BAB II

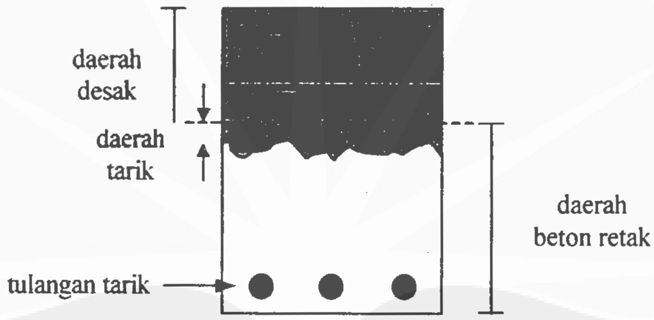
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton bertulang merupakan gabungan antara beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik rendah, yaitu 10%-15% kuat tekannya (Wang dan Salmon, 1986, hal 11), dan batangan-batangan baja yang memberi sumbangan cukup besar untuk menahan gaya tarik yang diperlukan. Dengan demikian terdapat 2 unsur bahan utama yang berbeda sifatnya, membentuk mekanisme kerjasama struktural di dalam komponen-komponen struktur. Susunan bahan yang demikian dinamakan bahan komposit, dan untuk menghitung momen inersia penampang retak beton bertulang yang merupakan bahan komposit digunakan metode transformasi luas penampang bahan (Badan Penerbit Universitas Semarang, 1999, hal 244).

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.1 (Dipohusodo, 1999, hal 268) mensyaratkan bahwa setiap komponen struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja padanya. Atau dengan kata lain, struktur dan komponennya harus direncanakan sehingga penampangnya mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasar kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai.

Disamping itu, komponen struktur harus memenuhi kemampuan kelayanan pada tingkat beban kerja (layan), atau mampu menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada strata beban kerja. Pada strata beban kerja, awalnya komponen struktur beton terlentur masih berperilaku elastis tetapi kemudian mengalami retak di daerah tarik pada saat momen yang bekerja sedemikian besar (Gambar 2.1.), sehingga menimbulkan timbulnya tegangan tarik melampaui kuat tarik beton. Dengan demikian, momen inersia terhadap garis netral penampang retak ditentukan berdasarkan anggapan bahwa beton di daerah tarik telah retak seperti terlihat pada Gambar 2.1, sehingga beton tidak memiliki kekuatan tarik lagi.



Gambar 2.1. Penampang beton retak daerah tarik

Batang-batang elemen struktur beton bertulang satu sama lain biasanya dihubungkan dengan sambungan kaku. Akibat dari gaya-gaya luar struktur, maka pada setiap batang elemen struktur akan bekerja gaya-gaya internal yang berupa gaya aksial, gaya lintang, dan momen. Analisis gaya-gaya internal ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain:

a. metoda *slope deflection*

b. metoda distribusi momen

c. metoda matrik kekakuan

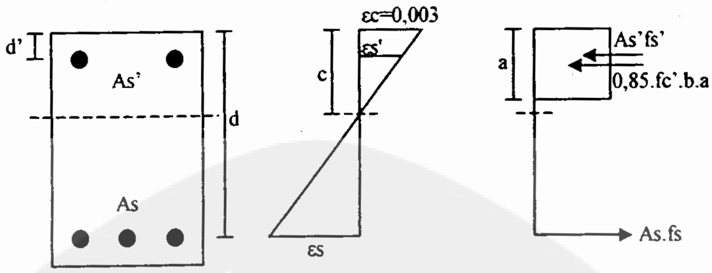
Dalam analisa struktur umumnya hubungan antara tegangan dan regangan (juga hubungan antara beban dan deformasi) dianggap berperilaku secara linier sesuai dengan hokum Hooke (Sarjono, 1998, hal 2.3)

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Penulangan rangkap balok

Seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok. Salah satu usahanya adalah sebuah perencanaan balok bertulangan rangkap seperti tergambar pada Gambar 2.2, dimana tulangan didaerah tarik akan berlaku sebagai tulangan tarik, dan tulangan desak pada daerah beton desak yang bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.

Dari analisis struktur diperoleh momen ultimit yang terjadi yang digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkap struktur balok. Pada umumnya digunakan nilai momen yang ekstrim sehingga dapat dihasilkan struktur balok yang mampu menahan momen yang terjadi.



