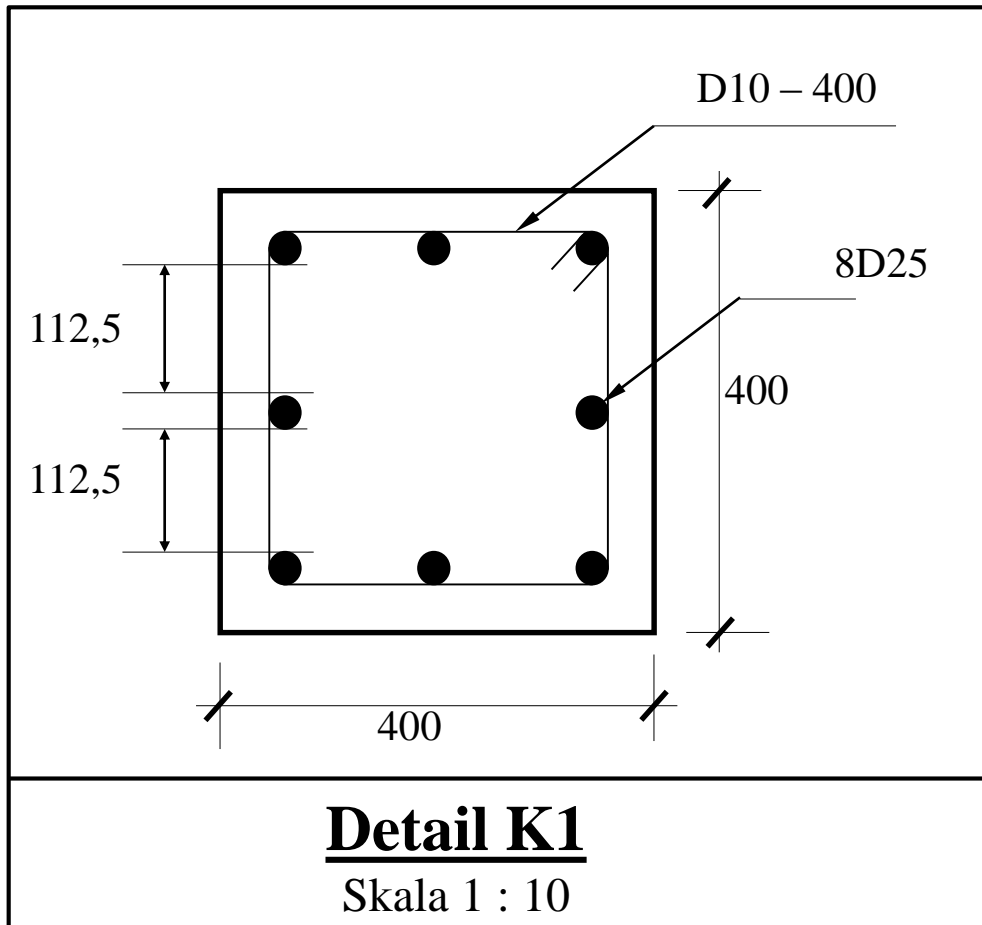
Sehingga dimensi kolom bujursangkar minimum adalah sebesar

$$\sqrt{150.039} = 387,35 \text{ mm. dipilih ukuran kolom } 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm.}$$

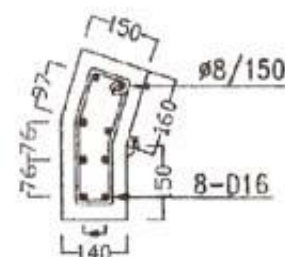
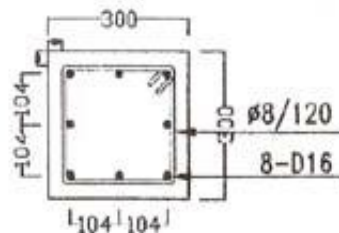
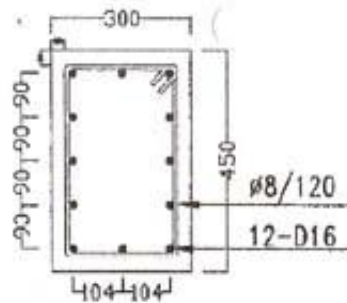
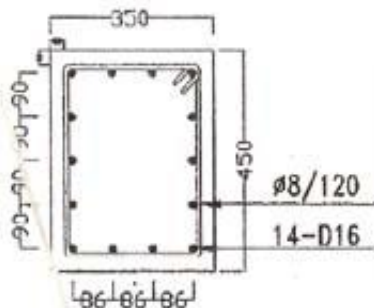
- Karena digunakan ukuran kolom yang lebih besar dari yang diperlukan, maka A_{st} dapat dihitung ulang dari
 - $\phi P_n = \phi(0,80)[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c)]$
 - $2.720 \cdot 10^3 = 0,65(0,8)[0,85(30)(400)(400) + A_{st}(400 - (0,85)(30))]$
- Diperoleh $A_{st} = 3.072,82 \text{ mm}^2$. Dipasang **8D25** ($A_{st} = 3.920 \text{ mm}^2$)

Untuk tulangan sengkang dipilih sengkang persegi berdiameter 10 mm, syarat jarak maksimum ditentukan dari nilai terkecil antara :

- 48 kali diameter sengkang = $48(10) = 480 \text{ mm}$
- 16 kali diameter tulangan memanjang = $16(25) = 400 \text{ mm}$
- Dimensi terkecil penampang kolom = 400 mm
- Jadi dipasang tulangan sengkang **D10 – 400 mm**.



1ax . T66US 20

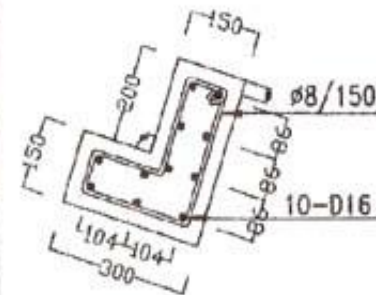
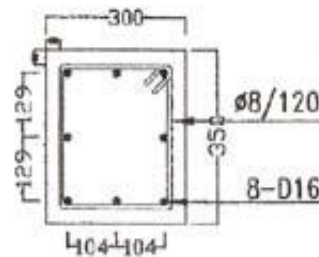
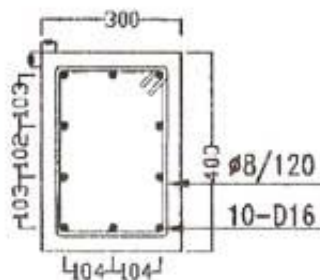
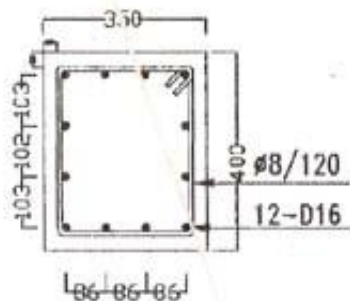


DETAIL KL-1
SKALA 1 : 10

DETAIL KL-2
SKALA 1 : 10

DETAIL KL-3
SKALA 1 : 10

DETAIL J'-3
SKALA 1 : 10

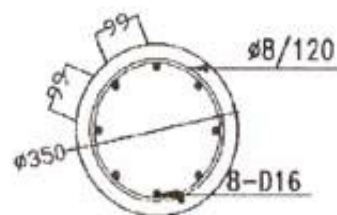
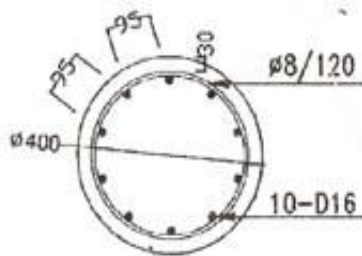


