**Kata Pengantar**

*Assalamualaikum, Wr, Wb*

Puji syukur senantiasa terharutkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Nikmat-Nya, sehingga buku ini dapat diselesaikan.

Ide dasar penyusunan buku ini adalah bagaimana membuat anda lebih praktis dalam merencanakan dan menganalisis kolom beton bertulang. Buku ini membahas tentang perancangan dan analisis kolom beton bertulang dengan cara Grafik Interaksi M-N berdasarkan SNI 03-2847-3913.

Tiada sesuatu yang sempurna, demikian pula buku ini. Kritik positif dan membangun untuk kesempurnaan buku ini merupakan kehormatan begi penulis.

Yogyakarta, Maret 2012

TIM Penulis

**II**

**DASAR TEORI**

1. Definisi Kolom

Struktur kolom adalah batang vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok (E.G Nawy.,1998). Kolom berfungsi meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi bawahnya hingga sampai tanah melalui fondasi. Kolom merupakan struktur tekan sehingga keruntuhan kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. Oleh karena itu, dalam merencanakan kolom perlu adanya perencanaan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan elemen beton bertulang lainnya.

Apabila beban yang bekerja pada kolom semakin besar, maka retak akan terjadi diseluruh tinggi kolom pada daerah sengkang. Pada batas keruntuhan biasanya ditandai dengan selimut beton yang lepas terlebih dahulu sebelum baja tulangan kehilangan letakan. Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dibedakan menjadi :

1. Kolom segi empat dengan tulangan memanjang dan sengkang.
2. Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berbentuk spiral.
3. Kolom komposit yang terdiri dari beton dan baja profil didalamnya.



**Gambar 1.** Bentuk kolom (a) kolom bulat tulangan spiral; (b) kolom segi empat; (c) kolom komposit bulat tulangan spiral; (d) kolom komposit segiempat.

1. Kolom dengan Beban Sentris dan Eksentris

Berdasarkan posisi beban, kolom dibedakan menjadi 2 yaitu kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Kolom dengan beban sentris mengalami gaya aksial dan tidak mengalami momen lentur. Keruntuhan kolom dapat terjadi pada beton hancur karena tekan atau baja tulangan leleh karena tarik. Kolom pendek adalah kolom yang runtuh karena materialnya, yaitu lelehnya baja tulangan atau hancurnya beton. Kolom langsing adalah kolom yang runtuh karena tekuk yang besar. Perencanaan kolom didasarkan pada dua kondisi yaitu :

1. Kolom Pendek dengan Beban Sentris

Kapasitas beban sentris maksimum diperoleh dengan menambah kontribusi beton yaitu (Ag – Ast) 0,85 *f’*c dan kontribusi baja tulangan yaitu Ast fy, dimana Ag luas penampang bruto dan Ast luas total tulangan baja. Kapasitas beban sentris maksimum yaitu :

Po = (Ag – Ast) 0,85 *f’*c + Ast *f*y …………………………… (1)

Pada kenyataannya, beban eksentrisitas sebesar nol sangat sulit terjadi dalam struktur aktual. Hal tersebut disebabkan karena ketidak tepatan ukuran kolom, tebal plat yang berbeda dan ketidaksempurnaan lainnya. Batas eksentrisitas minimal untuk kolom sengkang dalam arah tegak lurus sumbu lentur adalah 10% dari tebal kolom dan 5% untuk kolom bulat (E.G Nawy., 1998)

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perencanaan beton untuk bangunan gedung, kuat rencana kolom tidak boleh lebih dari :

1. Kolom sengkang (pasal 12.3.(5(1))

ϕPn = 0,80 ϕ (Ag – Ast) 0,85 *f’*c + Ast *f*y ………………………. (2)

1. Kolom bulat (pasal 12.3.(5(1))

ϕPn = 0,85 ϕ (Ag – Ast) 0,85 *f’*c + Ast *f*y ………………………. (3)