Gambar 2.2. Distribusi regangan balok tulangan rangkap

εs = regangan tulangan tarik = fs/Es   εs'= regangan tulangan desak = fs'/Es
εs' = regangan tulangan desak = fs'/Es
Es = modulus elastisitas baja (Mpa)
fs = tegangan tulangan tarik (Mpa)   fs' = tegangan tulangan desak (Mpa)
As = luas tulangan tarik (mm^2)   As' = luas tulangan desak (mm^2)
d = jarak pusat massa tulangan tarik dari tepi luar beton desak (mm)
= h – selimut beton – Ø sengkang - ½ Ø tulangan (pusat massa tulangan)
d' = jarak pusat massa tulangan desak dari tepi luar beton desak (mm)
= selimut beton + Ø sengkang + ½ Ø tulangan (pusat massa tulangan)
c = jarak garis netral dari tepi luar beton desak (mm)
a = tinggi blok tegangan ekivalen (mm) = β1.c
b = lebar balok (mm)
β1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton
nilai β1 = 0,85 untuk fc' ≤ 30 Mpa
β1 = 0,85-0,008.(fc'-30) untuk fc' > 30 Mpa
fc'= kuat tekan beton (Mpa)   fy = tegangan luluh baja (Mpa)

Perencanaan balok bertulangan rangkap diawali dengan:

Menentukan letak garis netral

Kondisi 1: Tulangan baja tarik dan tekan telah luluh

Pada kondisi tulangan baja tarik maupun desak berada pada kondisi luluh (εs>εy, εs'>εy). Sehingga diperoleh tegangan baja tarik dan baja desak yang bernilai sama dengan tegangan luluh baja (fs=fs'=fy).

Letak garis netral

Momen lawan

Mr = Ø (Mn1+Mn2)

dengan Mr = Mu (Momen ultimit), maka

$$Mu = Ø\ (Mn1+Mn2)$$

$$\frac{Mu}{Ø} = \left(0{,}85.fc'.a.b.(d-\frac{a}{2}) + As'.fs'.(d-d')\right) \text{ dengan } Ø = 0{,}8$$

$$1{,}25Mu - As'.fs'.(d-d') = 0{,}85.fc'.a.b.(d-\frac{a}{2})$$

$$\frac{1{,}25Mu - As'.fs'.(d-d')}{0{,}85.fc'b} = a.(d-\frac{a}{2})$$

$$\frac{a^2}{2} - a.d + \left(\frac{1{,}25Mu - As'.fs'.(d-d')}{0{,}85.fc'b}\right) = 0$$

$$a^2 - 2a.d + 2k = 0$$

penyelesaian persamaan kuadrat menjadi:

$$a = d \pm \sqrt{(d^2 - 2k)} \qquad (2\text{-}1)$$

dengan $k = \dfrac{1{,}25Mu - As'fs'(d-d')}{0{,}85.fc'b}$ untuk c>d'

$k = \dfrac{1{,}25Mu + As'fs'(d-d')}{0{,}85.fc'b}$ untuk c<d'

dan $c = \dfrac{a}{\beta_1}$ (2-2)

Periksa regangan yang terjadi

$$\varepsilon s = \frac{d-c}{c}(0{,}003) \qquad (2\text{-}3)$$

jika c≥d' maka $\varepsilon s' = \dfrac{c-d'}{c}(0{,}003)$ (2-4)

c<d' maka $\varepsilon s' = \dfrac{d'-c}{c}(0{,}003)$ (2-5)

$$\varepsilon y = \frac{fy}{Ec} \tag{2-6}$$

Jika didapat εs>εy, εs'>εy maka asumsi awal sudah benar.

Kondisi 2: Tulangan baja tarik berada pada kondisi luluh, dan tulangan baja desak belum mencapai luluh (εs>εy, εs'<εy (fs=fy))

Pada kondisi ini tulangan baja tarik telah luluh, sedangkan pada baja tulangan desak belum mencapai luluh (εs>εy, εs'<εy). Dengan demikian hanya tegangan baja tarik yang bernilai sama dengan tegangan luluh baja (fs=fy), sedang tegangan baja desak tergantung pada nilai regangan yang dihasilkan.

Letak garis netral

Momen lawan

Mu = Ø (Mn1+Mn2)

$$\frac{Mu}{Ø} = \left(0{,}85.fc'.a.b.(d-\frac{a}{2}) + As'.fs'.(d-d')\right) \text{ dengan } Ø = 0{,}8$$

$$\text{dimana } fs' = \frac{c - d'}{c}(0{,}003).Ec$$

$$\text{untuk } Ec = 200.000 \text{ Mpa, maka } fs' = \frac{c - d'}{c}.600$$

$$1{,}25Mu - As'.\frac{c - d'}{c}.600.(d-d') - 0{,}85.fc'.\beta1.c.b.(d-\frac{\beta1.c}{2})$$

selanjutnya mengalikan persamaan dengan c maka didapat:

$$0{,}5.\beta1.c^3 - d.c^2 - \left[\frac{As'.600.(d-d') - 1{,}25.Mu.}{0{,}85.fc'b.\beta}\right].c + \frac{As'.600.(d-d')d'}{0{,}85.fc'b.\beta} = 0$$

……..(2-7)

dengan cara *Trial and error* dicari besar nilai c.

Selanjutnya periksa regangan yang terjadi

dengan cara yang sama seperti pada persamaan (2-3),(2-4),(2-5), serta (2-6). Jika didapat $\varepsilon s>\varepsilon y$, $\varepsilon s'<\varepsilon y$ maka asumsi sudah benar.