DETAIL KL-4
SKALA 1 : 10

DETAIL KL-5
SKALA 1 : 10

DETAIL KL-6
SKALA 1 : 10

DETAIL J2
SKALA 1 : 10

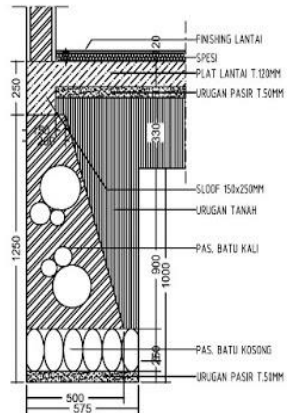
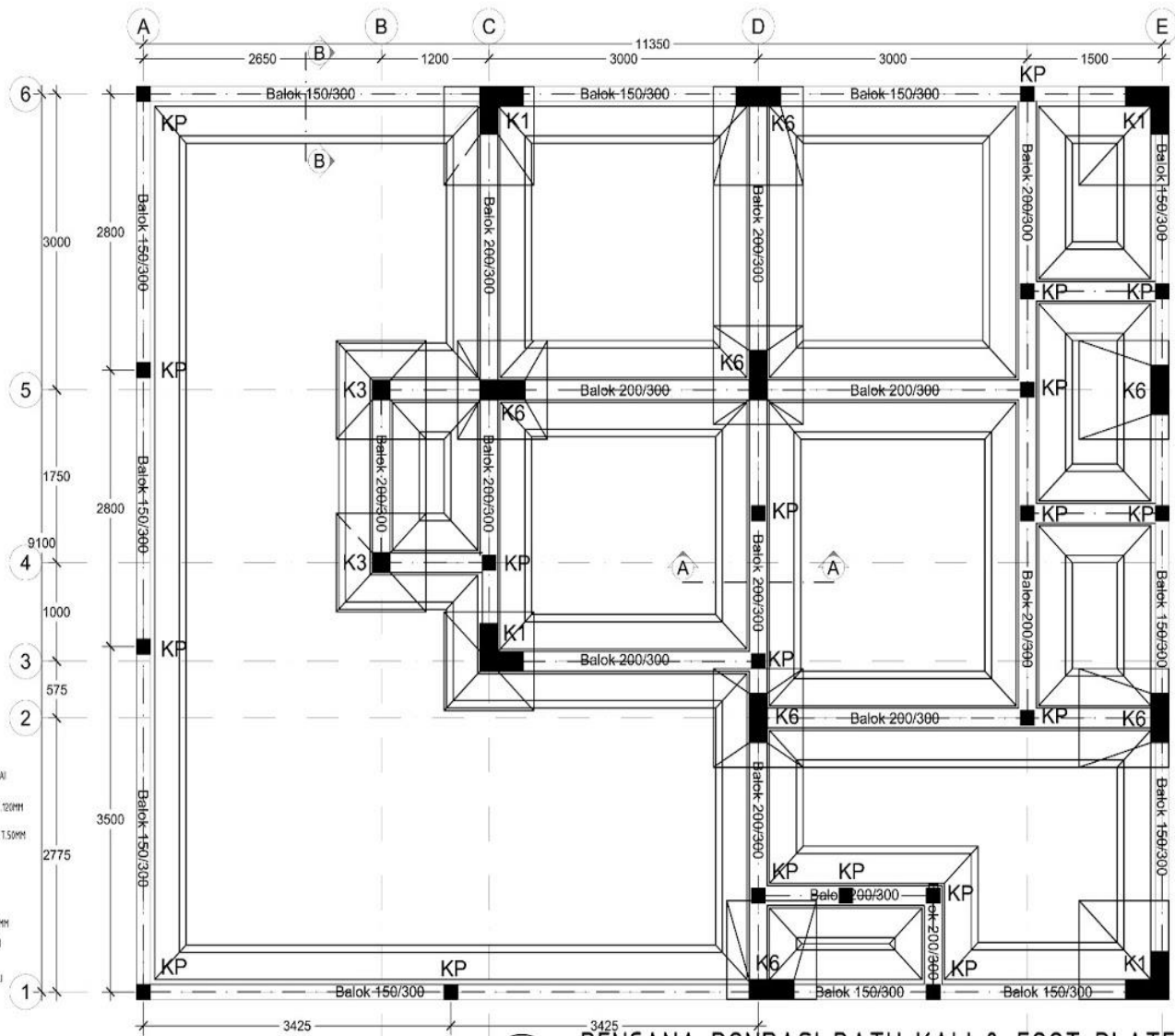


DETAIL KL-7
SKALA 1 : 10

DETAIL KL-8
SKALA 1 : 10

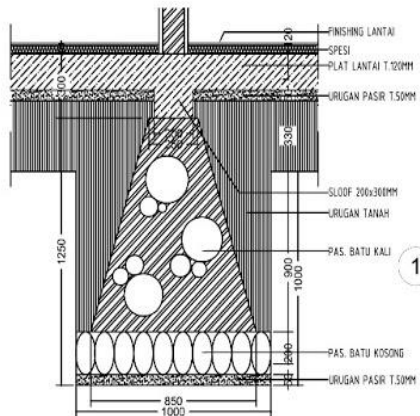
1/2

REVISI	
MASJID AL-MUKHLISIN	
BLK CENDRAWASI KOMPLEKSD DEPLUJ, FATMAWATI-JAKARTA SELATAN	
TAMPIL	
REVISI	No. & R.
▲	
▲	
▲	
DIBUAT OLEH: JOSEPH WARDI A&A	
KORSENG: MUTY ARGASETYA, ST	
DITRUSULI: 	
DIPERIKSA: 	
TANGGAL: 	
DETAIL KOLON-BATAOK	
SKALA: 1 : 10	
NO LEMBAR: 	TANGGAL:
01-04-10	



DETAIL B - B

SKALA 1 : 25



DETAIL A - A

SKALA 1 : 25

RENCANA PONDASI BATU KALI & FOOT PLATE

SKALA 1 : 50

NAMA PROYEK

RUMAH TINGGAL

PEMILIK PROYEK

LOKASI PROYEK

NO REVISI TGL

MENGETAHUI / MENYETUJUI
KEPALA DINAS PERIJINAN
KOTA DENPASAR

NAMA GAMBAR

RENCANA PONDASI BATU KALI
RENCANA FOOT PLAT
DETAIL PONDASI

SKALA 1:50 : 1:25
TANGGAL OKTOBER - 2012

NO. GAMBAR ARS - 15
DIGAMBAR TRINDA SUNELA GIRL ST

PERENCANA

Contoh 3

Ulangi Contoh 2 namun dengan menggunakan penampang persegi yang memiliki $b = 350$ mm

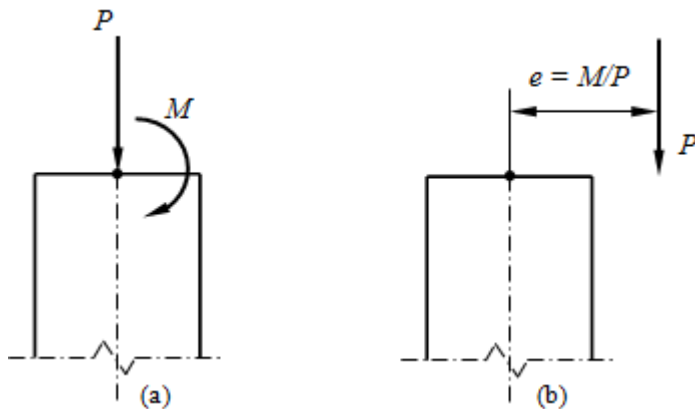
Contoh 4

Desainlah sebuah kolom dengan penampang lingkaran dan sengkang spiral, untuk memikul beban mati aksial tekan sebesar 2.100 kN dan beban hidup aksial tekan 1.100 kN.

Gunakan $f'_c = 27,5$ MPa dan $f_y = 400$ MPa, serta rasio tulangan memanjang, $\rho_g = 3\%$. Desainlah pula tulangan sengkang spiralnya.

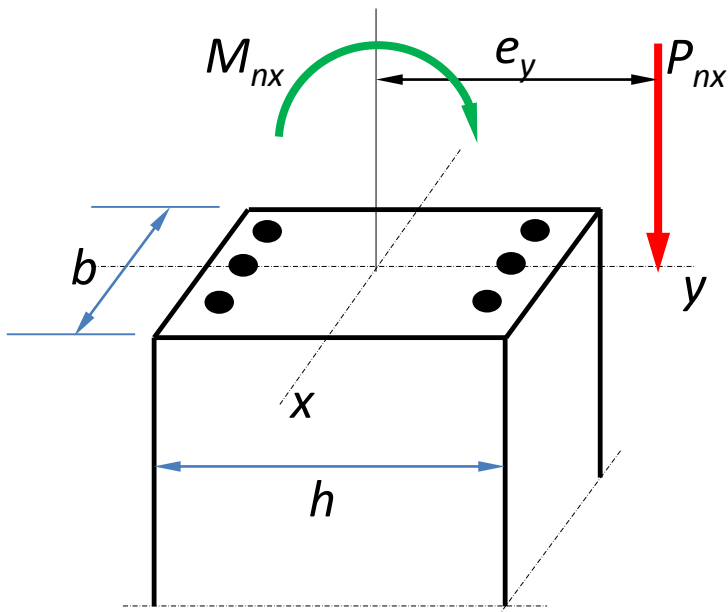
- Sub Pokok Bahasan :
 - Diagram Interaksi Kolom
 - Tulangan Lateral

