

## BAB IV

### LANGKAH-LANGKAH PERHITUNGAN

#### 4.1. ANALISIS DAN PERANCANGAN PELAT

Pelat merupakan struktur dari beton bertulang yang memiliki sifat dan perilaku khusus. Sebelum dilakukan perencanaan balok dan kolom, biasanya dilakukan perancangan struktur pelat terlebih dahulu. Hal yang harus diperhatikan dalam perancangan struktur pelat antara lain : pembebanan, ukuran pelat dan syarat-syarat tumpuan tepi.

Syarat tumpuan tepi akan menentukan jenis perletakan dan jenis ikatan ditempat tumpuan. Jenis pelat yang paling sederhana adalah pelat satu arah yaitu pelat yang didukung pada dua sisi yang berhadapan sehingga lenturan timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu tegak lurus pada arah sisi dukungan tepi. sedangkan pelat dua arah adalah pelat yang didukung pada keempat sisinya yang lenturannya akan timbul dalam dua arah yang saling tegak lurus.

##### A. Menentukan Tebal Pelat

Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 bahwa tebal pelat minimum diambil rumus :  $h_{min} = l_n / 28 (0,4 + f_y/700)$

Dimana :  $h_{min}$  = Tebal pelat minimum

$l_n$  = Panjang bersih bentang yang terpanjang

$f_y$  = Tegangan leleh baja

##### B. Penentuan Selimut Beton

Penutup beton atau selimut beton digunakan untuk melindungi baja tulangan dengan persyaratan bahwa lapisan beton itu harus menjamin penanaman tulangan serta lekatannya dengan beton, menghindari korosi yang mungkin terjadi dan meningkatkan perlindungan struktur terhadap bahaya

kebakaran. Tebal selimut beton sangat berpengaruh pada dua besaran yang mempunyai peranan penting dalam perencanaan balok yaitu  $h$  dan  $d$ . Hubungan kedua besaran tersebut dalam sebuah balok secara umum ditentukan oleh :

$$h = d + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul utama}} + \emptyset_{\text{tul sengkang}} + P$$

dimana :

$d$  = Tinggi efektif (jarak dari serat tekan ke titik berat tulangan tekan )

$p$  = Tebal penutup beton untuk menutup tulangan terluar

$\emptyset_{\text{tul utama}}$  = Diameter tulangan utama

$\emptyset_{\text{tul sengkang}}$  = Diameter tulangan sengkang

### C. Check Kapasitas Geser Pelat

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.1.1, gaya lintang yang bekerja pada penampang yang ditinjau harus direncanakan sehingga  $V_u \leq \phi V_n$ . Bila nilai-nilai  $\phi V_c$  yang didapat lebih kecil daripada  $V_u$ , maka penampang beton saja tidak kuat untuk menahan tegangan geser. Jadi bila  $V_u > \phi V_c$  perlu diberi tulangan tambahan, baik berupa sengkang vertikal atau tulangan rangkap dikombinasikan dengan batang yang dibengkok (Gideon DDPBB hal 125).

Rumus umum yang digunakan :  $\phi V_c > V_u$  , apabila rumus diatas terpenuhi, maka tidak perlu adanya tulangan geser.

dimana :  $V_u = V_u/bd$  ,  $V_c = 0,6 \times \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b \times w \times d$  ,  $V_u$  = Gaya lintang

$\phi$  = Faktor reduksi sebesar 0,6 (SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3.2)

Apabila diperlukan tulangan geser, maka diambil tulangan sebagai berikut ;

$$A_{S_{\text{sengkang min}}} = \frac{b y}{e f_y}$$

$$Y = (V_u - \phi V_c) / W_u$$

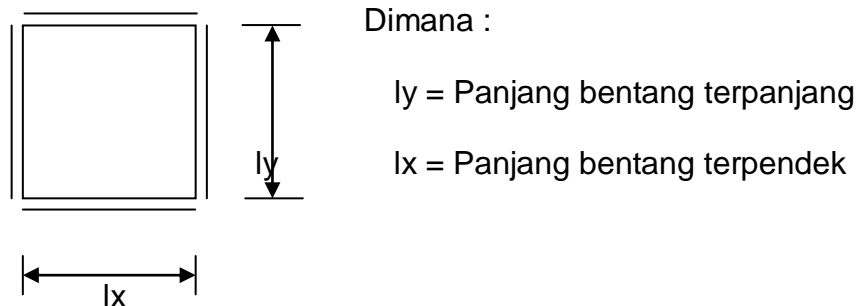
$$\phi V_c = \phi V_c b d$$

Untuk perhitungan sengkang total digunakan rumus :

$$AS_{\text{sengkang}} = \frac{(V_u - \phi V_c) \text{rata-rata} \times b_y}{\phi f_y}$$

#### D. Perhitungan Momen Pelat

Untuk menghitung momen yang timbul akibat beban, penyaluran beban berdasarkan Metode Amplop (buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, W.C.Vis dan Gideon H.Kusuma, 1995 ; 26).



**Gambar 4.1. Skema Pelat Lantai Sisi lx dan ly**

Untuk menentukan momen pelat tersebut adalah :

$$M_{lx} = 0,01 \cdot w_u \cdot l_x^2 \cdot x$$

$$M_{ly} = 0,01 \cdot w_u \cdot l_x^2 \cdot x$$

$$M_{tx} = -0,01 \cdot w_u \cdot l_x^2 \cdot x$$

$$M_{ty} = -0,01 \cdot w_u \cdot l_x^2 \cdot x$$

dimana :  $M_{lx}$  = Momen lapangan arah X

$M_{ly}$  = Momen lapangan arah Y

$M_{tx}$  = Momen tumpuan arah X

$M_{ty}$  = Momen tumpuan arah Y

$w_u$  = Beban yang bekerja

$x$  = Koefisien

(diambil dari buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, W.C.Vis dan Gideon H.Kusuma, tabel 4.2.b).

## E. Penulangan Pelat

Beton bertulang direncanakan untuk runtuh secara perlahan dan bertahap, hal ini dimungkinkan apabila tulangan tarik beton terlebih dahulu meleleh sebelum regangan beton mencapai maksimum (*under reinforced*). Dengan dasar perencanaan tersebut, jumlah tulangan yang akan digunakan pada penampang beton dibatasi menurut SKSNI-1991 pasal 3.3.3. Anggaran pembatasan jumlah tulangan tersebut berkaitan dengan rasio penulangan ( $\rho$ ), yaitu perbandingan antara jumlah luas penampang tulangan baja tarik ( $A_s$ ) terhadap luas efektif penampang.

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

Pembatasan jumlah tulangan yang dimaksud dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 adalah rasio penulangan maksimum yang diijinkan, dibatasi sebesar 0,75 dari rasio penulangan dalam keadaan seimbang ( $\rho_b$ ).

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

Besar rasio tulangan seimbang menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.3.4.3 adalah :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right]$$

Sedangkan untuk rasio penulangan minimum menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.1 adalah :

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

Syarat rasio penulangan dalam beton bertulang harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y \leq \rho \leq \rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

Struktur harus direncanakan hingga semua penampang harus mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban gaya terfaktor. Persyaratan tersebut disederhanakan menjadi :

$$M_u = \phi M_n$$

Untuk mencari rasio penulangan ( $\rho$ ) yang akan menentukan luas tulangan dari suatu penampang balok beton, dapat digunakan rumus :

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f'c}} \right]$$

dimana :

Mn = Kuat momen nominal pada suatu penampang

Mu = kuat momen perlu terfaktor pada penampang

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan diambil 0,8

$$Rn = Mu/bd^2$$

Jika  $\rho$  yang diperoleh  $< \rho_{min}$ , maka  $\rho$  yang diambil adalah  $\rho_{min}$  sehingga luas tulangan yang didapat adalah :

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

dimana :

$\rho_{min}$  = rasio tulang tarik non-pratekan minimum

$\rho_{maks}$  = rasio tulang tarik non-pratekan maksimum

$\rho$  = rasio tulang tarik non-praktekan

d = tinggi efektif

As = diameter tulangan yang dihitung

$$\text{Jarak tulangan perlu} = S_{hitung} = (\pi/4 \cdot \emptyset_{tul}^2 \cdot b) / As$$

Untuk penulangan terlebih dahulu dihitung tinggi efektifnya yaitu :