Menentukan As perlu

Untuk menghasilkan tulangan tarik efektif, perlu diperhitungkan dengan cara:

Keseimbangan gaya.

$N_T = N_d1 - N_d2$

$As.fy = 0.85.fc'.b.a - As'.fs'$

Sehingga As perlu dapat dicari dengan persamaan:

$$As_{perlu} = \frac{0.85.fc'.b.a + As'.fs'}{fy} \quad \text{untuk } c>d' \qquad (2\text{-}8)$$

$$As_{perlu} = \frac{0.85.fc'.b.a - As'.fs'}{fy} \quad \text{untuk } c<d' \qquad (2\text{-}9)$$

Periksa momen tahanan yang terjadi

Pemeriksaan momen tahanan perlu dilakukan untuk memastikan secara benar bahwa desain penulangan dapat menahan momen struktur yang terjadi.

Menentukan letak garis netral

Jika $\varepsilon s>\varepsilon y$, $\varepsilon s'>\varepsilon y$

$N_T = N_d1 - N_d2$

$As.fy = 0.85.fc'.b.\beta_1.c + As'.fs'$

$$c = \frac{As.fy - As'.fs'}{0,85.fc'.b.\beta_1} \qquad (2\text{-}10)$$

diasumsikan c≥d', sehingga fs'= fy dan fs = fy

jika ternyata c<d', maka fs'= -fy dan fs = fy,

As' = As1= luas tulangan tarik atas

Periksa kembali regangan yang terjadi dengan persamaan (2-3),(2-4),(2-5), serta (2-6).

Jika εs>εy, εs'<εy

$N_T = N_d1 + N_d2$

$As.fy = 0,85.fc'.b.\ \beta_1.c + As'.fs'$

$$As.fy = 0,85.fc'.b.\ \beta_1.c + As'.\left\{\frac{c - d'}{c}(0,003)\right\}Es$$

Dengan Es = 200.000 Mpa dan persamaan dikalikan dengan c, maka

$\{0,85.fc'.b.\ \beta_1\}c^2 + \{600.As' - As.fy\}c - 600.d'.As' = 0$

dengan penyelesaian pangkat dua didapat:

$$c = \pm\sqrt{(Q + R^2)} - R \qquad (2\text{-}11)$$

$$R = \frac{600.As' - As.fy}{1,7\,fc'.b.\beta_1} \qquad \text{dan} \qquad Q = \frac{600.d'.As'}{0,85.fc'.b.\beta_1}$$

Periksa kembali regangan yang terjadi

Regangan yang terjadi dapat dicari dengan persamaan (2-3),(2-4),(2-5),(2-6).

Momen tahanan balok

$$M_R = \emptyset\{0,85.fc'.b.\beta_1.c^2.(1 - \frac{\beta_1}{2}) + As'.fs'(c - d') + As.fy.(d - c)\} \qquad (2\text{-}12)$$

M_R = Momen rencana tahanan (kNm)

Jika εs>εy, εs'>εy maka fs=fs'=fy

Jika $\varepsilon s > \varepsilon y$. $\varepsilon s' < \varepsilon y$ maka $fs' = (\frac{c-d'}{c})0.003.Es$ jika c>d'

$$fs' = (\frac{d'-c}{c})0.003.Es \quad \text{jika } c<d'$$

Kontrol M_R terhadap Mu

$$M_R > Mu \qquad (2\text{-}13)$$

Jika ternyata M_R tidak lebih besar dari Mu, maka perencanaan harus diulang dari awal.

2.2.2. Penulangan kolom

Kolom merupakan komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal. Kolom menempati peran yang penting didalam sistem struktur bangunan. Kehancuran kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur secara keseluruhan, untuk itu perencanaan kolom harus dihitung secara cermat dengan memberi cadangan kekuatan lebih tinggi.

Menentukan jumlah tulangan

Untuk menghitung penulangan kolom dapat digunakan bantuan grafik dan tabel perhitungan beton bertulang (Vis dan Kusuma, 1993, hal 85 dan 91) dengan tegangan luluh baja (fy) dan nilai perbandingan (d'/h) yang telah direncanakan sebelumnya.