Dengan faktor reduksi kekuatan ϕ untuk kolom sengkang sebesar 0,65 dan ϕ untuk kolom bulat 0,70. Persyaratan detail penulangan kolom bulat antara lain :

1. Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas penampang bruto (pasal 12.9(1)).
2. Jumlah tulangan longitudinal munimum adalah 4 untuk kolom persegi empat atau lingkaran, 3 untuk kolom sengkang segitiga dan 6 untuk kolom pengikat spiral (pasal 12.9(2)).
3. Rasio penulangan spiral untuk *fy* ≤ 400 tidak boleh kurang dari (pasal 12.9(3)) :

 ………………………. (4)

1. Kolom Dengan Beban Eksentris

Kolom yang menahan beban eksentris mengakibatkan baja pada sisi yang tertarik akan mengalami tarik dengan garis netral dianggap kurang dari tinggi efektif penampang (*d*). Apabila angka kelangsingan *kl*u/r ≤ 22 maka tergolong kolom pendek. Berdasarkan regangan yang terjadi pada baja tulangan yang tertarik, kondisi awal keruntuhan digolongkan menjadi dua yaitu :

1. Keruntuhan tarik yang diawali dengan luluhnya tulangan tarik dimana Pn < Pnb.
2. Keruntuhan tekan yang diawali dengan kehancuran beton dimana Pn > Pnb.

Kondisi *balance* terjadi saat baja tulangan mengalami luluh bersamaan dengan regangan beton. Beton mencapai kekuatan maksimum *f’*c pada saat regangan desak beton maksimal mencapai 0,003. Perencanaan kolom eksentris diselesaikan dengan dua cara antara lain :

1. Metode Pendekatan Diagram Pn - Mn

Diagram Pn - Mn yaitu suatu grafik daerah batas yang menunjukkan ragam kombinasi beban aksial dan momen yang dapat ditahan oleh kolom secara aman. Diagram interaksi tersebut dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah keruntuhan tekan dan daerah keruntuhan tarik dengan pembatasnya adalah titik *balance*. Tulangan dipasang simetris untuk mempermudah pelaksanaan, mencegah kekeliruan dalam penempatan tulangan tarik atau tulangan tekan dan mengantisipasi perubahan tegangan akibat beban gempa. Analisis kolom dengan diagram Pn - Mn diperhitungkan pada tiga kondisi yaitu :

1. Pada Kondisi Eksentrisitas Kecil

Prinsip-prinsip pada kondisi ini dimana kuat tekan rencana memiliki nilai sebesar kuat rencana maksimum.

ϕPn = ϕPn max = 0,80 ϕ (Ag – Ast) 0.85 *f’*c + Ast *f*y ………………. (5)

sehingga kuat tekan kolom maksimum yaitu :
$P\_{n = }\frac{φP\_{u max}}{φ}$ …………………. (6)

1. Pada Kondisi Momen Murni

Momen murni tercapai apabila tulangan tarik belum luluh sedangkan tulangan tekan telah luluh dimana fs adalah tegangan tulangan tekan pada kondisi luluh. Pada kondisi momen murni keruntuhan terjadi saat hancurnya beton (Pn = Pu = 0). Keseimbangan pada kondisi momen murni yaitu :

ND1 + ND2 = NT .........................(7)

Dimana :

ND1 = 0,85 *f’*c *b* a .........................(8)

ND2 = *f’*s A’s .........................(9)

NT = *f*y As .........................(10)

Selisih akibat perhitungan sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Persamaan yang diperoleh dari segitiga sebangun dengan tinggi sumbu netral pada *c* yaitu :
$f'\_{s}= E\_{s}ε'\_{s }= E\_{s}\frac{0,003\left(c-d'\right)}{c}$ .............. (11)

Dengan mensubtitusikan persamaan (7) dan (11) akan dihasilkan persamaan pangkat dua dengan perubah tinggi sumbu netral *c*. Momen rencana dapat dihitung sebagai berikut :