- Untuk arah x :  $dx = h - p - 0,5 \cdot dDx$
- Untuk arah y :  $dy = h - p - dDx - 0,5 \cdot dDy$

dimana :

dx = tinggi efektif arah x

dy = tinggi efektif arah y

h = tinggi penampang

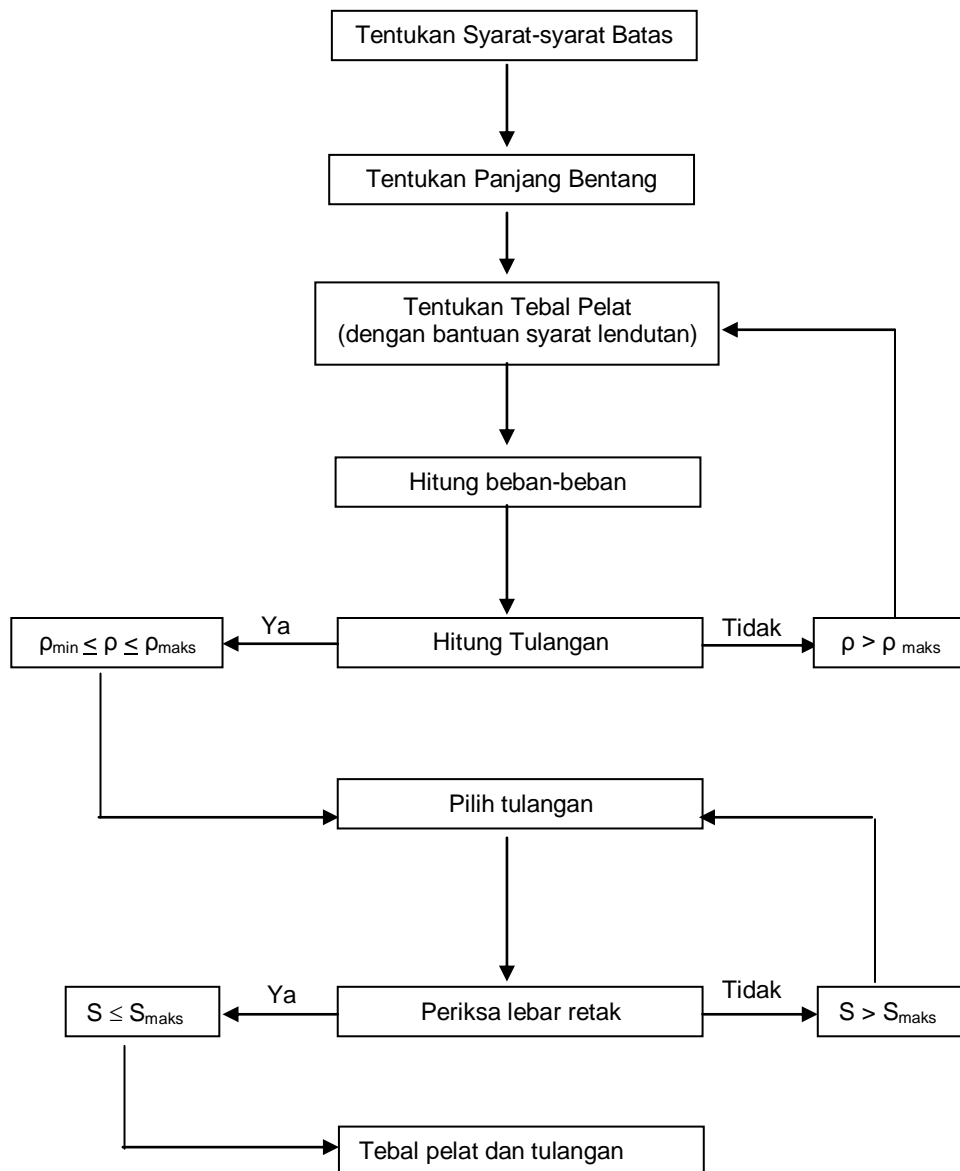
p = tebal penutup beton untuk menutup tulang terluar

dDx = diameter tulang utama arah x

dDy = diameter tulang utama arah y

Penulangan arah x dan y untuk momen lapangan maupun tumpuan menggunakan rumus :  $M_n = M_u/\phi$  Menurut SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3. 6. 6 .5, jarak antara tulangan maksimal adalah  $3 \times h$ , dimana h adalah tebal pelat.

**Gambar 4.2. Diagram Alir Perhitungan Pelat Beton**



Rumus umum :  $\phi M_n > M_u$ , Apabila ketentuan ini terpenuhi maka pelat telah

memenuhi persyaratan dimana :  $M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$ ,  $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'c \cdot b}$

dengan syarat :  $A_s > A_{s_{min}} = 0,002 b h$ , dimana :

$A_s = (\text{Luas tulangan pelat per meter} / \text{jarak antar tulangan}) \times 1000$

## 4.2. ANALISIS DAN PERENCANAAN TANGGA

Tangga terdiri dari anak tangga yang terbagi atas :

- a. Injakan (antrede) 20 s/d 30 cm
- b. Tanjakan (optrede) 15 s/d 20 cm

Ukuran antrede dan optrede tergantung pada kegunaan tangga tersebut dan sebagai patokan digunakan syarat :

2 Optrede + 1 Antrede = 57 s/d 65 cm

Optrede x Antrede = 400 s/d 450 cm.

Pada perencanaan tangga Bangunan Hotel Perdana Wisata ini digunakan tangga dengan tumpuan jepit-sendi dengan ukuran tangga sebagai berikut :

Optrede = 19 cm

Antrede = 30 cm

Lebar bordes = 1,8 m

Panjang bordes = 3,6 m

Tebal pelat tangga = 12 cm

Pembebanan pada tangga terdiri dari :

- Berat sendiri pelat
- Anak tangga
- Tegel + spesi
- Berat sendiri bordes
- Beban hidup

### 4.3. ANALISIS DAN PERANCANGAN BALOK

Balok direncanakan untuk menahan tegangan tekan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh beban lentur yang bekerja pada balok tersebut. Karena sifat beton yang kurang mampu dalam menahan tegangan tarik, maka beton diperkuat dengan tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik itu bekerja hal ini disebut struktur beton bertulang.

Selain gaya lentur, hal-hal lain yang harus diperhatikan dalam perencanaan balok di antaranya : kapasitas geser, defleksi, retak dan panjang penyaluran yang harus sesuai dengan persyaratan.

#### A. Perencanaan Tinggi Balok

Perencanaan balok dimulai dengan menentukan dimensi balok, yaitu tinggi total, tinggi efektif, lebar balok dan selimut beton. Penentuan dimensi balok dilakukan dengan dengan pendekatan terhadap kemampuan balok tersebut menahan beban kerja, sehingga pengaruh dari beban kerja seperti lendutan dapat dibatasi sesuai dengan ketentuan dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.2. Ketentuan tersebut berlaku untuk mutu baja  $f_y = 400$  MPa, sedangkan untuk mutu baja yang lain harus dikalikan dengan faktor pengalii yaitu :

$$\left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Untuk menentukan tinggi balok (h) yang berada pada dua tumpuan, dapat digunakan rumus :

$$h = \frac{1}{2} l \text{ untuk } f_y = 240 \text{ Mpa,}$$

dimana : h = Tinggi total balok, l = Bentang teoritis balok

Untuk menentukan tinggi total balok (h) yang salahsatu ujungnya menerus, dapat digunakan rumus :

$$h = l / 24,5 \text{ untuk } f_y = 240 \text{ MPa}$$

Jika kedua ujungnya menerus maka tinggi total balok menggunakan rumus :

$$h = l / 28 \text{ untuk } f_y = 240 \text{ MPa}$$



Untuk menentukan tinggi total balok (h) kantilever dapat digunakan rumus :

$$h = l / 11 \text{ untuk } f_y = 240 \text{ MPa}$$

## **B. Perencanaan Lebar Balok Rencana**

Langkah selanjutnya setelah tinggi total balok ditentukan adalah mencari lebar balok (b), untuk mencari lebar balok dapat digunakan pendekatan :

$b = \frac{1}{2} h$  s/d  $\frac{2}{3} h$  (Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang – W.C. Vis dan Gideon Kusuma).

## **C. Perancangan Balok Dengan Daktilitas Penuh**

### **1). Perancangan Balok Portal Terhadap Beban Lentur**

Bila suatu balok dibebani, maka akan mengakibatkan momen lentur, oleh sebab itu balok harus direncanakan terhadap beban lentur. Kuat lentur perlu balok portal yang dinyatakan dalam  $M_{u,b}$  harus ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan tanpa atau dengan beban gempa sebagai berikut :

$$M_{u,b} = 1,2 M_{D,b} + 1,6 M_{t,b}$$

$$M_{u,b} = 1,05 (M_{D,b} + 1,6 M_{L,b} \pm M_{E,b})$$

$$M_{u,b} = 0,9 M_{D,d} \pm M_{E,b}$$

*Dimana :*

$M_{D,b}$  = Momen lentur balok portal akibat beban mati terfaktor

$M_{t,b}$  = Momen lentur balok portal akibat beban hidup tidak terfaktor dengan memperhitungkan reduksinya sehubungan dengan peluang terjadinya pada lantai tingkat yang ditinjau.