- 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, $e = M/P$

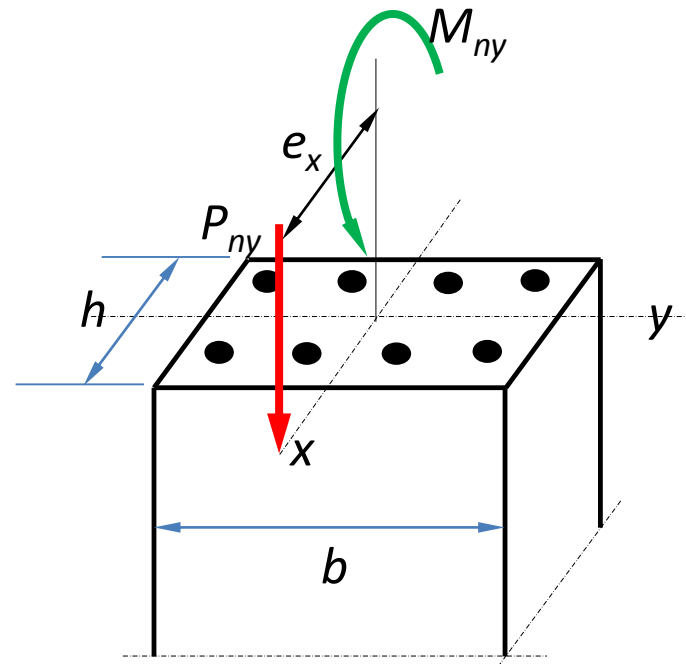


Eksentrisitas, e , merepresentasikan jarak dari titik berat plastis penampang ke lokasi beban bekerja.

Titik berat plastis dapat diperoleh dengan menentukan lokasi gaya resultan yang dihasilkan oleh tulangan baja dan beton yang keduanya mengalami tegangan tekan sebesar f_y dan $0,85f'_c$.

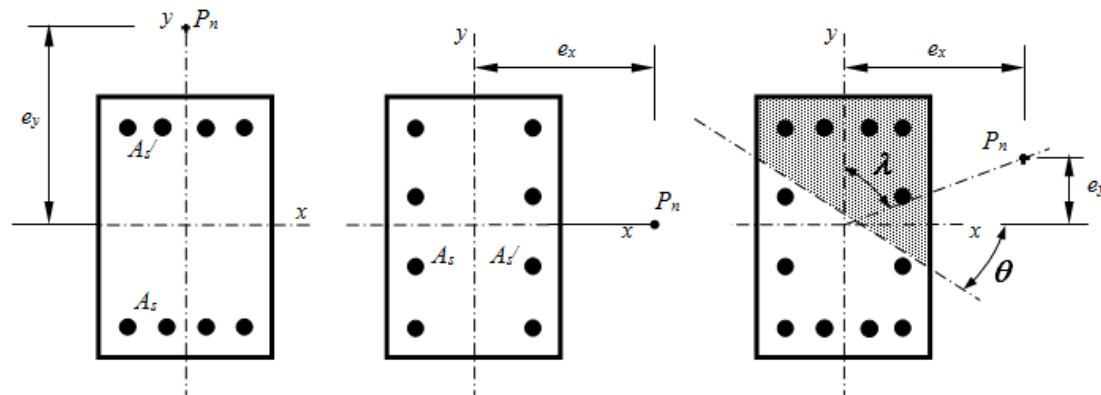


Lentur Dalam Arah X



Lentur Dalam Arah Y

- Kolom dengan beban eksentris sudah dipelajari dalam bahasan sebelumnya.
- Apabila P_n bekerja pada sumbu y dengan eksentrisitas sebesar e_y (Gambar a), akan menghasilkan momen terhadap sumbu x , yang besarnya adalah $M_{nx} = P_n e_y$.
- Atau P_n dapat pula bekerja pada sumbu x dengan eksentrisitas e_x (Gambar b), yang menghasilkan momen $M_{ny} = P_n e_x$.
- Namun beban P_n dapat juga bekerja pada suatu titik yang berjarak e_y terhadap sumbu x , dan berjarak e_x terhadap sumbu y (Gambar c)
- Pada kasus yang terakhir ini, akan timbul beban kombinasi antara P_n , $M_{nx} = P_n e_y$ dan $M_{ny} = P_n e_x$. Kolom pada kondisi ini dikatakan mengalami lentur dua arah (**biaxial bending**).



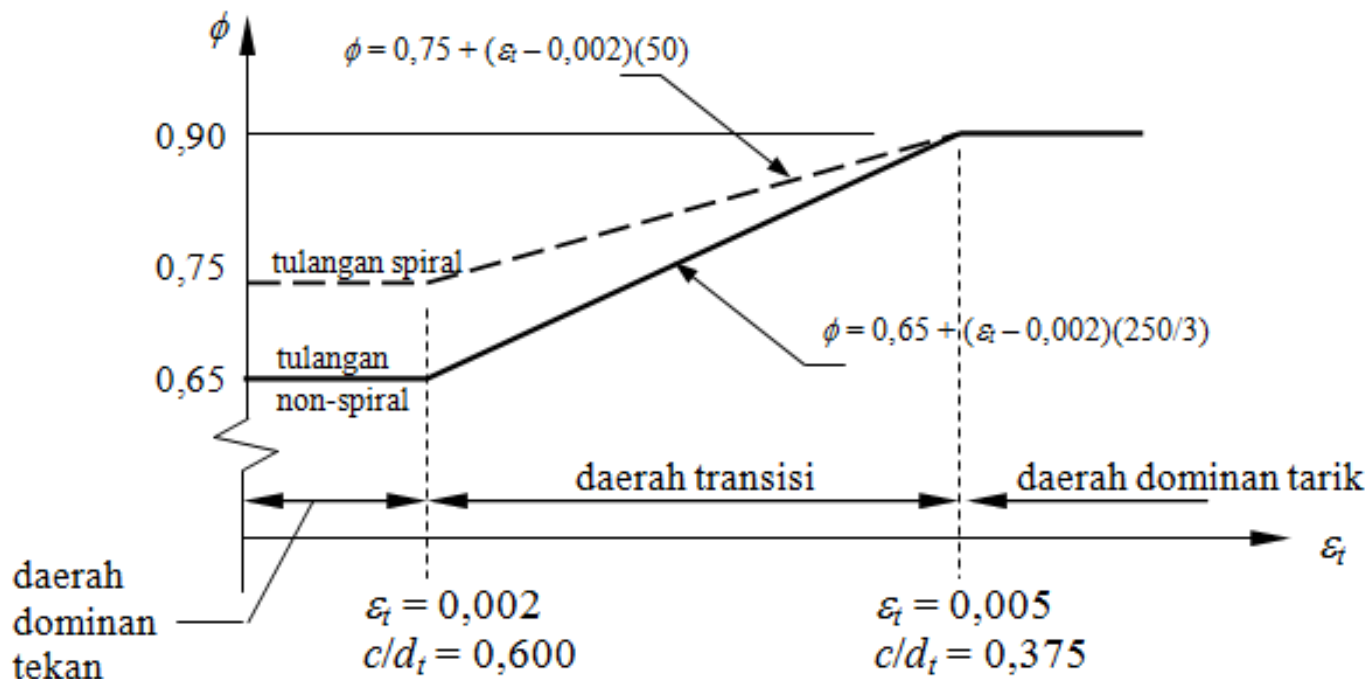
(a) Lentur Satu Arah Terhadap Sumbu x , (b) Lentur Satu Arah Terhadap Sumbu y ,

(c) Lentur Dua Arah

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.