Langkah-langkah perhitungan dapat dijelaskan sebagai berikut:

Hitung:

$$\frac{Nu}{\varnothing.Ag.0.85.fc'} \qquad (2\text{-}14)$$

$\varnothing = 0.65$ jika hasil persamaan (2-14) > 0.1

$\varnothing = 0.8$ jika hasil persamaan (2-14) < 0.1

Hitung:

$$\frac{Nu}{\varnothing.Ag.0,85.fc'} x \frac{et}{h} \qquad (2\text{-}15)$$

dengan $et = \dfrac{\text{Mu (momen ultimit)}}{\text{Nu (gaya aksial ultimit)}}$ dan, et min = (15 + 0,03.h)

dimana, Ø = faktor reduksi kekuatan
et = eksentrisitas kolom (mm)
Ag = luas penampang beton kolom (mm^2)
h = tinggi kolom (mm)

Menentukan r dengan bantuan grafik dan tabel perhitungan beton bertulang (Vis dan Kusuma, 1993, hal 85 dan 91) dengan tegangan luluh baja (fy) dan nilai perbandingan (d'/h) yang telah direncanakan sebelumnya

Menentukan rasio penulangan (ρ):

$$\rho = r.\beta \qquad (0{,}01 \le \rho \le 0{,}08) \qquad (2\text{-}16)$$

dengan ρ min = 0,01

nilai konstanta kuat kelas beton (β) tergantung dari kuat tekan beton (fc') yang digunakan, dapat dilihat dari grafik dan tabel perhitungan beton bertulang (Vis dan Kusuma, 1993, hal 85 dan 91)

Menentukan As perlu:

$$As\ perlu = \rho.Ag \quad (2\text{-}17)$$

Menentukan jumlah tulangan:

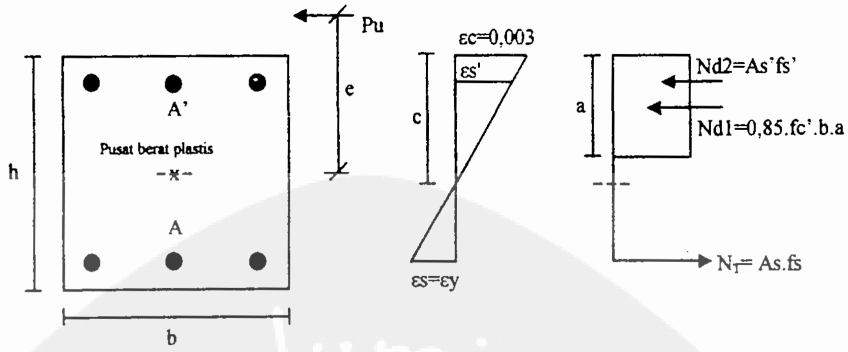
$$n = \frac{As}{A.1.tul} \qquad n = \text{jumlah tulangan yang dibutuhkan} \quad (2\text{-}18)$$

dengan tulangan minimum adalah 4 tulangan untuk kolom persegi, dan 6 tulangan untuk kolom bulat.

Selain dengan bantuan grafik dan tabel, untuk membantu dalam perencanaan digunakan pula program IKOLAT (Wigroho, 2001).

Kontrol gaya aksial serta momen tahanan kolom

Untuk menghitung kekuatan tahanan kolom, perlu diperhitungkan pula terhadap eksentrisitas kolom. Eksentrisitas berperan besar dalam menentukan letak garis netral yang terjadi. Gambar 2.3 menjelaskan pendistribusian regangan dengan adanya eksentrisitas.



Gambar 2.3. Distribusi regangan kolom dengan eksentrisitas

εs = regangan tulangan tarik = fs/Es   εs'= regangan tulangan desak = fs'/Es
εs' = regangan tulangan desak = fs'/Es
Es = modulus elastisitas baja (Mpa)
fs = tegangan tulangan tarik (Mpa)   fs' = tegangan tulangan desak (Mpa)
As = luas tulangan tarik (mm^2)   As' = luas tulangan desak (mm^2)
d = jarak pusat massa tulangan tarik dari tepi luar beton desak (mm)
= h selimut beton – Ø sengkang - ½ Ø tulangan (pusat massa tulangan)
d' = jarak pusat massa tulangan desak dari tepi luar beton desak (mm)
= selimut beton + Ø sengkang + ½ Ø tulangan (pusat massa tulangan)
c = jarak garis netral dari tepi luar beton desak (mm)
e = eksentrisitas kolom (mm)
a = tinggi blok tegangan ekivalen (mm) = β1.c
b = lebar balok (mm)
β1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton
nilai β1 = 0,85 untuk fc' ≤ 30 Mpa
β1 = 0,85-0,008.(fc'-30) untuk fc' > 30 Mpa
fc'= kuat tekan beton (Mpa)   fy = tegangan luluh baja (Mpa)

Kolom dengan eksentrisitas kecil

Kolom yang menopang eksentrisitas kecil analisisnya dilakukan dengan pemeriksaan terhadap kekuatan maksimum beban yang tersedia dan berbagai detail rencana penulangannya (pembatasan jumlah dan jarak antar tulangan) (Dipohusodo, 1999, hal 295).