$M_{E,b}$  = Momen lentur balok portal akibat beban gempa tidak terfaktor.

Dalam perencanaan kapasitas balok portal, momen tumpuan negatif akibat beban gravitasi dan beban gempa balok, boleh didistribusikan dengan menambah atau mengurangi dengan prosentase yang tidak melebihi :

$$Q = 30 [1 - 4/3 (\rho - \rho') / \rho b] \%$$

Dengan syarat apabila tulangan lentur portal telah direncanakan sehingga  $(\rho - \rho')$  tidak melebihi  $0,50 \rho_b$ . Momen lapangan dan momen tumpuan pada bidang muka kolom yang diperoleh dari hasil redistribusi selanjutnya digunakan untuk menghitung penulangan lentur yang diperlukan.

Khusus untuk portal dengan daktilitas penuh perlu pula dihitung kapasitas lentur sendi plastis balok yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$M_{kap,b} = \phi_o \cdot M_{nak,b}$$

dimana :

$M_{kap,b}$  = Kapasitas lentur aktual balok pada pusat pertemuan balok kolom dengan memperhitungkan luas tulangan yang sebenarnya terpasang.

$M_{nak,b}$  = Kuat lentur nominal balok berdasarkan luas tulangan yang sebenarnya terpasang.

$\phi_o$  = Faktor penambah kekuatan (overstrenght faktor) yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk  $f_y < 400$  Mpa dan 1,40 untuk  $f_y > 400$  Mpa

$F_y$  = kuat leleh tulangan lentur balok

## 2). Perancangan Balok Portal Terhadap Beban Geser

Apabila balok dibebani beban vertikal maka terjadi gaya lintang pada ujung balok, gaya lintang ini akan mengakibatkan gaya geser, akibatnya penampang demi penampang berturut-turut akan cenderung bergeser satu terhadap lainnya, dengan demikian maka balok tersebut harus direncanakan terhadap beban geser.

Sesuai dengan konsep desain kapasitas, kuat geser balok portal yang dibebani oleh beban gravitasi sepanjang bentangnya harus dihitung dalam kondisi terjadi sendi-sendi plastis pada kedua ujung balok portal tersebut dengan tanda yang berlawanan (positif dan negatif), gaya geser tersebut dihitung menurut persamaan berikut :

$$V_{u,b} = 0,7 \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{l_n} + 0,5V_g \quad \text{SKSNI 3.14.7.1-1}$$

Tetapi tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,b} = 1,05[V_{D,b} + V_{L,b} + (0,4/k)V_{E,b}] \quad \text{SKSNI 3.14.7.1-1}$$

dimana :

$M_{kap}$  = Momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salahsatu ujung balok atau bidang muka kolom.

$M'_{kap}$  = Momen kapasitas balok berdasarkan tulangan yang sebenarnya terpasang pada salahsatu ujung balok atau bidang muka kolom lain.

$I_n$  = Bentang bersih balok

$V_{D,b}$  = Gaya geser balok akibat beban mati

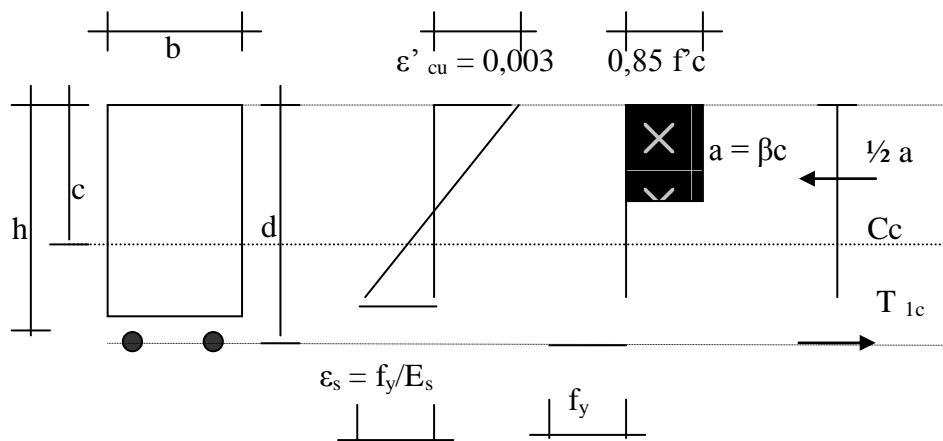
$V_{L,b}$  = Gaya geser balok akibat beban hidup

$V_{E,b}$  = Gaya geser balok akibat beban gempa

$k$  = Faktor jenis struktur ( $k > 1,0$ )

#### D. Penulangan Balok Persegi

##### 1). Balok Persegi Bertulang Tarik



**Gambar 4.3. Penampang Bertulang Tunggal, Diagram Regangan dan Tegangan**

Suatu penampang apabila hanya dibebani momen lentur, maka terdapat keseimbangan  $\sum H = 0$ , dengan memperhatikan gambar tegangan diatas dapat disimpulkan bahwa gaya tekan beton ( $C_c$ ) sama dengan gaya tarik baja ( $T_s$ ).

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2.7.3 menentukan  $\theta_1 = 0,85$  untuk mutu beton  $\leq 30$  MPa, sehingga  $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$  dan diperoleh letak garis

netral  $c = a / \beta_1$ . Dengan menggunakan konsep segitiga sebangun pada diagram diatas diperoleh :

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{(d-c)}{c} \text{ dan diketahui : } \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \text{ dimana :}$$

$\varepsilon_s$  = Regangan pada saat regangan beton maksimum tercapai

$\varepsilon_y$  = Regangan leleh tulangan baja

Anggapan tulangan baja tarik telah mencapai tegangan leleh sebelum beton mencapai regangan maksimum akan tercapai apabila regangan yang terjadi pada saat regangan beton maksimum lebih besar daripada regangan leleh baja ( $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ ). Apabila ternyata regangan yang terjadi lebih kecil dari regangan lelehnya maka nilai tegangan leleh yang digunakan adalah :

$$f_y = f_s = \varepsilon_s \cdot E_s$$

Dengan melihat gambar momen nominal dapat ditentukan :

a. Momen nominal berdasarkan gaya beton tekan :

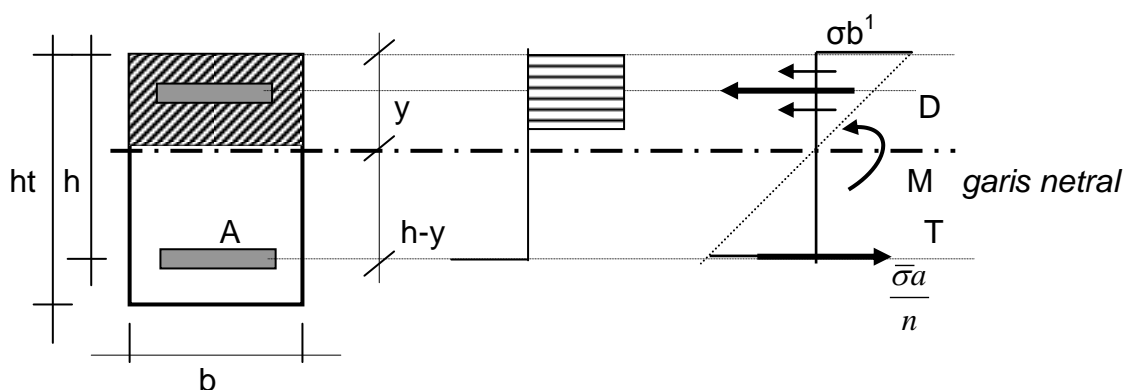
$$M_n = a \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot (d - \frac{1}{2} a)$$

b. Momen nominal berdasarkan gaya tarik tulangan beton :

$$M_n = \theta \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot (d - \frac{1}{2} a)$$

Pembatasan tulangan tarik pada balok ditentukan dalam SKSNI-T-15-1991-03 pasal 3.3.3 .

## 2). Balok Persegi Bertulang Tarik dan Tekan



**Gambar 4.4. Penampang Bertulang Rangkap, Diagram Tegangan dan Regangan**

Balok bertulang rangkap (tekan dan tarik) digunakan apabila rasio penulangan yang terjadi lebih besar dari rasio penulangan maksimum yang telah ditentukan ( $\rho > \rho_{maks}$ ), sedangkan ukuran penampang balok dengan alasan tertentu tidak bisa diperbesar lagi. Apabila pada kondisi ini tulangan tarik ditambah, dikhawatirkan pada saat beton mencapai regangan maksimum baja tulangan tidak akan mencapai batas lelehnya.