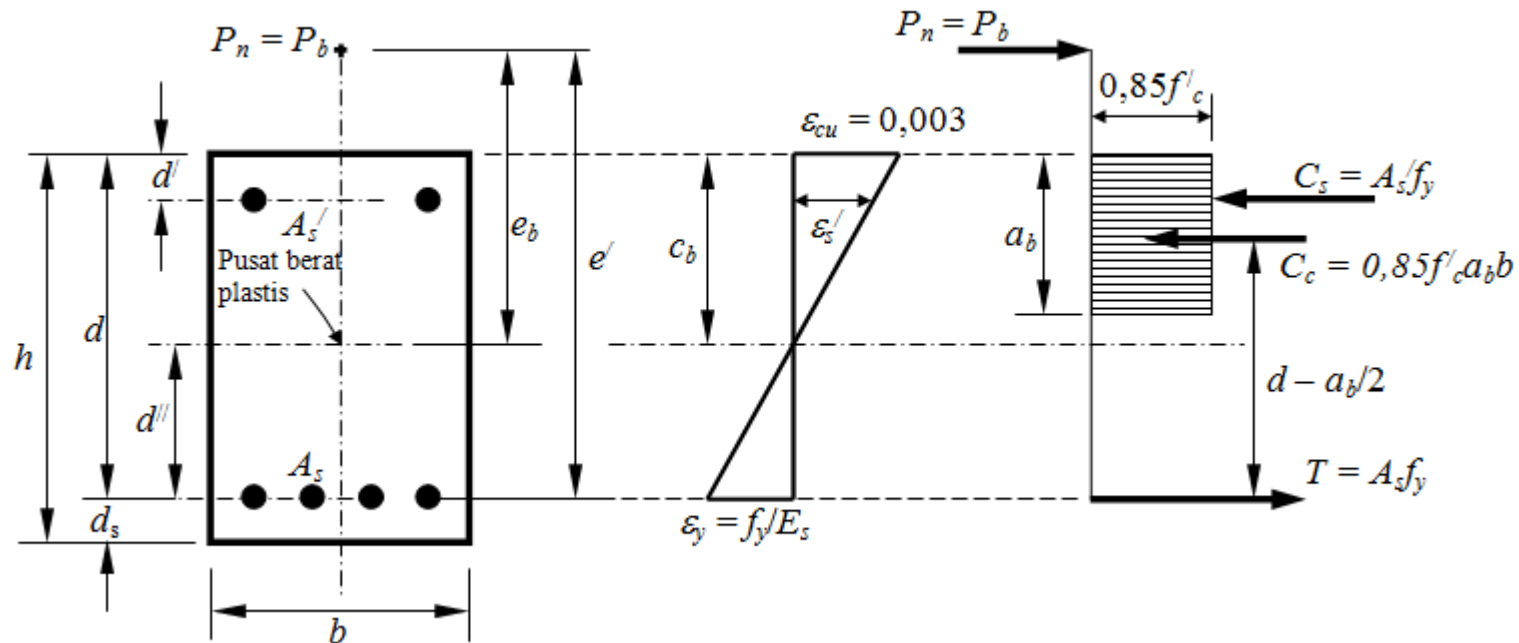
- Faktor reduksi kekuatan, ϕ ,



Penampang Kolom Dengan Keruntuhan Seimbang

- **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**
- Sedangkan apabila beban eksentris yang bekerja lebih kecil daripada P_b , kolom akan mengalami **keruntuhan tarik**

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 :

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85f'_c a_b b \\ T &= A_s f_y \\ C_s &= A_s' (f'_s - 0,85f'_c) \end{aligned}$$

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

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.

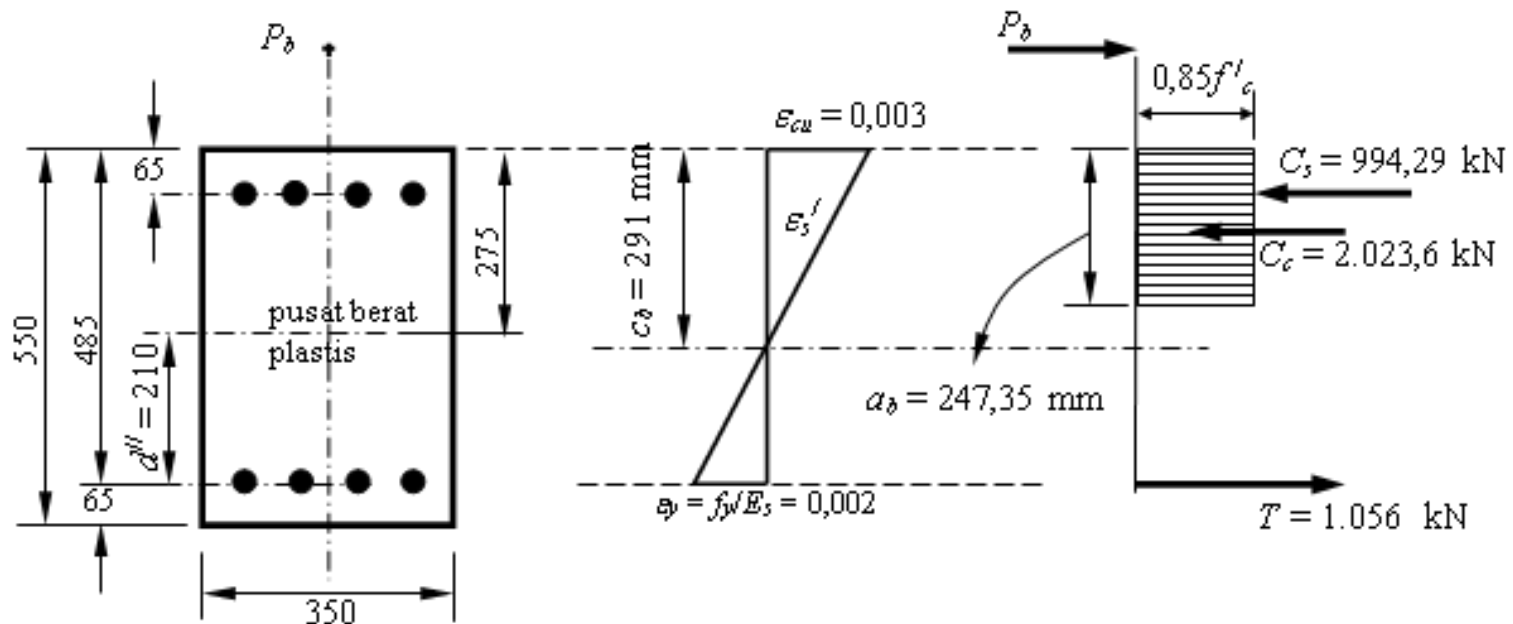
$$P_b \cdot e_b = C_c \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + C_s (d - d' - d'') + T d''$$

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

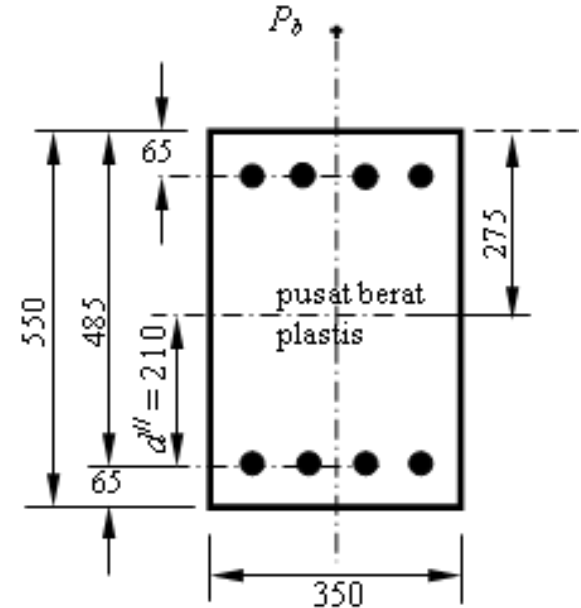
$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

Contoh 6

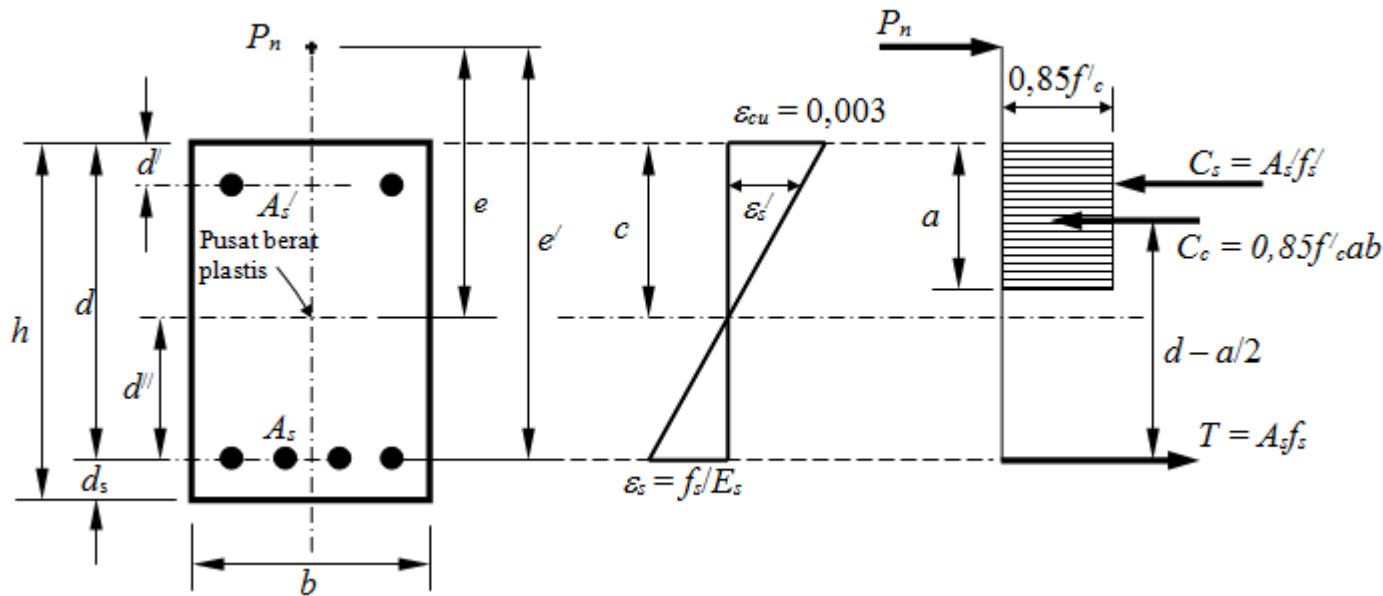
Tentukan gaya tekan pada kondisi seimbang, P_b , serta tentukan pula besar eksentrisitas dan momen pada kondisi seimbang, e_b dan M_b untuk penampang kolom berikut. Gunakan $f'_c = 27,5$ MPa dan $f_y = 400$ MPa.