Kolom eksentrisitas kecil ditandai dengan letak garis netral yang berada dibawah tulangan tarik (c>d). SK-SNI T-15-1991-03 (3.3-2) (Dipohusodo, 1999, hal 291), memberikan persamaan kuat aksial dengan penulangan sengkang sebagai berikut:

$$\varnothing Pn(maks) = 0{,}8.\varnothing.\{0{,}85.fc'.(Ag - Ast) + fy.Ast\} \qquad (2\text{-}19)$$

dimana, Ast = luas seluruh baja tulangan (mm^2)

persamaan (2-19) berlaku baik untuk kolom persegi ataupun kolom bulat.

besar nilai faktor reduksi kekuatan (Ø) untuk kolom sengkang diberikan:

$$\varnothing = 0{,}65 \text{ untuk } \varnothing.Pn > 0{,}1.Ag.fc' \qquad (2\text{-}20)$$

$$\varnothing = 0{,}8 - \frac{0{,}2.\varnothing.Pn}{0{,}1.fc'.Ag} \geq 0{,}65$$

$$\varnothing = \frac{0{,}08.fc'.Ag}{(0{,}2.Pn + 0{,}1.fc'.Ag).} \geq 0{,}65 \text{ jika } 0{,}65\ Pn < 0{,}1\ Ag\ fc' \qquad (2\text{-}21)$$

Kolom dengan eksentrisitas besar

Kolom persegi

Kolom eksentrisitas besar ditandai dengan luluhnya tulangan baja tarik, dengan demikian berarti εs>εy (fs=fy), sedangkan untuk tulangan baja tekan dapat dalam kondisi luluh ataupun belum luluh.

Pada kondisi seimbang, yaitu ketika regangan beton di serat tepi terdesak mencapai 0,003 dan bersamaan pula tegangan pada batang tulangan baja tarik mencapai tegangan luluhnya.

sehingga letak garis netral adalah:

$$\frac{c}{0{,}003} = \frac{d - c}{\varepsilon y} \qquad \text{dimana } \varepsilon y = \frac{fy}{Es}$$

$$c.fy = (d - c).0{,}003.Es = (d - c).600 \quad \text{untuk Es=200.000 Mpa}$$

$$c.fy + 600.c = 600.d$$

$$c = \frac{600.d}{fy + 600} \quad \text{dan} \quad a = \beta 1.c \qquad (2\text{-}22)$$

periksa tegangan yang terjadi:

$$fs' = 0{,}003.(Ec).\left(\frac{c-d'}{c}\right)$$

keseimbangan gaya:

$$\varnothing\ Pn = \varnothing\ .\{N_{d1}+N_{d2}-N_T\}$$

$$\varnothing\ Pn = \varnothing.\{0{,}85.fc'.b.a+As'fs'-As.fs\} \qquad (2\text{-}23)$$

besar nilai reduksi kekuatan (Ø) sama seperti yang telah diberikan pada persamaan (2-20) dan

(2-21):

$$\varnothing = 0{,}65 \text{ untuk } \varnothing.Pn>0{,}1.Ag.fc' \qquad (2\text{-}20)$$

$$\varnothing = 0{,}8 - \frac{0{,}2.\varnothing.Pn}{0{,}1.fc'.Ag} \geq 0{,}65$$

$$\varnothing = \frac{0{,}08.fc'.Ag}{(0{,}2.Pn + 0{,}1.fc'.Ag).} \geq 0{,}65 \quad \text{jika } 0{,}65\ Pn < 0{,}1\ Ag\, fc' \qquad (2\text{-}21)$$

<u>Kodisi 1: Ø Pn < Pu</u>

Kondisi dimana kolom akan mengalami hancur diawali hancurnya beton di daerah tekan. Whitney (Dipohusodo, 1999, hal 320) memberikan persamaan gaya aksial untuk penampang persegi dengan hancur tekan:

$$Pn = \frac{As'.fy}{\frac{e}{(d-d')} + 0{,}5} + \frac{b.h.fc'}{\frac{3.h.e}{d^2} + 1{,}18} \qquad (2\text{-}24)$$

Kondisi 2: Ø Pn > Pu

Kondisi dimana kolom mengalami kehancuran diawali dengan luluhnya tulangan tarik, sehingga εs>εy (fs=fy).

Untuk εs'>εy (fs'=fy)

Dari keseimbangan gaya:

$Ø\ Pn = Ø\ .\{N_{d1}+N_{d2}-N_T\}$

$Ø\ Pn = Ø.\{0{,}85.fc'.b.a+As'fs'-As.fs\}$

Apabila penulangan kolom direncanakan simetris pada 2 sisi, sehingga

As=As' dan fs'=fy.

sehingga didapat:

$Pn = 0{,}85.fc'.b.a$

keseimbangan momen terhadap pusat plastis (titik berat geometris)

$$Mn = Pn.e = 0{,}85.fc'b.a.\left(\frac{h}{2}-\frac{a}{2}\right)+As'fy.\left(\frac{h}{2}-d'\right)+As.fy.\left(d-\frac{h}{2}\right)$$

$$Pn.e = 0{,}85.fc'b.a.\left(\frac{h}{2}-\frac{a}{2}\right)+As.fy.(d-d')$$

dengan disubstitusikan dengan Pn pada persamaan sebelumnya diperoleh:

$$Pn.e = Pn.\left(\frac{h}{2}-\frac{Pn}{1{,}7.fc'b}\right)+As.fy.(d-d')$$

$$\frac{(Pn)^2}{1{,}7.fc'b}-Pn.\left(\frac{h}{2}-e\right)-As.fy.(d-d')$$

penyelesaian pangkat 2 didapat:

$$Pn. = 0{,}85.fc'b.\left[\left(\frac{h}{2}-e\right)+\sqrt{\left(\frac{h}{2}-e\right)^2+\frac{2.As.fy.(d-d')}{0{,}85.fc'b}}\right]$$

atau

$$Pn. = 0,85.fc'.b.d\left[\left(\frac{h-2e}{2d}\right)+\sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d}\right)^2+2.m.\rho.\left(1-\frac{d'}{d}\right)}\right] \qquad (2\text{-}25)$$

dengan $m = \frac{fy}{0{,}85.fc'.}$ dan $\rho = \frac{As}{b.d}$

periksa tegangan tulangan desak:

$$a = \frac{Pn}{0{,}85.fc'.b} \qquad (2\text{-}26)$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} \qquad (2\text{-}27)$$

$$fs' = 0{,}003.(Ec).\left(\frac{c-d'}{c}\right) \qquad (2\text{-}28)$$

jika fs'>fy maka tulangan desak telah luluh, dan asumsi awal sudah benar (fs'=fy).

<u>Untuk εs'<εy (fs'<fy)</u>

Besarnya gaya aksial didapat:

$$Pn = As'(\frac{c-d'}{c}).600 + 0{,}85.fc'.b.\beta.c - As.fy \qquad (2\text{-}29)$$

Momen yang terjadi:

$$Mn = Pn.(e+d-0{,}5h) = As'(\frac{c-d'}{c}).600.(d-d') + 0{,}85.fc'.b.\beta.c.(d-\tfrac{1}{2}.\beta.c)$$

Substitusi dengan persamaan (2-27) didapat:

$$As'(\frac{c-d'}{c}).600.(e-\tfrac{1}{2}.h+d') + 0{,}85.fc'.b.\beta.c.(e-\tfrac{1}{2}.h+\tfrac{1}{2}.\beta.c) -$$

$$As.fy.(e+d-\tfrac{1}{2}.h) = 0$$

$$0{,}5.\beta.c^3 + (e - \tfrac{1}{2}.h).c^2 + \left[\frac{As'.600.(e - \tfrac{1}{2}.h + d') - As.fy.(e + d - \tfrac{1}{2}.h)}{0.85.fc'.b.\beta}\right]c -$$

$$\frac{600.As'd'(e - \tfrac{1}{2}.h + d')}{0{,}85.fc'.b.\beta} = 0 \qquad (2-30)$$

dengan cara *trial and error*, dicari nilai c.

Periksa tegangan tulangan desak:

$$fs' = 0{,}003.(Ec).\left(\frac{c - d'}{c}\right) \qquad (2\text{-}31)$$

jika fs'<fy maka tulangan desak belum luluh. dan asumsi awal sudah benar (fs'<fy).

Besarnya gaya aksial tahanan dihitung dengan persamaan (2-27).

$$Pn = As'(\frac{c - d'}{c}).600 + 0{,}85.fc'.b.\beta.c - As.fy$$

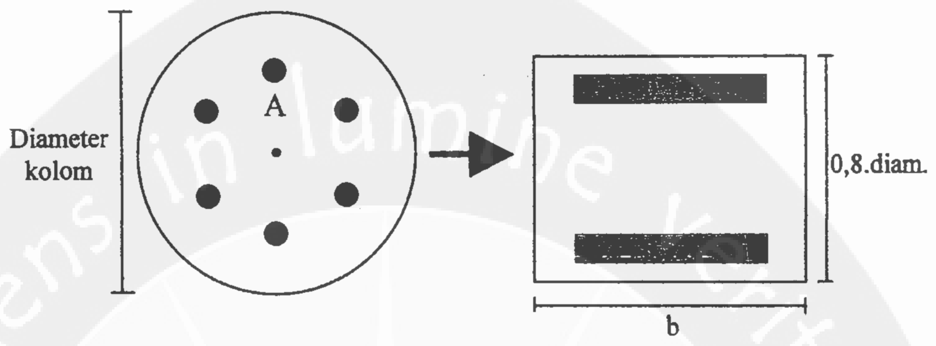
Kolom bulat

Dalam pemeriksaan kuat tahanan kolom bulat. pendekatan dilakukan dengan menggunakan metode luas penampang kolom persegi ekivalen. Sehingga dengan demikian penampang bulat ditransformasikan menjadi kolom segi empat ekivalen sebagaimana tampak pada Gambar 2.4. Agar kehancuran kolom ditentukan oleh gaya tekan. ekivalensi dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut (Dipohusodo, 1999. hal 317):

1. Tebal kolom segi empat ekivalen diambil = 0,8.(Diam.kolom)

2. Lebar kolom segi empat ekivalen diberikan: $b = \dfrac{Ag}{0{,}8.h}$

3. Luas tulangan total Ast ekivalen ditentukan dengan menmpatkan seluruh tulangan total pada 2 lapis sejajar berjarak 1/3 (2Ds), dimana Ds adalah diameter lingkaran tulangan terluar dari pusat ke pusat.