Untuk mengetahui apakah suatu balok perlu diberikan tulangan rangkap (tekan dan tarik), maka perlu diperiksa terhadap momen lentur nominal maksimum yang ada terhadap momen ultimit yang bekerja. Ketentuan tersebut adalah :

$Mn_{maks} \geq Mn$ , tidak perlu tulangan rangkap

$Mn_{maks} \leq Mn$ , perlu tulangan rangkap, dimana :

$$Rn_{maks} = \rho_{maks} \cdot f_y \left( 1 - \frac{0,588 \cdot \rho_{maks} \cdot f_y}{f'c} \right) \text{ dan}$$

$$Mn_{maks} = \phi \cdot b \cdot d^2 \cdot Rn_{maks}$$

Dalam menganalisa balok bertulang rangkap, diasumsikan gaya tekan beton dan gaya tekan baja sama dengan gaya tarik baja.

$$Ts = Cc + Cs \text{ dengan menganggap } f's = f_y, \text{ maka : } a = \frac{(As - A's) \cdot f_y}{b \cdot 0,85 \cdot f'c}$$

Dengan menggunakan segitiga sebangun dari gambar 3.4.4.2, regangan tulangan tekan dapat diketahui yaitu :

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_{cu}} = \frac{c - d's}{c} \text{ dimana } \epsilon'_s = 0,003 \frac{c - d's}{c}$$

Apabila hasil regangan tekan lebih besar dari tegangan luluhnya ( $\epsilon'_s > \epsilon_y$ ), perhitungan dilanjutkan dengan mencari momen nominalnya yang diperoleh dari analisa berikut :

- Momen nominal yang dihasilkan dari momen dalam baja tekan dan baja tarik :  $Mn_1 = A's \cdot f_y \cdot (d - d's)$
- Momen nominal yang dihasilkan dari momen dalam beton tekan dan baja tarik :  $Mn_2 = (As - A's) \cdot f_y \cdot (d - \frac{1}{2} a)$

- Momen nominal total merupakan hasil penjumlahan kedua momen tahanan dalam tersebut, yaitu :

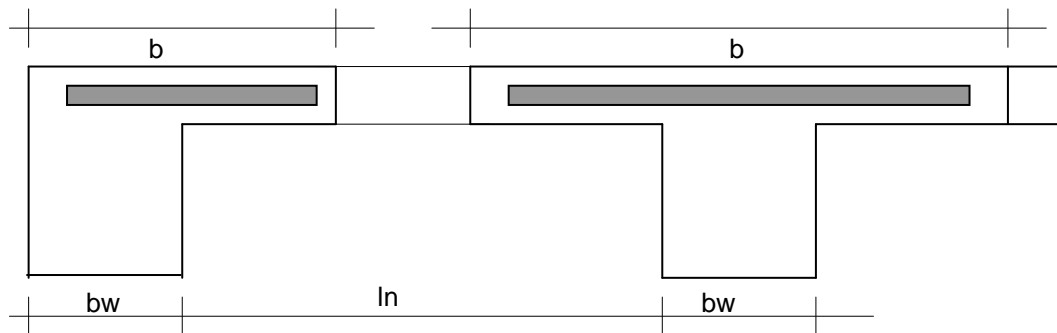
$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = A's \cdot f_y \cdot (d-d's) + (A_s - A's) \cdot f_y \cdot (d - \frac{1}{2} a)$$

Dengan persyaratan kekuatan struktur :  $\phi M_n \geq M_u$ .

### E. Analisis dan Perancangan Balok T

Untuk merancang antara balok dan lantai yang dicor secara monolit akan terjadi interaksi sebagai satu kesatuan dalam menahan momen lentur positif

sehingga pelat akan bereaksi sebagai sayap desak dan balok sebagai badannya. Interaksi antara flens dan balok yang menjadi satu kesatuan dengan penampanganya berbentuk hurup T dan L.



**Gambar 4.5. Lebar efektif balok T dan L**

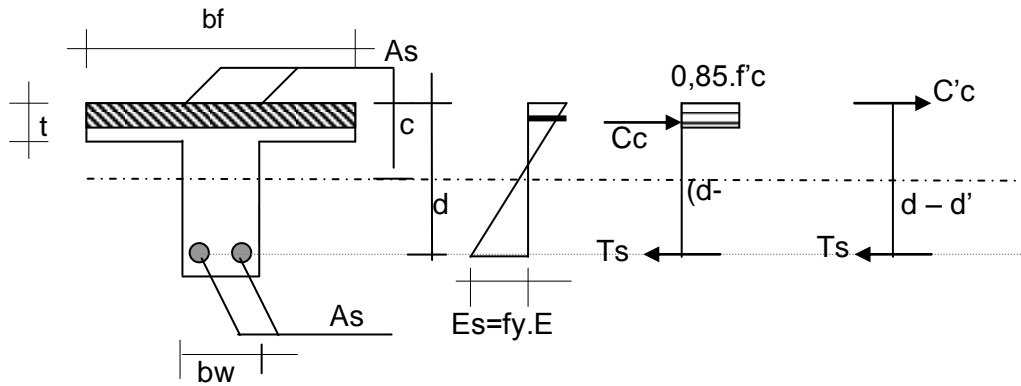
Untuk menganalisa balok T dan L perlu diketahui lebar efektif balok tersebut, menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10, lebar efektif balok dapat dijelaskan sebagai berikut :

**Tabel 4.1. Lebar Efektif Balok T dan L**

Lebar Efektif Balok T	Lebar Efektif Balok L
$b \leq \frac{1}{4} L_n$	$b \leq b_w + \frac{1}{2} L_n$
$b \leq b_w + 16t$	$b \leq b_w + 6t$
$b \leq b_w + L_n$	$b \leq b_w + \frac{1}{2} L_n$

**(1) Analisa Balok T**

**a. Jika  $a \leq t$** , maka hitungan penampang seperti balok segi empat



**Gambar 4.6. Tampang balok T tulangan rangkap dengan  $a \leq t$**

Asumsi :  $F's = fy$

$$C_c = a \cdot bf \cdot 0,85 \cdot f'c$$

$$C_s = A's (fy - 0,85 f'c)$$

Kontrol: Jika  $T_s \leq C_c + C_s$ , maka anggapan bahwa  $a \leq t$  benar dan hitungan dapat dilanjutkan, jika salah maka hitungan dilanjutkan ke hitungan balok T murni dengan tulangan rangkap.

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot fy = a \cdot bf \cdot 0,85 \cdot f'c + A's (fy - 0,85 \cdot f'c)$$

$$a = \frac{A_s \cdot fy - A's \cdot (fy - 0,85 f'c)}{bf \cdot 0,85 \cdot f'c}$$

$$c = a/\beta_1$$

$$\text{Kontrol : } \epsilon's = \frac{(c - d's)}{c} \times 0,003$$

Jika  $\epsilon's > \epsilon'y = fy/Es$ , berarti asumsi semula salah, maka hitungan dilanjutkan ke bagian a.1.

Jika  $\epsilon's < \epsilon'y = fy/Es$ , berarti asumsi semula salah, maka hitungan dilanjutkan ke bagian a.2.

**a.1. Jika  $\epsilon's \geq \epsilon'y$  atau  $f's \geq fy$**

$$C_c = a \cdot b_f \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$C_s = A's (f_y - 0,85 f'_c)$$

$$M_n = C_c (d - a/2) + C_s (d - d_s)$$

$$\theta M_n \geq M_u$$

**a.2. Jika  $\epsilon's < \epsilon'y$  atau  $f's < fy$**

$$C_c = a \cdot b_f \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$C_s = A's \frac{(c - d's)}{c} \times 0,003 \cdot E_s - 0,85 \cdot f'_c$$