Mr= ϕMn ......................... (12)

Mn = Mn1 + Mn2 = ND1 Z1 + ND2 Z2 ......................... (13)

1. Pada Kondisi *Balance*

Kondisi keruntuhan *balance* tercapai apabila tulangan tarik luluh dan beton mengalami batas regangan dan mulai hancur. Persamaan yang diperoleh dari segitiga yang sebangun dengan persamaan sumbu netral pada kondisi *balance* (Cb) yaitu :

$\frac{C\_{b}}{d}= \frac{0,003}{0,003+ \frac{f\_{y}}{E\_{s}}}$ ......................... (14)

atau dengan Es = 200000, maka :

$C\_{b}= \frac{600 d}{600+ f\_{y}}$ ......................... (15)

Persamaan kesetimbangan pada kondisi *balance* :

Pb = ND1 + ND2 – NT ......................... (16)

Sehingga eksentrisitas *balance* (eb) dapat ditulis sebagai berikut :

Pb(eb + d/2) = Mnb ......................... (17)

Mrb = ϕPb eb ......................... (18)

1. Metode Pendekatan Whitney

Persamaan-persamaan yang disarankan Whitney dugunakan sebagai solusi alternatif dengan cara coba-coba walaupun tidak selalu konservatif khususnya apabila beban rencana terlalu dekat dengan beban *balance*.

1. Kolom Segi Empat

Persamaan-persamaan Whitney pada kondisi keruntuhan tekan yang disarankan berdasarkan asumsi-asumsi :

1. Tulangan dipasang simetris pada satu lapis sejajar terhadap sumbu lentur penampang segi empat.
2. Tulangan tekan telah leleh.
3. Luas beton yang ditempati tulangan diabaikan.
4. Tinggi balok tegangan ekivalen dianggap sebesar 0,54d setara dengan harga a rata-rata kondisi *balance* pada penampang segi empat.
5. Keruntuhan tekan menentukan.

Dalam banyak hal, metode Whitney konservatif apabila eksentrisitas sangat kecil.

Persamaan Whitney untuk hancur tekan menentukan :

$P\_{n}= \frac{A'\_{s}f\_{y}}{\left[\frac{e}{\left(d-d'\right)}\right]+0,5}+\frac{bhf'\_{c}}{\left(\frac{3he}{d^{2}}\right)+1,18}$ ......................... (19)

Persamaan Whitney untuk hancur tarik menentukan berdasarkan asumsi-asumsi keruntuhan ditandai dengan luluhnya tulangan tarik sedangkan tulangan tekan bisa belum luluh.

$P\_{n}=0,85f'\_{c}bd\left[\frac{h-2e}{2d}\right]+\sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d}\right)^{2}}+2mρ\left(\frac{1-d^{2}}{d}\right)$ .............(20)

1. Kolom Bulat

Persamaan-persamaan Whitney pada kondisi keruntuhan tekan yang disarankan berdaarkan asumsi-asumsi :

1. Transformasi kolom bulat menjadi kolom segi empat akivalen.
2. Tebal penampang segi empat ekivalen diambil sebesar 0,8h dimana h adalah diameter kolom bulat.
3. Lebar kolom segi empat ekivalen diambil sebesar Ag / 0,8h.
4. Luas total tulangan segi empat ekivalen pada dua lapis yang sejajar berjarak 2Ds/3 dalam arah lentur dimana Ds adalah diameter tulangan terluar dari as ke as.