1. Hitung nilai ϵ_y
2. Hitung c_b dan a_b
3. Periksa keluluhan tul tekan
4. Hitung C_c , C_s dan T
5. Hitung P_b dan M_b
6. Hitung e_b
7. Hitung ϕP_b dan ϕM_b



Penampang Kolom Dengan Beban Eksentris



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

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, $f_s = f_y$)

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 :

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

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

Apabila $A_s = A_s'$ dan $f_s = f_s' = f_y$, maka :

$$P_n = \frac{A_s f_y (d - d')}{\left(e' + \frac{a}{2} - d \right)} = \frac{A_s f_y (d - d')}{\left(e - \frac{h}{2} + \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s = A_s' = \frac{P_n \left(e - \frac{h}{2} + \frac{a}{2} \right)}{f_y (d - d')}$$

Keruntuhan Tarik

- Apabila penampang kolom diberi beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar, maka akan terjadi keruntuhan tarik.
- Kolom akan mengalami keruntuhan akibat luluhnya tulangan baja dan hancurnya beton pada saat regangan tulangan baja melampaui ε_y ($= f_y/E_s$).
- 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 .

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

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

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 :

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

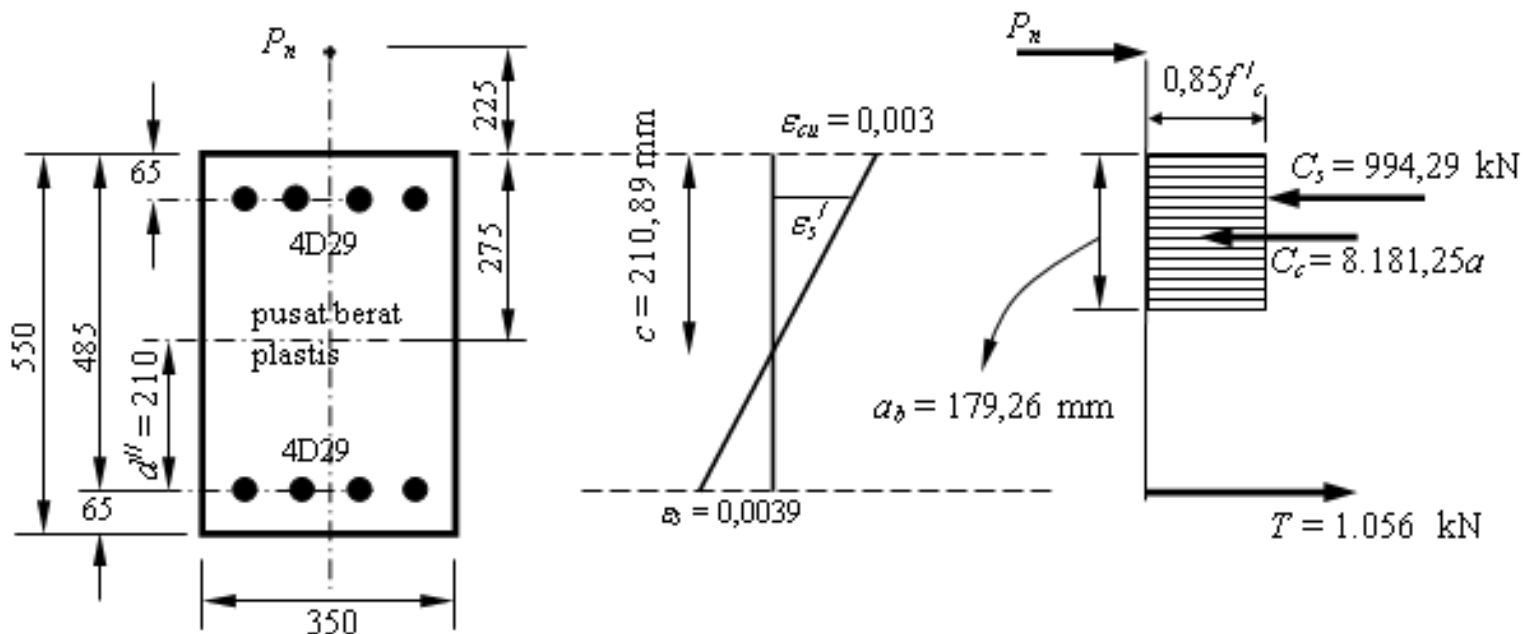
6. Substitusikan nilai a ke dalam persamaan pada langkah 2 untuk mendapatkan P_n . Momen M_n dapat dihitung dengan menggunakan persamaan
7. Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh seperti yang diasumsikan. Jika $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$, maka tulangan tekan sudah luluh, jika tidak, maka $f'_s = E_s \varepsilon'_s$. 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. Berdasarkan regangan pada tulangan baja tarik, ε_t , maka dapat ditentukan besarnya faktor reduksi, ϕ , yang besarnya bervariasi antara 0,65(atau 0,70) dan 0,90.

Contoh 7

Tentukan kuat tekan nominal, P_n , untuk penampang pada Contoh 6, jika $e = 500$ mm.

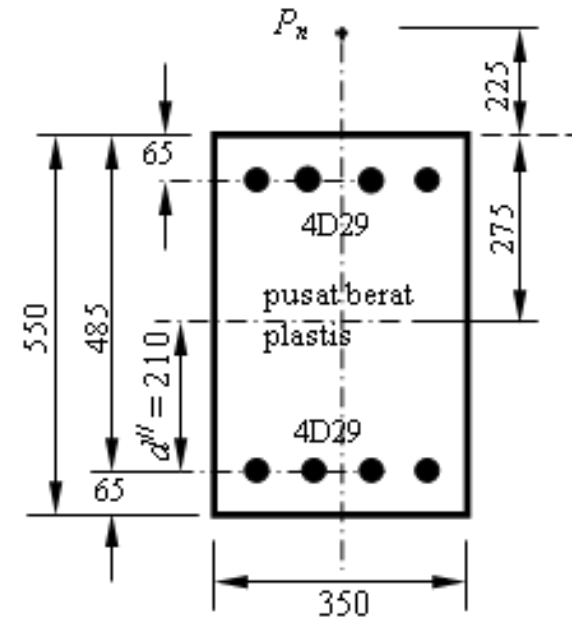


1. Cek $e > e_b$?
2. persamaan kesetimbangan
 $P_n = C_c + C_s - T$
3. Hitung P_n dari persamaan :

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

4. Samakan P_n langkah 2 dan 3
5. Selesaikan untuk a .
6. Hitung P_n , hitung M_n

7. Periksa apakah tul sudah luluh?
8. Hitung ϕP_b dan ϕM_b



$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} (0,003) \quad ; \quad \epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003)$$

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** .
- Sebagian besar penampang beton akan berada dalam keadaan tekan.
- Sumbu netral akan bergerak ke atas mendekati tulangan tarik, menambah luas daerah tekan beton, sehingga jarak sumbu netral dari serat tekan beton akan melebihi jaraknya pada kondisi seimbang ($c > c_b$).