$T_s = A_s \cdot f_y$ ,  $T_s = C_c + C_s$ , Dengan memasukkan persamaan  $T_s = C_c + C_s$  didapat persamaan kuadrat :  $Ac^2 + Bc + C = 0$ ,

dimana :  $A = \beta_1 \cdot b_f \cdot 0,85 f'_c$ ,  $B = 600 \cdot A's - A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot A's$

$$C = -(600 \cdot A's \cdot d's)$$

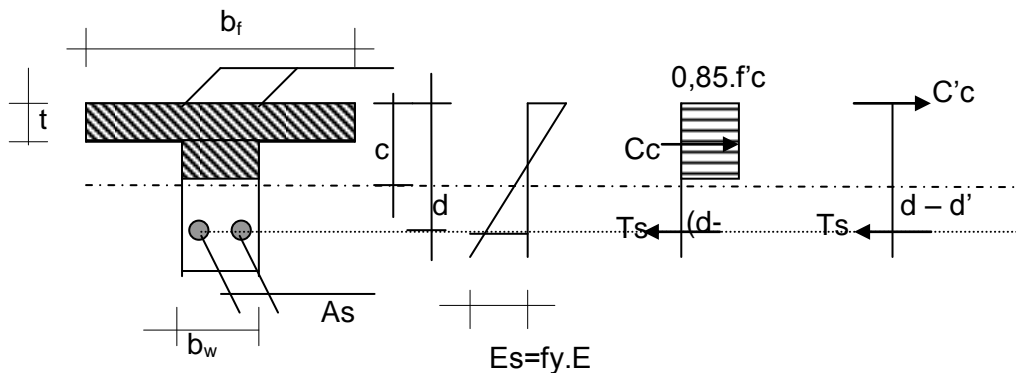
Nilai C dapat dihitung dengan rumus ABC :

$$C1.2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$a = \beta_1 \cdot c, \quad C_c = a \cdot b_f \cdot 0,85 \cdot f'_c, \quad C_s = A's \frac{(c - d's)}{c} \cdot 0,003 E_s - 0,85 \cdot f'_c$$

$$M_n = C_c (d - a/2) + C_s (d - d_s), \quad \theta M_n \geq M_u$$

**b. Jika  $a > t$ , maka hitungan dengan balok T murni**



**Gambar 4.7. Tampang balok T tulangan rangkap dengan  $a > t$**



$$C_{c1} = a \cdot b_w \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$C_{c2} = t \cdot (b_f - b_w) \cdot 0,85 f'_c$$

$$C_s = A'_s \cdot (f_y - 0,85 f'_c), \text{ anggapan bahwa } f'_s = f_y$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$A_s \cdot f_y = a \cdot b_w \cdot 0,85 f'_c + t \cdot (b_f - b_w) \cdot 0,85 f'_c + A'_s \cdot (f_y - 0,85 f'_c)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - t(b_f - b_w)0,85 f'_c - A'_s(f_y - 0,85 f'_c)}{b_w \cdot 0,85 \cdot f'_c}$$

$$c = a/\beta_1$$

$$\text{Kontrol : } \epsilon'_s = \frac{(c - d')}{c} \times 0,003$$

Jika  $\epsilon'_s \geq \epsilon'_y = f_y/E_s$ , berarti asumsi semula salah, maka hitungan dilanjutkan ke bagian b.1.

Jika  $\epsilon'_s < \epsilon'_y = f_y/E_s$ , berarti asumsi semula salah, maka hitungan dilanjutkan ke bagian b.2.

**b.1. Jika  $\epsilon'_s \geq \epsilon'_y = f_y/E_s$  atau  $f'_s \geq f_y$**

$$C_{c1} = a \cdot b_w \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$C_{c2} = t \cdot (b_f - b_w) \cdot 0,85 f'_c$$

$$C_s = A'_s \cdot (f_y - 0,85 f'_c), \text{ anggapan bahwa } f'_s = f_y$$

$$0,003 E_s \cdot A'_s \cdot d$$

**b.2. Jika  $\epsilon'_s \leq \epsilon'_y$  atau  $f'_s \geq f_y$**

$$C_{c1} = a \cdot b_w \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$C_{c2} = t \cdot (b_f - b_w) \cdot 0,85 f'_c$$

$$C_s = A'_s \frac{(c - d')}{c} \times 0,003 E_s - 0,85 \cdot f'_c$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$T_s = C_{c1} + C_{c2} + C_s$$

Dengan memasukan persamaan  $T_s = C_c + C_s$  didapat persamaan kuadrat :

$$Ac^2 + Bc + C = 0, \text{ dimana :}$$

$$A = \beta_1 \cdot bf \cdot 0,85 f'c$$

$$B = 600 \cdot A's - A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'c \cdot A's$$

$$C = -(600 \cdot A's \cdot d's)$$

Nilai c dapat dihitung dengan rumus ABC :

$$c_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$C_{c1} = a \cdot bw \cdot 0,85 \cdot f'c$$

$$C_{c2} = t \cdot (bf - bw) \cdot 0,85 \cdot f'c$$

$$C_s = A's \cdot \frac{(c - d's)}{c} \cdot 0,003 E_s - 0,85 \cdot f'c$$

$$M_n = C_{c1} (d - a/2) + C_{c2} (d - t/2) + C_s (d - d's)$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

## (2) Perancangan Balok T

Cara menentukan  $A_s$  maks untuk balok T berdasarkan pada hubungan berikut :

$$cb = \frac{600 \cdot d}{f_y + 600}$$

$$ab = \beta_1 \cdot cb$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'c [bf \cdot t + bw(ab - t)]$$

$$T_s = A_s b \cdot f_y$$

$$T_s = C_c$$

$$0,85 \cdot f'c [bf \cdot t + bw (ab - t)] = A_s b \cdot f_y$$

$$A_{sb} = \frac{0,85 \cdot f'c [bf \cdot t + bw(ab - t)]}{f_y}$$

$$A_{s \text{ maks}} = 0,75 \cdot A_{sb}$$

## F. Langkah-Langkah Perhitungan Balok

### (1) Balok yang Mengalami Momen Tumpuan

Analisis dan perencanaan balok dengan menganggap balok yang mengalami momen tumpuan dianalisa sebagai balok persegi bertulang rangkap dengan langkah sebagai berikut :

1. Anggap bahwa tinggi efektif balok  $d = h - 100 \text{ mm}$
2. Dari type pembebanan diambil  $M_u$  terbesar
3. Lakukan pemeriksaan apakah balok tersebut benar-benar bertulang rangkap, hitung  $R_{n \text{ maks}}$ , dimana :

$$R_{n \text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \cdot f_y \left( 1 - \frac{0,588 \cdot \rho_{\text{maks}} \cdot f_y}{f'c} \right)$$

$$R_{n \text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

$$M_{r \text{ maks}} = \phi \cdot b \cdot d^2 \cdot R_{n \text{ maks}}$$

4. Apabila  $M_{r \text{ maks}} < M_u$ , balok direncanakan bertulangan rangkap dan apabila  $M_{r \text{ maks}} \geq M_u$ , maka balok direncanakan bertulangan tarik saja.
5. Perencanaan balok bertulangan tarik saja :
  - a. Berdasarkan  $h$  yang diketahui, hitung  $d$  dengan  $d = h - 70 \text{ mm}$  dan kemudian hitung  $R_n$  yang diperlukan dengan menggunakan persamaan :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2} \text{ dimana :}$$

$R_n$  = Koefisien tahanan

$M_u$  = Momen yang terjadi pada balok

$\phi$  = Koefisien reduksi sebesar 0,8

$b$  = Lebar balok

$d$  = Tinggi efektif balok

- b. Cari  $\rho_{\text{perlu}}$  dengan rumus :

$$\rho = \frac{0,85.f'c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.Rn}{(0,85.f'c)}} \right] \text{ dengan } Rn = \frac{Mn}{b.d^2}$$

- c. Hitung  $A_s$  yang diperlukan :  $A_s = \rho \cdot b \cdot d$
- d. Tentukan batang tulangan yang akan dipasang, kemudian periksa ulang tinggi efektif aktual balok dan bandingkan dengan tinggi efektif yang dipakai untuk perhitungan. Apabila tinggi efektif aktual lebih tinggi, berarti hasil rancangan agak konservatif (berada dalam keadaan lebih aman), sedangkan apabila tinggi efektif aktual kurang dari tinggi efektif yang diperhitungkan berarti perencanaan tidak aman dan harus dilakukan revisi perhitungan.

6. Perencanaan balok bertulang rangkap :

- a. menghitung rasio penulangan pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik  $\rho = 0,90$ ,  $\rho_{\text{maks}} = 0,90 (0,75 \rho_b)$ , nilai  $\rho$  tersebut digunakan untuk menghitung  $Rn$ .
- b. Menentukan kapasitas momen dari pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik :

$$M_{R1} = \phi b . d^2 \cdot Rn$$

Menghitung tulangan baja tarik yang diperlukan untuk pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik.

$$A_{s1\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

- c. Menghitung selisih momen atau momen yang harus ditahan oleh pasangan gaya tulangan baja tekan dan tarik tambahan :

$$M_{R2} = M_u - M_{R1}$$

- d. Dengan berdasarkan pada pasangan kopel gaya tulangan baja tekan dan tarik tambahan, hitung gaya tekan pada tulangan yang diperlukan dengan menganggap bahwa  $d = 70 \text{ mm}$ .

$$N d_2 = \frac{M_{R2}}{\phi(d - d')}$$

- e. Dengan menggunakan rumus  $Nd_2 = A_s \cdot f_s$ , hitung  $f_s$  sehingga  $A_s$  dapat ditentukan :  $A_{s_{perlu}} = Nd_2 / f_s$
- f. Hitung  $A_{s_{perlu}}$  dengan menggunakan rumus :  
$$A_{s_{perlu}} = f_s' \cdot A_s' / f_y$$
- g. Hitung jumlah luas tulangan baja tarik yang diperlukan :  
$$A_s = A_{s_1} + A_{s_2}$$
- h. Memilih batang tulangan baja tekan  $A_s'$
- i. Memilih batang tulangan baja tarik ( $A_s$ ), periksa lebar balok dengan mengusahakan agar tulangan dapat dipasang dalam satu lapis saja.
- j. Memeriksa  $d$  aktual dan bandingkan dengan  $d$  teoritis, apabila  $d$  aktual sedikit lebih besar ( $d_{akt} > d_{teoritis}$ ) berarti hasil rancangan agak konservatif (lebih aman) dan jika  $d$  aktual lebih kecil dari  $d$  teoritis ( $d_{akt} < d_{teoritis}$ ) maka perencanaan kurang aman dan harus dilakukan perencanaan ulang.