Persamaan Whitney untuk keruntuhan tekan :

$P\_{n}=\frac{A\_{st}f\_{y}}{\left(\frac{3e}{D\_{s}}\right)+1,0}+\frac{A\_{g}f'\_{c}}{\left[\frac{9,6he}{\left(0,8h+0,67D\_{s}\right)^{2}}\right]+1,8}$ ......................... (21)

Persamaan Whitney untuk keruntuhan tarik :

$P\_{n}=0,85f'\_{c}h^{2}\left[\sqrt{\left(\frac{0,85e}{h}-0,38\right)^{2}+\frac{ρ\_{g}mD\_{s}}{2,5h}-\left(\frac{0,85e}{h}-0,38\right)}\right]$ .......(22)

Dimana h : diameter penampang

 Ds : diameter tulangan terluar dari as ke as

 e : eksentrisitas terhadap pusat plastis

$ρ\_{g}=\frac{A\_{st}}{A\_{g}}$ $m=\frac{f\_{y}}{0,85f'\_{c}}$

1. Kolom Langsing

Apabila angka kelangsingan kolom melebihi batas untuk kolom pendek maka kolom tersebut akan mengalami tekuk sebelum mencapai batas limit kegagalan material. Kolom tersebut adalah jenis kolom langsing yang mengalami momen tambahan akibat efek PΔ dimana *P* adalah beban aksial dan Δ adalah defleksi akibat kolom tertekuk pada penampang yang ditinjau.

1. Besarnya *k* dapat dihitung dengan persamaan-persamaan dari peraturan ACI (E.G Nawy., 1998) antara lain :
2. Batas atas faktor panjang efektif untuk batang tekan berpengaku diambil dari nilai terkecil antara persamaan berikut:

*k* = 0,7 + 0,05 (*ψ*A + *ψ*B) ≤ 1,0

*k* = 0,85 + 0,05 *ψ* min ≤ 1,0

Dimana *ψ*Adan *ψ*Badalah *ψ* pada ujung kolom dan *ψ*min adalah yang terkecil dari kedua harga tersebut.
 ......................... (23)

Dimana *l*u adalah panjang tak tertumpu kolom dan *ln* adalah bentang bersih balok.

1. Batas atas faktor panjang efektif untuk batang tekan tanpa pengaku yang tertahan pada kedua ujungnya diambil sebesar :

Untuk *ψ* m< 2

 .........................(24)

Untuk *Ψ* m≥ 2



Diamana *ψ* madalah harga *ψ* rata-rata dari kedua ujung batang tertekan tersebut.

1. Batas atas faktor panjang efektif untuk batang tekan tanpa pengaku yang kedua ujungnya sendi diambil sebesar :

*k* = 2,0 + 0,3 *ψ*

1. Pengaruh kelangsingan

SNI (1991) mensyaratkan pengaruh kelangsingan boleh diabaikan apabila :

1.  untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping.
2. untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyang kesamping.

M1b dan M2b adalah momen pada ujung-ujung yang berlawanan pada kolom dengan M2b adalah momen yang lebih besar dan M1b adalah momen yang lebih kecil.

1. Metode pembesaran momen

Pembesaran momen bergantung pada kelangsingan batang, desain penampang dan kekuatan seluruh rangka portal bergoyang. Komponen struktur tekan harus direncanakan menggunakan beban aksial terfaktor dan momen terfaktor yang diperbesar.

$δ\_{s}M\_{s}=\frac{M\_{s}}{1-\frac{\sum\_{}^{}P\_{u}}{0,75\sum\_{}^{}P\_{c}}}$ .........................(25)

Dengan: :
Pc = π2EI/(klu)2 .........................(26)

$EI=\frac{0,4E\_{c}I\_{g}}{1+β\_{d}}$ .........................(27)

$E\_{c}=\left(W\_{c}\right)^{1,5}0,043\sqrt{f'\_{c}}$ .........................(28)

$β\_{d}=\frac{momen beban mati rencana}{momen total rencana}\leq 1$ .........................(29)

Dimana ∑Pu adalah beban vertikal trfaktor pada suatu tingkat dan ∑Pc adalah kapasitas tekan total kolom-kolom pada suatu tingkat.

1. Kuat geser

Perencanaan kolom harus mempertimbangkan gaya geser yang bekerja antara lain :

1. Komponen struktur yang menerima beban aksial tekan :

$V\_{c}=\left(1+\frac{N\_{u}}{14A\_{g}}\right)\left(\frac{\sqrt{f'\_{c}}}{6}\right)b\_{w}d$.............................. (30)

Dimana besaran Nu/14Ag harus dalam MPa.