Gambar 2.4. Kolom bulat ditransformasikan menjadi kolom persegi ekivalen

Dengan berdasar pada penampang segi empat ekivalen tersebut, untuk analisis selanjutnya dapat dilakukan seperti pada kolom segi empat. Whitney (Dipohusodo, 1999, hal 320) juga memberikan persamaan pendekatan empiris untuk kolom bulat:

Kolom bulat dengan hancur tekan (Ø Pn < Pu)

$$Pn = \frac{As.fy}{\frac{3.e}{(d-d')}+1} + \frac{Ag.fc'}{\frac{9{,}6.h.e}{(0{,}8.h+0{,}67.ds)^2}+1{,}18} \qquad (2\text{-}32)$$

Kolom bulat dengan hancur tarik (Ø Pn > Pu)

$$Pn = 0{,}85.fc'.h^2\left\{\sqrt{\left(\frac{0{,}85.e}{h}-0{,}38\right)^2+\frac{\rho g.m.Ds}{2{,}5.h}}-\left(\frac{0{,}85.e}{h}-0{,}38\right)\right\} \qquad (2\text{-}33)$$

Kontrol gaya aksial dan momen tahanan kolom:

$$P_R = Ø\ Pn > Pu \qquad (2\text{-}34)$$

$$M_R = P_R\ x\ e > Mu \qquad (2\text{-}35)$$

besar nilai faktor reduksi kekuatan (Ø) untuk kolom sengkang diberikan sama seperti (2-20) dan (2-21):

$$\varnothing = 0{,}65 \text{ untuk } \varnothing.Pn>0{,}1.Ag.fc' \qquad (2\text{-}20)$$

$$\varnothing = 0{,}8 - \frac{0{,}2.\varnothing.Pn}{0{,}1.fc'.Ag} \geq 0{,}65$$

$$\varnothing = \frac{0{,}08.fc'.Ag}{(0{,}2.Pn + 0{,}1.fc'.Ag).} \geq 0{,}65 \quad \text{jika } 0{,}65\,Pn < 0{,}1\,Ag\,fc' \qquad (2\text{-}21)$$

Jika ternyata P_R dan atau M_R tidak lebih besar dari Pu serta Mu, maka luas tulangan harus diperbesar.

2.2.3. Penampang transformasi

Dalam perencanaan luas dan momen inersia transformasi perlu diperhitungkan adanya tulangan dan peniadaan beton tarik (sudah hancur). Dengan demikian perlu adanya penyesuaian secara teoritis antara tulangan baja yang dialih fungsikan sebagai beton fiktif yang setara, seperti terlihat pada Gambar 2.5 dengan berbagai koefisien pembanding sebagai berikut:

Nilai n :

$$n = \frac{Es}{Ec} \qquad (2\text{-}36)$$

n = nilai banding modulus elastisitas antara baja dengan beton

Es = modulus elastisitas baja (Mpa)

Ec = modulus elastisitas beton (Mpa)

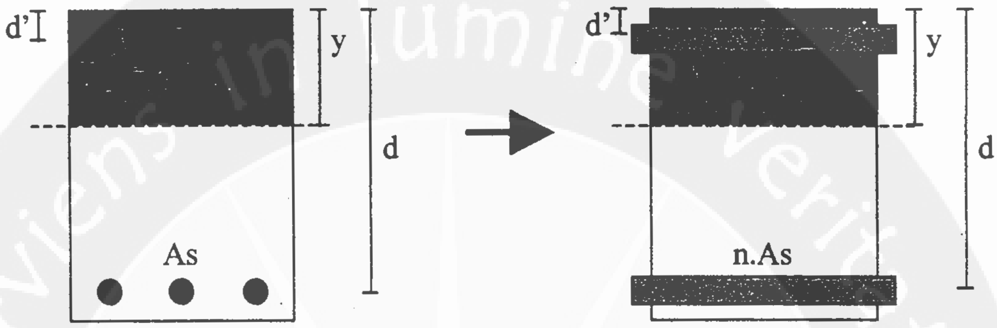
Luas tulangan tarik transformasi

$A = n.As,$ As = Luas tulangan tarik (mm^2)

Luas tulangan desak transformasi

$A' = n.As'$ As'= Luas tulangan desak (mm^2)

secara teoritis tulangan baja digantikan fungsinya oleh suatu luasan beton fiktif yang setara.