## (2) Balok yang Mengalami Momen Lapangan

Balok yang mengalami momen lapangan direncanakan sebagai balok T dengan langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Dari type pembebanandiambil  $M_u$  terbesar
2. Menetapkan tinggi efektif,  $d = h - 70$  mm
3. Menetapkan lebar flens efektif menggunakan ketentuan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10.
4. Menghitung momen tahanan  $M_R$  dengan anggapan bahwa seluruh daerah flens efektif mengalami tekan  $M_R = \phi(0,85 \cdot f_c) \cdot b \cdot hf (d - \frac{1}{2} hf)$
5. Apabila  $M_R > M_u$ , balok akan berperilaku sebagai balok T persegi dan apabila  $M_R < M_u$  balok berperilaku sebagai balok T murni.
6. Perencanaan balok T persegi :

- a. Merencanakan balok sebagai balok T persegi dengan nilai  $b$  dan  $d$  yang sudah diketahui, selanjutnya menghitung  $Rn = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$

- b. Berdasarkan nilai  $Rn$  didapat : 
$$\rho = \frac{0,85 f' c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{(0,85 \cdot f' c)}} \right]$$

- c. Menghitung  $A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$ , kemudian bandingkan  $A_{s_{perlu}}$  akibat b flens dengan  $A_{s_{perlu}}$  akibat b balok setelah itu ambil  $A_{s_{perlu}}$  terbesar.
- d. Pilih batang tulangan baja tarik dan periksa lebar balok, bandingkan d aktual dengan d yang ditetapkan, jika d aktual lebih besar dari d yang dihitung ( $d_{akt} > d_{teritis}$ ) maka hasil rancangan ada dalam posisi yang aman, apabila sebaliknya maka rancangan tidak aman dan harus diadakan perencanaan ulang.
- e. Memeriksa  $\rho_{aktual} = A_s/bw \cdot d$  harus lebih besar dari  $\rho_{min} = 1,4/f_y$ , apabila hal ini tidak tercapai lakukan perencanaan ulang.
- f. Pemeriksaan persyaratan daktilitas menggunakan istilah  $A_{s_{maks}}$  dengan rumus (Istimawan ; 72) yaitu :

$$A_{s_{maks}} = \frac{0,638 \cdot f'c \cdot hf}{f_y} \left[ b + bw \left\{ \left( \frac{\beta_1}{hf} \right) \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \right\} \right]$$

#### 7. Perencanaan balok T murni

- a. Menentukan  $z = d - \frac{1}{2}hf$
- b. Menghitung  $A_s$  yang diperlukan berdasarkan hasil dari langkah diatas :

$$A_s = \frac{Mu}{\phi \cdot f_y \cdot z}$$

- c. Memilih batang tulangan
- d. Menentukan d aktual

#### G. Pemeriksaan Lendutan Pada Balok

Lendutan pada bentang menerus dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f_m = \frac{5(l_n^2)}{48EI} \times \left[ M_m - \frac{1}{10}(M_a + M_b) \right]$$

dimana :

$l_n$  = Setengah bentang bersih balok yang ditinjau

$M_m$  = Momen pada tengah bentang (lapangan)

$M_a, M_b$  = Momen pada tumpuan kiri dan kanan

$E$  = modulus elastisitas beton =  $4700 \sqrt{f'_c}$  (SKSNI 1991 T-15 pasal 3.1.5.1)

$I$  = Inersia efektif (SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.2.3.)

Cara menghitung momen inersia sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.2.3 adalah :

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_m} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_m} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$M_{cr} = (f_r \cdot I_g) / y_t$$

$$I_{cr} = 1/3 b \cdot y^3 + n \cdot A_s (d-y)^2$$

$$y = \frac{n \cdot A_s}{b} \times \left[ \sqrt{1 + \frac{2bd}{n \cdot A_s}} - 1 \right]$$

dimana :

$M_{cr}$  = momen yang terjadi pada saat retak pertama kali

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$$

$y_t$  =  $1/2$  tebal balok =  $1/2 h$

$I_g$  = Momen inersia penampang utuh

$I_{cr}$  = Momen inersia penampang retak

$y$  = letak garis netral

#### 4.4. ANALISIS DAN PERANCANGAN KOLOM

##### A. Perencanaan Penampang Kolom

Bila suatu penampang beton harus menahan tidak hanya beban lentur  $M$  tetapi juga gaya normal (gaya aksial)  $P$ , maka distribusi tegangan internal menjadi lebih kompleks.

Dari teori elastisitas diketahui bahwa tegangan-tegangan yang ditimbulkan oleh  $M$  dan  $P$  boleh dijumlahkan sehingga memperoleh tegangan resultan, tegangan yang ditimbulkan gaya normal adalah :

$$\sigma_p = \frac{P}{b.h}$$

sehingga apabila kita ingin mendapatkan harga b dan h dapat digunakan rumus :

$$b.h = \frac{P}{\sigma_p}$$

## B. Pembebanan Pada Kolom

Kolom merupakan suatu elemen struktur yang menerima beban eksentris maupun sentris. Biasanya kolom dibebani oleh gaya aksial dan momen lentur secara bersamaan, sehingga kolom harus direncanakan mampu untuk menahan gaya aksial dan momen maksimum dari beban berfaktor yang bekerja pada elemennya.

### 1. Kekuatan Nominal Kolom

Kuat tekan rencana  $\phi.P_n$  dari komponen tekan menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3, tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut :

a. Untuk komponen struktur non pratekan dengan tulangan spiral :

$$\phi.P_{n_{maks}} = 0,85 \cdot \phi [0,85 \cdot f'_c(A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}]$$

b. Untuk komponen struktur non pratekan dengan sengkang pengikat :

$$\phi.P_{n_{maks}} = 0,80 \cdot \phi [0,85 \cdot f'_c(A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}]$$

*dimana :*

$A_g$  = Luas bruto penampang kolom

$A_{st}$  = Luas tulangan memanjang kolom

$\phi$  = Faktor reduksi 0,65 (untuk tulangan kolom dengan tulangan sengkang) dan 0,70 (untuk tulangan spiral)

### 2. Kolom Dalam Keadaan Regangan Berimbang (balance)

Keadaan ini didefinisikan sebagai kejadian dimana serat terluar beton desak mencapai regangan maksimum  $s'_{cu} = 0,003$  bersamaan dengan tercapainya tegangan leleh  $s_y = f_y/E_s$  dengan  $E_s = 200.000$  Mpa.



$$cb = \frac{0,003}{\frac{f_y}{E_s} + 0,003} x d \quad \text{atau} \quad cb = \frac{600.d}{600 + f_y}$$

$$a = \beta_1 \cdot Cb$$

$$C_c = ab \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85 \cdot f'_c)$$

Apabila :

$$\varepsilon'_s > s'_y, \text{ maka digunakan } f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s$$

$$\varepsilon'_s < s'_y, \text{ maka digunakan } f'_s = f_y$$

Kuat tekan nominal :

$$P_{nb} = C_c + C_s - T_s$$

$$P_{nb} \text{ rancang} = \phi \cdot P_{nb}$$

Kuat momen nominal :

$$M_{nb} = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left( \frac{h}{2} - d' \right)$$

### 3. Kolom dalam Keadaan Beton Desak Menentukan

Saat serat terluar beton desak mencapai regangan 0,003 dan baja tulangan tarik belum mencapai regangan leleh sehingga hampir seluruh penampang kolom mengalami desak, maka keadaan tersebut disebut kolom dalam keadaan desak menentukan. Garis netral terletak disebelah kiri regangan seimbang, karena  $c > cb$ , maka  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$  atau  $f_s < f_y$ . Untuk mencari nilai  $P_n$  rancang dan  $M_n$  rancang dilakukan langkah seperti yang diterapkan pada kolom dalam keadaan regangan seimbang.