1. Kuat geser boleh dihitung dengan perhitungan yang lebih rinci yaitu :

$V\_{c}=\left[\sqrt{f'\_{c}+120ρ\_{w}\frac{V\_{u}d}{M\_{u}}}\right]\frac{b\_{w}d}{7}$............................. (31)

Dengan nilai Mm menggantikan Mu dan nilai Vud/Mu boleh diambil lebih daripada 1,0 dengan :

$$M\_{m}=M\_{u}-N\_{u}\frac{\left(4h-d\right)}{8}$$

Tetapi dalam hal ini Vc tidak boleh diambil lebih besar dari pada :

................................. (32)

Bila gaya geser Vu lebih besar daripada kuat geser φVc maka harus disediakan tulangan geser.



Dimana  tidak boleh kurang dari  dengan bw dan s dalam milimeter. Kuat geser Vs tidak boleh diambil lebih dari .

 Jika Vs > , maka spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh lebih dari d/2 atau 600 mm.

1. *Flowchart*

*Flowchart* adalah gambar atau bagan yang memperlihatkan urutan dan hubungan antar proses beserta fungsinya. *Flowchart* perancangan dan analisis kolom persegi (bujur sangkar) dan kolom bulat (lingkaran) struktur beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. *Flowchart* Perancangan dan Analisis Kolom Persegi Secara Hitungan Manual.
2. Analisis Kolom Persegi Sentris.

A

B

MULAI

As = (π/4).n.db2

Ag = b.h



d = h - sb - ds - ½ db

b, h, f’c, fy, Pu, n, db, ds, sb, s

ρ ≥ 0,01

ρ ≤ 0,08

Rasio penulangan tidak terpenuhi

Perbesar dimensi kolom

binti = b-2sd-2ds

hinti = b-2sd-2ds

Kc= 2 binti + 2 hinti

Spasi tul =

Jb=

Tidak

Tidak

Ya

Ya

 B

 A

Tidak

Jb ≥ d

Jb = 1,5 db

Ya

Spasi min = Jb + db

Tidak

Spasi min < spasi tul

Spasi tulangan tidak terpenuhi

J =



Tidak

Tidak aman

J > 150

φPn max = 0,85φ[0,85.f’c.(Ag-As) + (fy.As)]

Ya

 

Tidak

Tulangan spiral tidak aman

φPn max ≥ Pu

φPn max , ds , s

Ya

SELESAI

**Gambar 2**. Bagan Alir Analisis Kolom Pendek Persegi.

1. Perancangan Kolom Persegi Sentris

MULAI





*ϕPn beton =* 0,85 ϕ [0,85 f’c (1- ρ) Ag perlu ]

Pu, f’c, fy, ρ, db, ds, sb

*ϕPn baja = Pu – ϕPn beton*





*Dc = Dk – 2sb*

*bc = b – 2ds -2sb*

*Kc = π bc*

**

Tidak

Jb ≤ 150

Perlu tulangan pengikat tambahan

b, n, db,ds, s

Ya

SELESAI

**Gambar 3**. Bagan Alir Perancangan Kolom Persegi Sentris.

1. Analisis Kolom Persegi Eksentrisitas dengan Diagram Pn – Mn

MULAI

f’c,fy,ρ,e,b,h,Es

As = π/4. db2. n

A’s = π/4. db2. nt

Ast = As + A’s

Ag = b. h

 

φPn max = 0,85φ[0,85.f’c.(Ag-Ast) + (fy.Ast)]



Hitung β1

A = 0,85 *β*1 *f*’c b

B = (600A’s) – (0,85 *f’*c A’s) – (*f*y As)

D = - (600 A’s d’)

c = 



*f’*s = Es . εs

Mn1 = 0,85 *β*1 *f*’c c b ((h-d’) - (0,5 *β*1 c))