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 $T = A_s f_y$

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

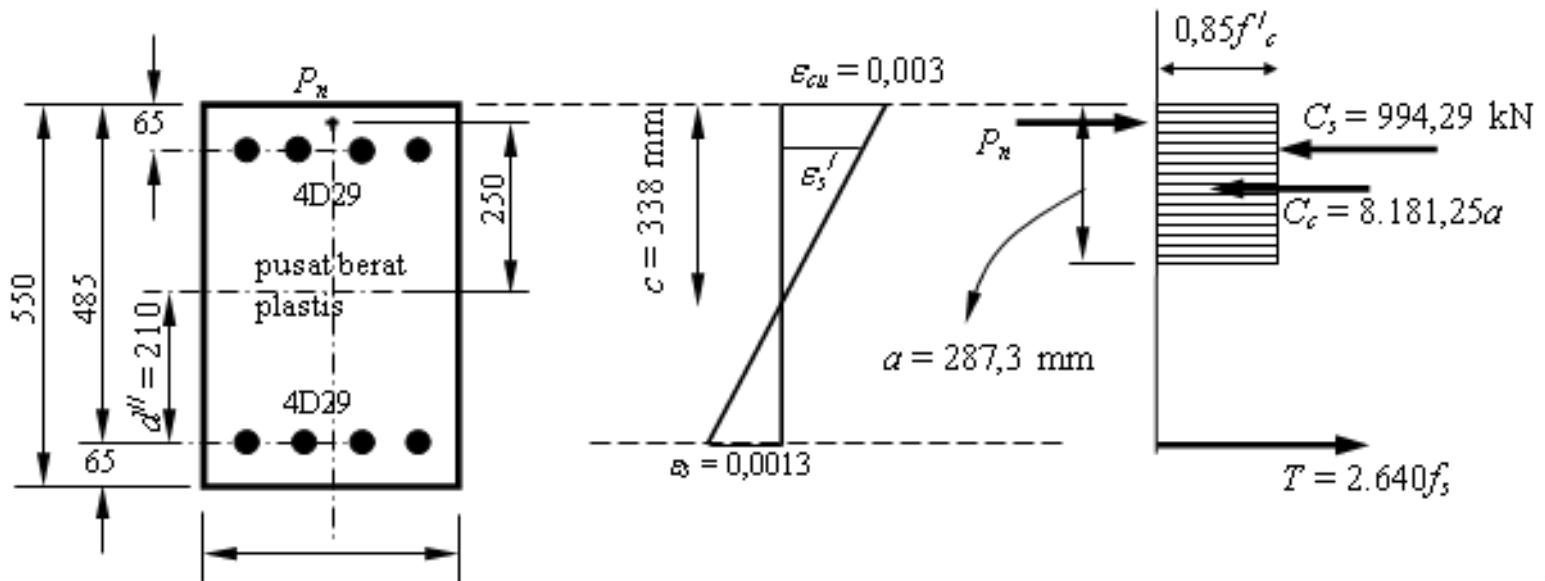
6. Hitung P_{n1} dari langkah 2, dan hitung P_{n2} dari langkah 3. Apabila P_{n1} cukup dekat dengan P_{n2} , maka nilai P_n diambil dari nilai terkecil antara P_{n1} dan P_{n2} atau rerata keduanya. Jika P_{n1} dan P_{n2} tidak cukup dekat, maka asumsikan nilai c atau a yang baru dan ulangi perhitungan 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 8

- Tentukan kuat tekan nominal, P_n , untuk penampang pada Contoh 6, jika $e = 250$ mm.



1. Cek $e < e_b$?
2. persamaan kesetimbangan

$$P_n = C_c + C_s - T$$

3. Hitung P_n dari persamaan

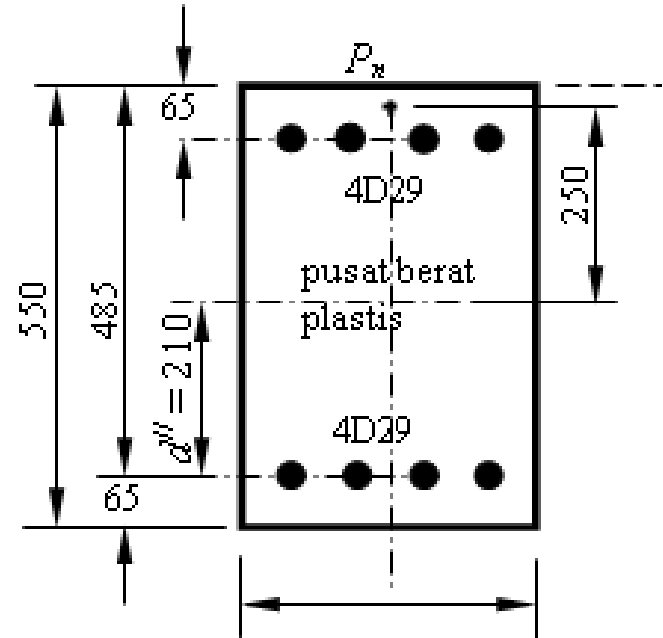
$$P_n = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

4. Ambil asumsi untuk nilai c
5. Selesaikan untuk a .

6. Hitung P_n , hitung M_n

7. Periksa apakah tul sudah luluh?

8. Hitung ϕP_b dan ϕM_b



Selain cara di atas, untuk menentukan kuat nominal tekan untuk penampang kolom yang mengalami keruntuhan tekan adalah dengan menggunakan persamaan Whitney sebagai berikut :

$$P_n = \frac{bhf'_c}{\frac{3he}{d^2} + 1,18} + \frac{A_s' f_y}{\left(\frac{e}{d - d'}\right) + 0,5}$$

Whitney memberikan rumus pendekatan guna menentukan nilai P_n untuk penampang kolom lingkaran yang mengalami kondisi keruntuhan tekan :

$$P_n = \frac{A_g f'_c}{\left[\frac{9,6he}{(0,8h + 0,67D_s)^2} + 1,18 \right]} + \frac{A_{st} f_y}{\left(\frac{3e}{D_s} + 1 \right)}$$

Dengan :

A_g	adalah luas penampang kolom lingkaran
h	adalah diameter penampang
D_s	adalah diameter susunan tulangan memanjang yang diukur hingga pusat lingkaran
A_{st}	adalah luas total tulangan memanjang
e	eksentrisitas terhadap pusat berat plastis

Contoh 12.5

Tentukan kuat tekan nominal, P_n , untuk penampang pada Contoh 12.4, dengan menggunakan persamaan Whitney.

• Diagram Interaksi

Diagram interaksi dapat dibuat dengan membuat kurva yang memberikan hubungan antara P_n dan M_n untuk berbagai nilai eksentrisitas, mulai dari $e = 0$ (aksial murni, $M_n = 0$) hingga $e = \infty$ (lentur murni, $P_n = 0$).

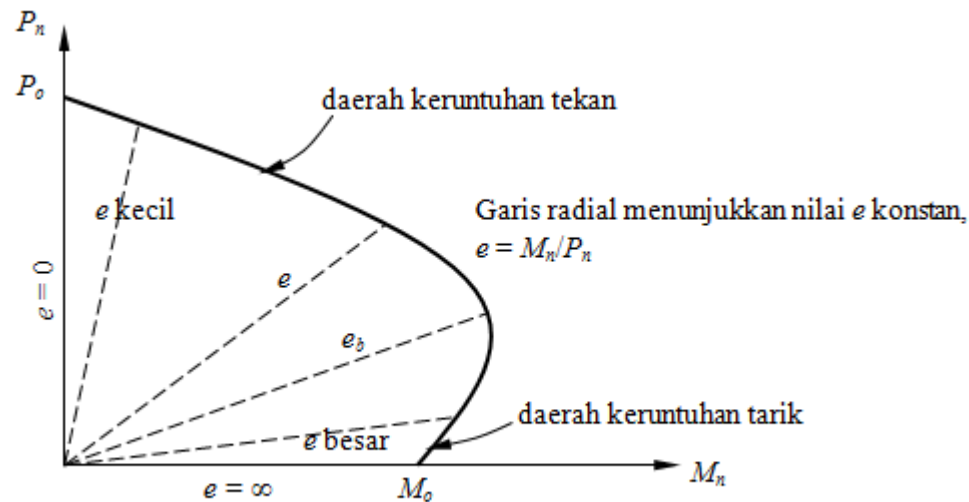
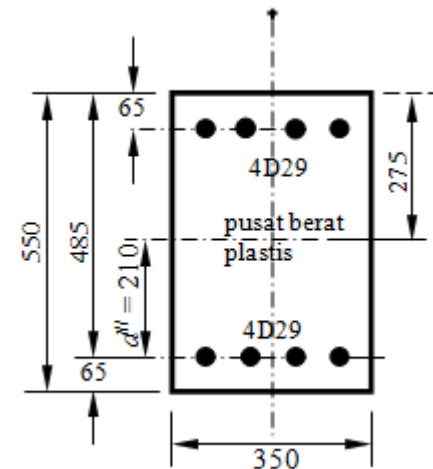