### 4. Kolom dalam Keadaan Tulangan Tarik Menentukan

Bila regangan terjadi pada tulangan baja tarik yang telah mencapai regangan leleh  $s_y$  ( $\varepsilon_s = s_y$ ), sedangkan pada balok desak regangan maksimum  $s_{cu}$  (0,003), maka dikatakan kolom dalam keadaan tulangan tarik menentukan (dimana sebagian besar penampang kolom mengalami tarik dan garis netral

terletak lebih kanan dari regangan berimbang  $c < c_b$ ). Untuk mencari nilai  $P_n$  rancang dan  $M_n$  rancang dilakukan tahap seperti yang diterapkan pada kolom dalam keadaan regangan seimbang.

#### 5. Diagram Interaksi

- Kolom dalam keadaan regangan seimbang, untuk mencari  $P_{n_d}$  dan  $M_{n_b}$  harus dikalikan faktor  $\phi = 0,65$ .
- Kolom dalam keadaan  $\phi$ .  $P_a = 0$ , dimana analisa penampang kolom sama dengan analisis penampang komponen struktur lentur balok.

$$a = \beta \cdot c$$

$$C_c = a \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$C_s = A'_s \left( \frac{c - d's}{c} \cdot 0,003 \cdot E_s - 0,85 \cdot f'_c \right)$$

$$A_s \cdot f_y = \beta_1 \cdot c \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot c_2 + A'_s \left( \frac{c - d's}{c} \cdot 0,003 \cdot E_s - 0,85 \cdot f'_c \right)$$

$$0 = \beta_1 \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot c_2 + (0,003 \cdot E_s \cdot A'_s - 0,85 \cdot f'_c \cdot A'_s - A_s \cdot f_y)$$

Maka diperoleh persamaan kuadrat dengan :

$$A = \beta_1 \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$B = (0,003 \cdot E_s \cdot A'_s - 0,85 \cdot f'_c \cdot A'_s - A_s \cdot f_y)$$

$$C = -0,003 \cdot E_s \cdot A'_s \cdot d'$$

Dengan rumus ABC didapatkan nilai C;

$$C_{12} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2A} ; a = \beta_1 \cdot c$$

$$M_n = C_c (h/2 - a/2) + C_s \cdot (h/2 - d') + T_s (h/2 - d_s)$$

$$M_{n_{\text{rancang}}} = \phi \cdot M_n$$

c. Kolom dengan Beban Aksial Sentris

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y$$

Dengan :

$$A_g = b \cdot h$$

$A_{st}$  = Luas tulangan total

$$P_{no} = \phi \cdot P_o$$

$\phi = 0,85$  untuk kolom dengan sengkang spiral

$\phi = 0,80$  untuk kolom dengan sengkang pengikat

$\phi = 0,60$  untuk kolom dengan sengkang biasa

Diagram interaksi  $\phi \cdot P_n = \phi \cdot M_n$  menyatakan hubungan antara  $\phi \cdot P_n$  dan  $\phi \cdot M_n$ . Dengan membuat sumbu  $-x$  dan sumbu  $-y$  menyatakan besaran  $M_n$  dan sumbu  $-y$  menyatakan besaran  $P_n$ . Lalu nilai  $\phi \cdot P_n$  dan  $\phi \cdot M_n$  pada keadaan seimbang diplotkan ke sumbu tersebut, begitu juga dengan nilai  $\phi \cdot P_n$  dan  $\phi \cdot M_n = 0$  dan nilai  $P_o$  maksimal dan garis  $P_{no} = \phi \cdot P_o$

6. Pengaruh Kelangsingan Pada Kolom

Kolom yang memiliki perbandingan  $l / r$  yang besar akan lebih mudah melendut dibandingkan dengan kolom yang memiliki  $l / r$  yang kecil. Lendutan yang akan terjadi menimbulkan momen sekunder, sehingga momen yang bekerja pada kolom bertambah besar. Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11, untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan ke samping, pengaruh kelangsingannya boleh diabaikan apabila :

$$\frac{K \cdot Lu}{r} < 34 - 12 \left( \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right)$$

Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh kelangsingannya boleh diabaikan apabila :

$$\frac{K \cdot Lu}{r} < 22$$

dimana :

K = Faktor panjang efektif kolom

Lu = Panjang bebas kolom

R = Jari-jari inerti penampang kolom  $\sqrt{(I/A)}$

Nilai K diperoleh dari persamaan berikut :

a. Bila kedua ujung kolom terjepit oleh balok :

$$k = \frac{20 - \Psi_m}{\Psi_m} \cdot \sqrt{1 + \Psi_m}, \text{ untuk } \Psi_m \leq 2$$

$$k = 0,9 \cdot \sqrt{1 + \Psi_m}, \text{ untuk } \Psi_m \geq 2$$

dimana  $\Psi_m$  adalah nilai rata-rata dari  $\Psi_A$  dan  $\Psi_B$ , dengan rumus :

$$\Psi_A = \frac{\sum \left( \frac{EI_K}{I_K} \right)}{\sum \left( \frac{EI_B}{-I_B} \right)} \text{ untuk ujung bawah kolom}$$

$$\Psi_B = \frac{\sum \left( \frac{EI_K}{I_K} \right)}{\sum \left( \frac{EI_A}{-I_A} \right)} \text{ untuk ujung atas kolom}$$

b. Bila salahsatu ujung kolom terjepit

$$K = 2,0 + 3,0 \Psi$$

$\Psi$  terletak pada ujung yang terjepit dengan nilai :

$$EI_K = \frac{(Ec \cdot Ig) / 2,5}{1 + \beta \cdot d}$$

$$EI_b = \frac{(Ec \cdot Ig) / 5}{1 + \beta \cdot d}$$

$$\beta d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L}$$

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$I_g$  = Momen Inersia

$I_k$  = Panjang bebas kolom

$I_b$  = Panjang bebas balok

$D$  = Beban mati

$L$  = Beban hidup

Pada portal yang memiliki nilai  $E_c$  yang sama, nilai  $E_c \times I_k$  dan  $E_c \times I_b$  diatas dapat di sederhanakan dengan hanya menggunakan  $I_k$  dan  $I_b$  saja. Dari rumus mencari  $EI_k$  dan  $EI_b$  terlihat bahwa nilai tersebut hanya dipengaruhi oleh  $I_g$  dan faktor pembagi (nilai  $\beta_d$  sama). Sehingga untuk keperluan praktis nilai  $I_k = I_g \text{ kolom} = 1/12 bh^3$ , sedangkan nilai  $I_b = 0,5 \times 1/12 bh^3$  (untuk bentuk persegi).

Untuk kolom yang dipengaruhi oleh faktor kelagsingan, harus direncanakan dengan menggunakan beban aksial berfaktor  $P_u$  dan suatu momen berfaktor yang diperbesar  $M_c$ , didefinisikan sebagai :

$$M_c = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_B \cdot M_{2B}$$

dimana :

$M_c$  = Momen berfaktor yang digunakan untuk komponen perancangan komponen struktur tekan

$\delta$  = Faktor pembesaran momen

$M_{2b}$  = Nilai yang lebih besar dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan, dengan catatan jika  $M_{2B} < P_u (15 + 0,003h)$ , maka  $M_{2B}$  harus dianggap sebesar  $M_{2B} = P_u(15 + 0,003h)$

$M_{2B}$  = Nilai yang lebih besar dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping

Faktor pembesar momen  $\delta$  ditentukan berdasarkan ada tidaknya goyangan pada struktur :

- a. Untuk kolom tidak bergoyang :

$$\delta b = \frac{C_m}{1 - P_u / \phi \cdot P_c} \geq 1$$

$$\delta s = 1$$

$P_u$  adalah beban aksial berfaktor dan  $P_c$  adalah beban kritis yang dihitung dengan rumus Euleur :

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(K \cdot Lu)^2}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 (M_{1b}/M_{2b})$$

- b. Untuk kolom yang bergoyang

$$\delta b = \frac{C_m}{1 - P_u / \phi \cdot P_s} \geq 1$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \Sigma P_u / \phi \cdot \Sigma P_c} \geq 1$$

$\Sigma P_u$  dan  $\Sigma P_c$  adalah penjumlahan gaya dari semua kolom dalam satu tingkat.

## 7. Perancangan Kolom Portal Terhadap Beban Lentur dan Aksial

- a. Perancangan Kolom dengan Daktilitas 3 (penuh)

Kuat lentur kolom portal dengan daktilitas penuh yang ditentukan pada bidang muka balok  $M_{u,k}$  harus dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu dengan kolom tersebut. Dalam perancangan ini digunakan prinsip "*kolom kuat balok lemah*". Direncanakan agar kapasitas kolom lebih besar dari kapasitas balok, sehingga menjamin kekuatan kolom tetap berdiri apabila terkena gaya lateral siklis gempa dan menjamin balok sedikit plastis.