Mn2 = ((*f’*s – (0,85 *f’*c)A’s)) (h - 2d’)

Mr = ϕ (Mn1 + Mn2)

ND1 = 0,85 *β*1 *f*’c c b

A

A

ND2 = (*f*’s – (0,85 *f*’c)) *A*’s

NT = *f*y *A*s

Pb = ND1 + ND2 - NT

Mn1 = 0,85 *β*1 *f*’c c b (( h-d’) – (0,5*β*1 c))

Mn2 = ((*f*’s – (0,85 *f*’c) *A*s)) ( h – 2d’)



φPb = φ( ND1 + ND2 – NT )

Mb = φPb eb

Perancangan tulangan geser kolom

Pn max ; Mr ; Pb ; Mb ; ds ; s

SELESAI

 **Gambar 4**. Bagan Alir Analisis Kolom Persegi dengan diagram Pn - Mn

1. Perancangan Kolom Persegi Eksentris.

MULAI

b, h, Pu, f’c, ρ, e, db, n, d’, ds, sb, fy, Vu,

As perlu = (0,5 ρ) b (h-d’)

As = (π/4) db2 n

Tidak

Luas tulangan tidak terpenuhi

As perlu > As

Ya









*Ag = b . h*

*fs = fy*

Tidak

εs’ > εy

Ya



Hitung β1

B

A

B

A



*m = fy / 0,85 f’c*



*Pb > Pu*

Gagal tekan

Tidak

Ya



Gagal tarik

Φ Pn > Pu

Tidak

Tidak aman

Perancangan tulangan geser kolom

Ya

*Φ Pn, ds, s*

SELESAI

**Gambar 5**. Bagan Alir Perancangan Kolom Persegi Eksentris .

1. Perhitungan Pembesaran Momen Kolom Persegi.

MULAI

b, h, wc, lu, f’c, fy, Mu, MD, Pu, ψA, ψB

r = 0,3 h

ψm = 0,5 (ψA + ψB)

Tidak

ψm < 2

Ya





Klu/r < 100

Tidak

Kolom pendek

Klu/r ≥ 22

Analisis orde 2

Tidak

Ya

Ya



Ig = 1/12 bh3



Tidak

βd = 1

Ya







B

A

B

A



 Pu: δs Ms

SELESAI

 **Gambar 6**. Bagan Alir Perhitungan Pembesaran Momen Kolom Persegi.

1. *Flowchart* Perancangan dan Analisis Kolom Persegi Secara Grafik
2. Perancangan Kolom Persegi Eksentris

MULAI

Pu , ρg , γh , b, h, , f’c , fy

As perlu = (0,5 ρ) b (h-d’)

As = (π/4) db2 n

Dengan menggunakan gafik Diagram M-N

ϕPn , Pn, Mr , ϕPb , Pb , Mrb

SELESAI

**Gambar 7**. Bagan Alir Perancangan Kolom Persegi Eksentris dengan Cara Grafis

1. Analisis Kolom Persegi Eksentris

MULAI

Pu , ρg , γh , b, h, , f’c , fy

As perlu = (0,5 ρ) b (h-d’)

As = (π/4) db2 n

Dengan menggunakan gafik Diagram M-N

ϕPn , Pn, Mr , ϕPb , Pb , Mrb

SELESAI

 **Gambar 8**. Bagan Alir Analisis Kolom Persegi Eksentris dengan Cara Grafis.

1. *Flowchart* Perancangan dan Analisis Kolom Bulat dengan Cara Hitungan Manual.
2. Analisis Kolom Bulat Sentris

MULAI

D, f’c, fy, Pu, n, db, ds, sb, s

As = (π/4).n.db2

Ag = (π/4).D2



Dc = D – (2 . sb)