Diagram Interaksi Kolom Dengan Beban Aksial dan Momen Lentur

Dari contoh sebelumnya, diperoleh hasil :

Contoh	e (mm)	P_n (kN)	M_n (kNm)
12.2	375,54	1961,92	736,79
12.3	500	1.404,86	702,43
12.4	250	2.652,03	663,01



Untuk $e = 0$ atau kasus aksial murni ($M_n = 0$) maka nilai P_n untuk kolom dengan sengkang persegi adalah :

$$\begin{aligned} P_n &= 0,8P_o = 0,8[0,85f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85f'_c)] \\ &= 0,8[0,85(27,5)(350)(550) + 8(660)(400 - 0,85(27,5))] \\ &= 0,8(6.488.268) = 5.190.614 \text{ N} = \mathbf{5.190,6 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk $e = \infty$ atau kasus lentur murni ($P_n = 0$), lakukan analisis untuk menentukan M_n seperti halnya penampang balok, dengan mengabaikan tulangan tekan.

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{4 \times 660 \times 400}{0,85 \times 27,5 \times 350} = 129,08 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4(660)(400) \left(485 - \frac{129,08}{2} \right) = 444.005.760 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dengan menambahkan beberapa nilai eksentrisitas lainnya, maka nilai e , P_n , M_n dapat ditampilkan pada Tabel berikut :

e	a	ϕ	P_n	M_n	ϕP_n	ϕM_n	Keterangan
0	-	0.65	6488.27	0	4217.37	0.00	P_o
55	429.32	0.65	5190.61	285.48	3373.89	185.56	$0,8P_o$
100	413.65	0.65	4383.86	438.39	2849.51	284.95	Tekan
150	354.77	0.65	3640.13	546.02	2366.08	354.91	Tekan
250	287.30	0.65	2652.03	663.01	1723.82	430.96	Tekan
300	267.54	0.65	2326.22	697.87	1512.04	453.61	Tekan
350	253.30	0.65	2071.81	725.13	1346.68	471.34	Tekan
375.54	247.35	0.65	1961.92	736.79	1275.25	478.91	Seimbang
500	179.26	0.81	1404.86	702.43	1137.94	568.97	Transisi
750	127.55	0.9	823.70	617.77	741.33	556.00	Tarik
1000	110.14	0.9	572.75	572.75	515.47	515.47	Tarik
1250	101.70	0.9	437.78	547.23	394.00	492.50	Tarik
2000	91.36	0.9	255.84	511.69	230.26	460.52	Tarik
∞	129.08	0.9	0.00	444.01	0.00	399.61	Lentur Murni

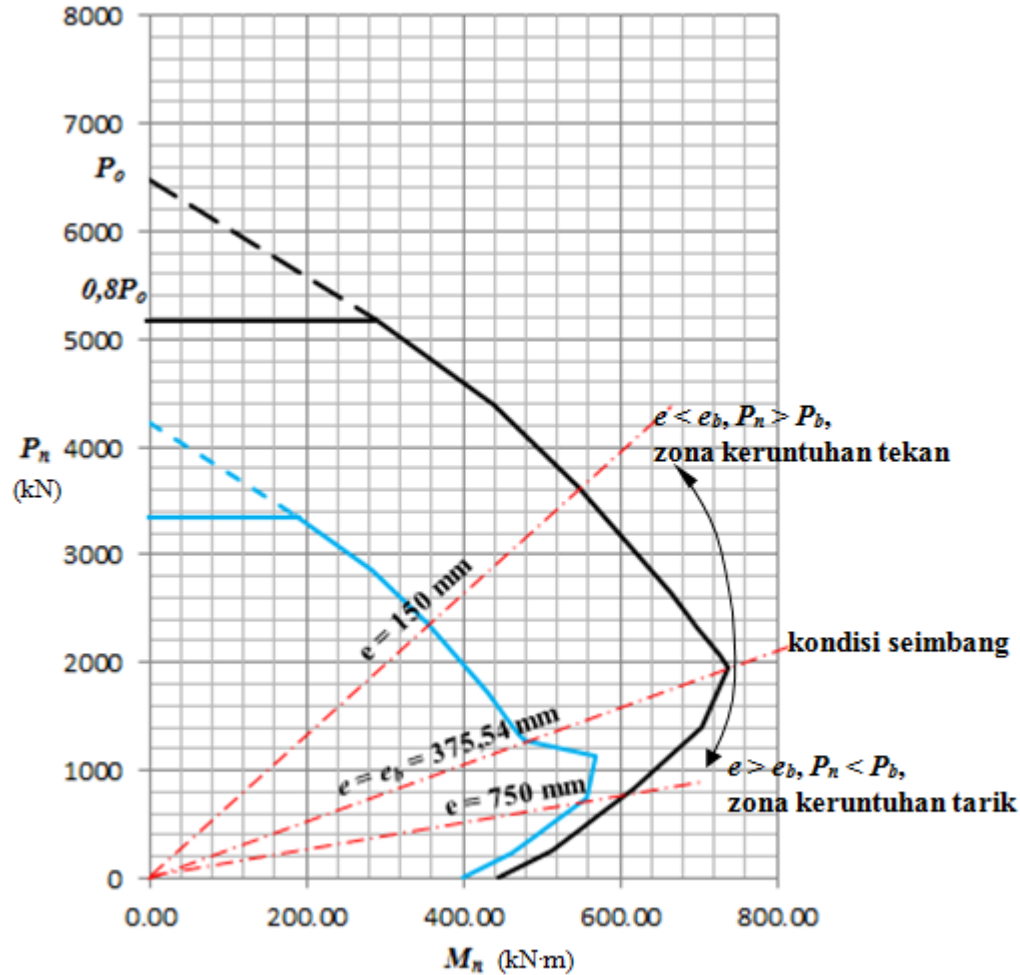
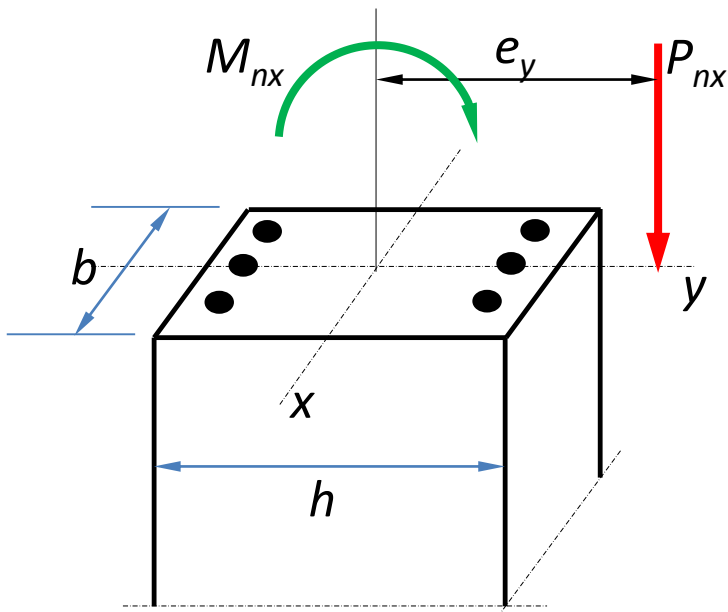
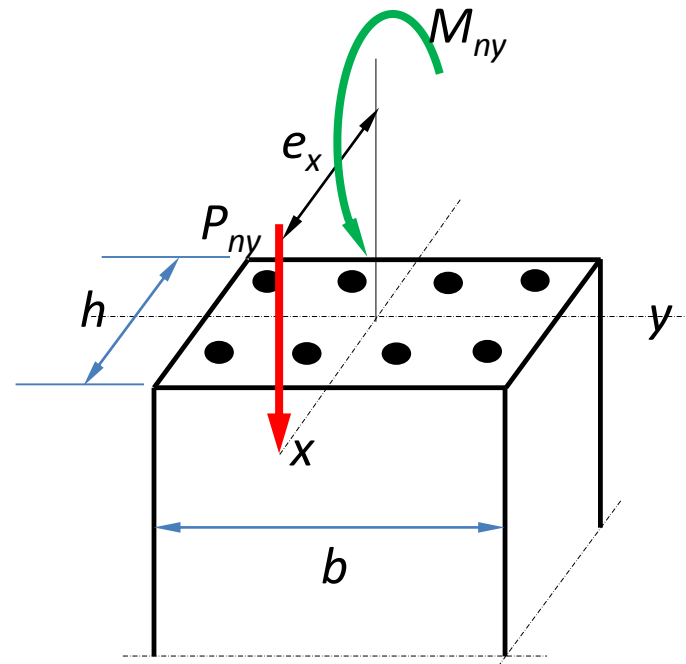