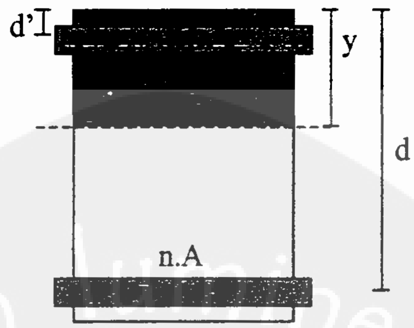


Gambar 2.5. Tulangan baja diganti dengan *luasan beton fiktif setara*

n = nilai banding modulus elastisitas antara baja dengan beton
Es = modulus elastisitas baja (Mpa) Ec = modulus elastisitas beton (Mpa)
As = luas tulangan tarik (mm^2) As' = luas tulangan desak (mm^2)
d = jarak pusat massa tulangan tarik dari tepi luar beton desak (mm)
= h – selimut beton – Ø sengkang - ½ Ø tulangan (pusat massa tulangan)
d' = jarak pusat massa tulangan desak dari tepi luar beton desak (mm)
= selimut beton + Ø sengkang + ½ Ø tulangan (pusat massa tulangan)
y = jarak garis netral dari tepi luar beton desak (mm)

2.2.3.1. Penampang persegi

Penampang persegi transformasi seperti pada Gambar 2.6, akan digunakan untuk struktur balok maupun kolom. Sebagai catatan, untuk struktur kolom direncanakan tanpa eksentrisitas (e=o) sehingga jalannya analisis dapat dipermudah.



Gambar 2.6. Penampang persegi transformasi

Jarak garis netral dari tepi beton desak:

$$\left(\frac{1}{2}b\right)y^2 + (n.As'+n.As)y - (n.As'.d'+n.As.d) = 0$$

Persamaan tersebut dapat disederhanakan dengan rumus akar persamaan pangkat 2 :

$$y = \frac{n.As'+n.As}{b}\left(\sqrt{\frac{2b(n.As'.d'+n.As.d)}{(n.As'+n.As)^2}+1}-1\right) \qquad (2\text{-}37)$$

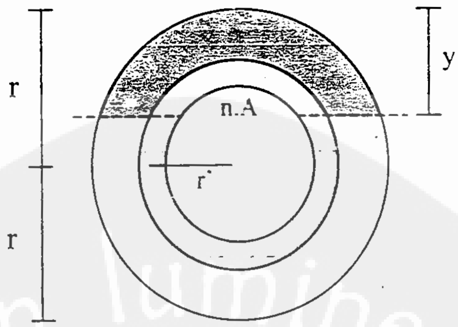
Luas dan momen inersia transformasi tampangnya

$$A_T = b.y + n.As' + n.As \qquad (2\text{-}38)$$

$$I_T = \frac{1}{3}b.y^3 + n.As'(y-d')^2 + n.As(d-y)^2 \qquad (2\text{-}39)$$

2.2.3.2. Penampang bulat

Penampang bulat transformasi yang nampak pada Gambar 2.7. hanya akan digunakan untuk struktur kolom. Sama halnya dengan kolom persegi, untuk struktur kolom bulat juga direncanakan tanpa eksentrisitas (e=o).



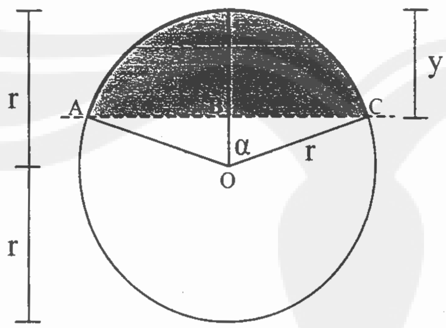
Gambar 2.7. Penampang bulat transformasi

Jarak garis netral dari tepi beton desak:

$$(r^2(\alpha - \sin\alpha.\cos\alpha))(y - r) + \frac{2}{3}r^3(\sin^3\alpha) + n.As.(y - r) = 0 \qquad (2\text{-}40)$$

dimana:

$$\sin\alpha = \frac{BC}{r} = \frac{\sqrt{-y^2 + 2r.y}}{r}; \quad \cos\alpha = \frac{OB}{r} = \frac{r - y}{r};$$



$$\alpha = \left(\frac{arc\ \cos\left(\frac{r - y}{r}\right)}{180} \right)\pi$$

Gambar 2.8. Sudut α dalam penampang kolom bulat

Luas dan momen inersia transformasi tampangnya

$$A_T = r^2(\alpha\text{-}\sin\alpha.\cos\alpha) + n.As \qquad (2\text{-}41)$$

$$I_T = r^2(\alpha - \sin\alpha.\cos\alpha).\left[y - r + \frac{2r}{3}\left(\frac{\sin^3\alpha}{\alpha - \sin\alpha.\cos\alpha}\right)\right]^2 +$$

$$\frac{r^4}{4}(\alpha - \sin\alpha.\cos\alpha + 2\sin^3\alpha.\cos\alpha) + n.As.(r - y)^2 \qquad (2\text{-}42)$$