Tidak

Rasio penulangan tidak terpenuhi

ρ ≥ 0,01

Ya

Tidak

Perbesar dimensi kolom

ρ ≤ 0,08

Ya

Dc = D - 2 (sb – ds -½ db

Kc = π.Dc

Spasi Tul 



Jb ≥ d

Jb = 1,5 db

Spasi min = Jb + db

Tidak

Ya

B

A

B

A

Spasi min < spasi tul < Spasi max

φPn max = 0,85φ[0,85.f’c.(Ag-As) + (fy.As)]

Tidak

Tidak aman

*ϕ*Pn max ≥ Pu

Ac = (π/4). Dc2

Ya

 





Ya

Tidak

Tulangan spiral tidak aman

ρakt ≥ ρs min

*ϕ*Pn max , ds , s

SELESAI

**Gambar 9**. Bagan Alir Analisis Kolom Pendek Bulat Tulangan Spiral.

1. Perancangan Kolom Bulat Sentris

MULAI





Pu, f’c, fy, ρ, db, ds, sb

*ϕPn beton =* 0,85 ϕ [0,85 f’c (1- ρ) Ag perlu ]

*ϕPn baja = Pu – ϕPn beton*





*Dc = Dk – 2sb*

*Ac = (π/4) Dc2*

*Kc = π Dc*

**

Tidak

Jb ≤ 150

Perlu tulangan pengikat tambahan





Ya

Tidak

s = 75

ρakt < 75

Ya

s = ρakt

D, n, db,ds, s

SELESAI

**Gambar 10**. Bagan Alir Perangcangan Kolom Pendek Bulat Tulangan Spiral.

1. Perancangan Kolom Bulat Eksentris

MULAI

D, Pu, f’c, ρ, e, db, n, sb, fy, Es, s’

b = 0,8 D



*d-d’* = 2/3 (D – (2 x s’))



*d = (d-d’) + d’*

Di ubah



ab = 0,85 . Cb









Gagal tekan

Tidak



eb < e

Gagal tarik



Ya

Tidak

Tidak aman

*ϕ*Pn > Pu

Ya

ϕPn, ds

SELESAI

**Gambar 11**. Bagan Alir Perancangan Kolom Eksentris Bulat Tulangan Spiral.

1. Perhitungan Pembesaran Momen Kolom Bulat

MULAI

b, h, wc, lu, f’c, fy, Mu, MD, Pu, ψA, ψB

r = 0,25 h

ψm = 0,5 (ψA + ψB)

Tidak

ψm < 2

Ya





Klu/r < 100

Tidak

Kolom pendek

Klu/r ≥ 22

Analisis orde 2

Ya

Tidak

Ya



Ig = 1/64 π h4

Tidak



βd = 1

Ya







B

A

B

A



Pu: δs Ms

SELESAI

**Gambar 12**. Bagan Alir Perhitungan Pembesaran Momen Portal Bergoyang.

1. *Flowchart* Perencanaan dan Analisis Kolom Bulat dengan Grafik
2. Perencaan Kolom Bulat Eksentris

MULAI

Pu , Mu, ρ , h, e, *f’c* , *fy*

Menentukan D, n, db, sb



Tebal penampang segi empat eqivalen = 0,80 h

Lebar penampang segi empat eqivalen =







ϕPn , Pn , Mr , Pnb , Mrb

*Dc* = *D* – (2 . sb)



SELESAI

Ya

Dengan menggunakan gafik Diagram M-N

**Gambar 13**. Bagan Alir Perancangan Kolom Bulat Eksentris dengan Cara Grafik.

1. Analisis Kolom Bulat Eksentris

MULAI

D, n, db, sb, Pu , Mu ρg , h, e, *f’c* , *fy*



Tebal penampang segi empat eqivalen = 0,80 h

Lebar penampang segi empat eqivalen =







SELESAI

ϕPn , Pn , Mr , Pnb , Mrb

Dengan menggunakan gafik Diagram M-N

*Dc* = *D* – (2 . sb)



Ya

**Gambar 14.**  Bagan Alir Analisis Kolom Bulat Eksentris dengan Cara Grafik.

**III**

**CONTOH PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN**

1. Contoh Hitungan Kolom berpenampang Persegi
2. Perancangan kolom berpenampang persegi dengan cara hitungan manual biasa dan cara grafis Interaksi M-N.