Diagram Interaksi Kolom

- Sub Pokok Bahasan :
 - Kolom Yang Dibebeani Momen Biaksial



Lentur Dalam Arah X



Lentur Dalam Arah Y

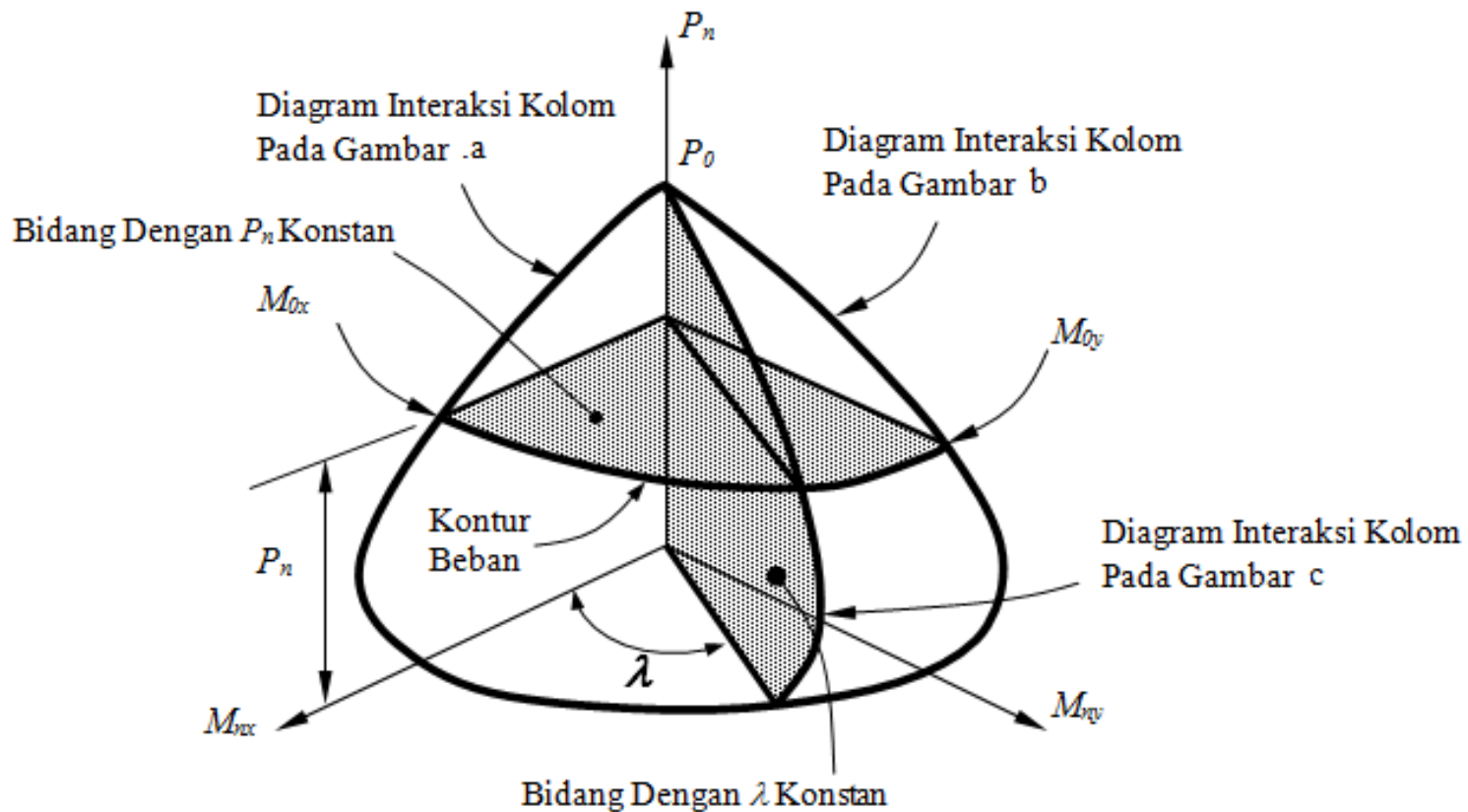


Diagram Interaksi Kolom Yang Mengalami Lentur Dua Arah

Metode Analisis Kolom Dengan Beban Biaksial

Metode Resiprokal Bresler

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_0}$$

dengan :

P_n adalah beban tekan nominal kolom pada saat lentur dua arah terjadi

P_{nx} adalah beban tekan nominal yang bekerja dengan eksentrisitas e_y ,
dengan $e_x = 0$

P_{ny} adalah beban tekan nominal yang bekerja dengan eksentrisitas e_x ,
dengan $e_y = 0$

P_0 adalah beban tekan aksial murni dengan $e_x = e_y = 0$

Persamaan Bresler ini berlaku apabila nilai P_n sama dengan atau lebih besar daripada $0,10P_0$. Persamaan ini tidak berlaku apabila beban aksial yang bekerja adalah berupa beban aksial tarik

Metode Analisis Kolom Dengan Beban Biaksial

Metode Kontur Beban PCA

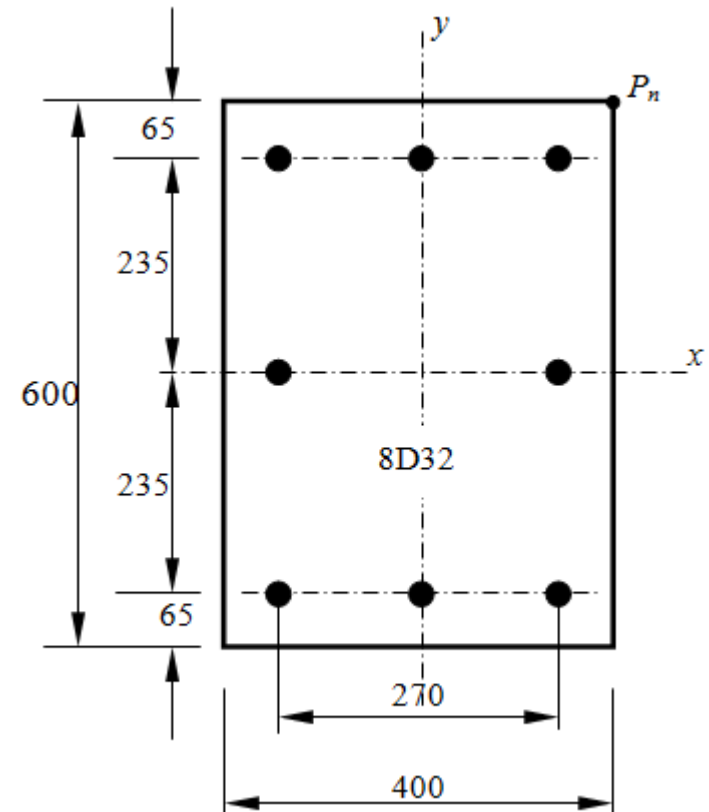
Jika $\frac{M_{ny}}{M_{0y}} > \frac{M_{nx}}{M_{0x}}$ \Rightarrow $\frac{M_{ny}}{M_{0y}} + \frac{M_{nx}}{M_{0x}} \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) = 1$

Jika $\frac{M_{ny}}{M_{0y}} < \frac{M_{nx}}{M_{0x}}$ \Rightarrow $\frac{M_{nx}}{M_{0x}} + \frac{M_{ny}}{M_{0y}} \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) = 1$

Untuk keperluan desain, nilai β dapat diambil sebesar 0,65.

Contoh 9

Suatu penampang kolom persegi dengan ukuran 400×600 mm, dan tulangan memanjang terdiri dari 8D32 yang terdistribusi merata pada keliling penampang. Tentukan besarnya beban tekan rencana ϕP_n yang dapat bekerja pada eksentrisitas $e_x = 200$ mm dan $e_y = 300$ mm. Gunakan mutu beton $f'_c = 35$ MPa dan $f_y = 400$ MPa. Lakukan analisis dengan metode Resiprokal Bresler.



Contoh 10

Ulangi kembali Contoh 8.15 namun lakukan analisis dengan metode kontur beban PCA.

Prosedur Cek Biaksial Bending