Tabel 1. Perancangan kolom berpenampang persegi dengan cara hitungan manual biasa dan cara grafis Interaksi M-N.

|  |
| --- |
| SOAL :Suatu kolom dengan pengikat sengkang menahan gaya desak aksial Pu 1500 kN, dan menahan momen 160 kNm, perkiraan penulangan bruto ρg 3% dan selimut beton d’ 70 mm. Beton normal dengan *f’c* 30 MPa, *fy* 400 MPa. Maka rancang dimensi kolom serta periksalah beban yang boleh bekerja pada penampang kolom tersebut? |
| **CARA HITUNGAN MANUAL BIASA** | **CARA GRAFIS INTERAKSI M-N** |
| PENYELESAIAN :* Hitung gaya aksial dan momen rencana yang bekerja :

Pu = 1500 kNMu = 160 kNm* Menentukan penulangan dan ukuran kolom

Ditaksir ukuran kolom 400 x 400 dengan ρg 3 % , masing-masing sisi 1,5 %, dicoba * Luas tulangan total :

* Luas penampang kolom :

* Cek apakah eksentrisitas (e) lebih besar atau lebih kecil daripada eksentrisitas balance (eb) :

d = 400 – 70 = 330 mm Pnb = 1100,218 kN  = 262,744 kNmKarena eb > e, maka keruntuhan kolom berupa keruntuhan tekan.* Pemeriksaan kekuatan penampang

Persamaan Whitney untuk kolom persegi gagal tekan menentukan := 2908,604 kN > Pn perlu = 1500 kN φPn  = 2908,604. 0,65 = 1890,59 kNφPn = 1890,59 kN > Pu = 1500 kN **(AMAN)**MR = φ Pn . e  = (1890,59 x 106,67).10-3 =201,669 kNm > Mu = 160 kNm**(AMAN)**Dengan demikian ukuran penampang kolom tersebut dapat digunakan. | PENYELESAIAN :* Hitung gaya aksial dan momen rencana yang bekerja :

Pu = 1500 kNMu = 160 kNm* Menentukan penulangan dan ukuran kolom

Ditaksir ukuran kolom 400 x 400 dengan ρg 3 % , masing-masing sisi 1,5 %, dicoba * Luas tulangan total :

* Luas penampang kolom :

* Dengan menggunakan grafis Interaksi M-N antara ρg = 0,02 dan 0,03. Proyeksi titik potong ρg dengan garis  pada sumbu tegak *(vertikal)* akan didapat :

(Lihat grafik)  φPnb= 0,41. (0,65.0,85. 30. 160000).10-3  φPnb = 1087,32 kN * Proyeksi titik potong ρg dengan garis  pada sumbu mendatar *(horizontal)* akan didapat :

(Lihat grafik) Mnb=0,248.(0,65.0,85. 30.160000).10-3Mnb = 263,078 kNm * Proyeksi titik potong ρg dengan garis dengan garis , kemudian titik potong tersebut diproyeksikan pada sumbu tegak *(vertikal)* akan didapat :

(Lihat grafik) Pn = 0,72. ( 0,85. 30. 160000).10-3  = 2937,6 kN φ Pn = 2937,6 x 0,65 = 1909,44 kNφ Pn = 1909,44 kN > Pu = 1500 kN**(AMAN)*** Proyeksi titik potong ρg dengan garis  pada sumbu mendatar *(horizontal)* akan didapat :

(Lihat grafik)MR = φ Pu (e) = φ Pn (e)  = 0,19.( 0,65. 0,85. 30. 160000. 400).10-6 MR = 201,552 kNm > Mu = 160 kNm**(AMAN)**Dengan demikian ukuran penampang kolom tersebut dapat digunakan. |