Dalam daktilitas penuh, kuat lentur kolom harus memenuhi persamaan dan persyaratan :

$$\Sigma M_{u,k} > 0,7 \infty d \Sigma M_{kap,b} \text{ atau}$$

$$\Sigma M_{uk} > 0,7 \infty d \infty k (M_{kap.ki} + M_{kap.ka})$$

tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$\Sigma M_{uk} = 1,05 \Sigma (M_{DK} + M_{ML} + 4/k \cdot M_{EK})$$

$$M_{kap.b} = \phi_0 \cdot M_{kap.b}$$

$\phi M_{k,n} > M_{k,u}$ , dimana :

$\Sigma M_{uk}$  = Jumlah momen rencana kolom pada pusat join, kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial berfaktor yang konsisten dengan arah gaya dari arah lateral yang ditinjau.

$\infty d$  = Faktor pembesar dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur rencana secara keseluruhan, diambil 1,3.

$$\Sigma M_{kap.b} = M_{kap.ki} + M_{kap}$$

$\Sigma M_{kap.b}$  = Jumlah momen kapasitas balok pada pusat join yang berhubungan dengan kapasitas lentur aktual dari balok (untuk jumlah luas tulangan yang sebenarnya terpasang).

$\Sigma M_{kap.ki}$  = Momen kapasitas lentur balok sebelah kiri bidang muka kolom.

$\Sigma M_{kap.ka}$  = Momen kapasitas lentur balok disebelah kanan bidang muka kolom.

$M_{DK}$  = Momen pada kolom akibat beban mati.

$N_{E,k}$  = Gaya aksial kolom akibat beban gempa.

Untuk kuat geser kolom portal dengan daktilitas penuh berdasarkan terjadinya sendi-sendi plastis pada ujung balok yang bertemu pada kolom tersebut, harus dihitung dengan rumus :

$$V_{UK} = \frac{Mu, k_{atas} + Mu, k_{bawah}}{H_a}$$

Tetapi dengan segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 (V_{D,k} + V_{L,k} + 4,0/k \cdot V_{E,k})$$

dengan :

$M_{u,k_{atas}}$  = Momen rencana kolom pada ujung atas dihitung pada muka balok

$M_{u,k_{bawah}}$  = Momen rencana kolom pada ujung bawah muka balok

$M_{kap,k_{bawah}}$  = Kapasitas lentur ujung kolom lantai dasar =  $\phi o$  .  
 $M_{nak,k_{bawah}}$

$M_{nak,k_{bawah}}$  = Kuat lentur nominal aktual ujung dasar kolom lantai dasar berdasarkan luas tulangan aktual yang terpasang.

$H_a$  = Tinggi bersih kolom

$V_{D,k}$  = Gaya geser kolom akibat beban mati

$V_{L,k}$  = Gaya geser kolom akibat beban hidup

$V_{E,k}$  = Gaya geser kolom akibat beban gempa

$M_{D,L}$  = Momen pada kolom akibat beban hidup

$M_{E,k}$  = Momen pada kolom akibat beban gempa.

$\phi o$  = Faktor pembebanan kekuatan yang memperhitungkan pengaruh penambahan kekuatan maksimal dari tulangan terhadap kuat leleh yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk tulangan dengan  $f_y < 400$  Mpa dan 1,40 untuk  $f_y > 400$  Mpa.

$M_{nak,b}$  = Kuat lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan sebenarnya ada pada penampang balok yang ditinjau.

Beban aksial rencana  $N_{U,k}$  yang bekerja pada kolom portal dengan daktilitas penuh dihitung dari :

$$N_{U,k} = \frac{0,7.Rn.\Sigma M_{Kap,b}}{I_b} + 1,05N_{gk}$$

Tetapi dalam segala hal tidak perlu lebih besar dari :

$$N_{U,k} = 1,05 (N_{g,k} + 4,0 / k \cdot N_{E,k})$$



dengan :

$\Sigma M_{kap,b}$  = Momen kapasitas balok pada pusat join dengan memperhitungkan kombinasi momen positif dan momen negatif.

Rn = Faktor reduksi yang ditentukan sebesar : 1,0 untuk  $1 < n < 4$ ,  
1,1 – 0,025 untuk  $4 < n < 20$ , dan 0,6 untuk  $n > 20$ .

n = Jumlah lantai diatas kolom yang ditinjau

$l_b$  = Bentang balok dari pusat kepusat

$N_{g,k}$  = gaya aksial kolom akibat beban grafitasi

Persyaratan untuk jarak atau spasi maksimum dari sengkang menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.14.4.4, ditetapkan bahwa tulangan transfersal/ sengkang harus dipasang dengan spasi tidak melebihi :

1.  $\frac{1}{4}$  dari dimensi komponen struktur kecil,
2. Lebih kecil atau sama dengan 8 kali diameter tulangan memanjang,
3. Lebih kecil sama dengan 100 mm.

### Perancangan Tulangan Kolom

Untuk menentukan luas tulangan yang harus disediakan, digunakan Grafik Perhitungan Beton Bertulang yang disusun oleh W.C. Vis – Gideon sebagai berikut :

1. Menghitung

$$et = Mu / Pu$$

$$k_1 = \frac{Pu}{\phi.Agr.f'c} x \left( \frac{et}{h} \right)$$

$$k_2 = \frac{Pu}{\phi.Agr.f'c}$$

2. Memilih diagram yang sesuai

Dengan harga  $k_1$  dan  $k_2$  dari diagram tersebut akan didapatkan harga  $\rho$ , sehingga luas tulangan akan diperoleh yaitu  $As = \rho . b . h$

3. Menetapkan ukuran dan jumlah tulangan yang digunakan.

b. Kontrol Kekuatan Kolom Biaksial

Beberapa metoda untuk menganalisis kolom lentur biaksial dari buku “Design Beton Bertulang” Jilid I (C.K. Wang dan C.G. Salmon) :

1. Metoda beban berlawanan dari Bresler :

$$1/P_n = 1/P_x + 1/P_y - 1/P_o$$

$$\phi \cdot P_n > P_u$$

*Dimana* :  $P_x$  = Gaya aksial yang terjadi akibat  $e_y$

$P_y$  = Gaya aksial yang terjadi akibat  $e_x$

$P_o$  = Gaya aksial nominal kolom

2. Metoda kontur beban dari Bresler

$$(M_{ux} / M_{ox}) \cdot \alpha + (M_{uy} / M_{oy}) \cdot \alpha \leq 1,0$$

$M_{ux}$  = Momen perlu arah x

$M_{uy}$  = Momen perlu arah y

$M_{ox}$  =  $M_{ux}$  kapasitas pada beban aksial  $P_u$ , bila  $M_{uy}$  ( $e_y$ ) nol

$M_{oy}$  =  $M_{uy}$  kapasitas pada beban aksial  $P_u$ , bila  $M_{ux}$  ( $e_x$ ) nol

$\alpha$  = Antara 1,15 – 1,55 (pangkat yang tergantung pada dimensi dari penampang, jumlah dan letak penulangan, kekuatan beton, tegangan leleh tulangan dan jumlah dari selimut beton).

3. Metode kontur beban dari Parme :

Untuk  $M_{uy}/M_{oy} > M_{ux}/M_{ox}$  :

$$\frac{M_{uy}}{M_{oy}} + \frac{M_{ux}(1-\beta)}{M_{ox}\beta} \leq 1,0, \quad \beta \text{ rata-rata} = 0,65$$

Untuk  $M_{uy}/M_{oy} < M_{ux}/M_{ox}$

$$\frac{M_{uy}}{M_{oy}} + \frac{M_{ux}(1-\beta)}{M_{ox}\beta} \leq 1,0, \quad \beta \text{ rata-rata} = 0,65$$

## Penulangan Geser

Menurut C.K.Wang dan C.G. Salmon dalam buku “Design Beton Bertulang” jilid I, tulangan geser mempunyai tiga fungsi utama yaitu :

- Memiliki sebagian besar gaya geser yang bekerja,
- Melawan retak miring dan ikut menjaga terpeliharanya lekatan antar agregat,
- Mengikat batang tulangan memanjang agar tetap berada pada tempatnya.

Dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.1, dinyatakan bahwa komponen struktur yang menerima gaya geser harus direncanakan menurut ketentuan sebagai berikut :

$$V_u = \phi \cdot V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$V_u$  = Gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$$V_n = C \cdot (q \text{ rancang} \cdot \frac{1}{2} l_a)$$

*dimana :*

$C$  = Koefisien sebesar 0,5 untuk pelat dalam keadaan dua tumpuan terjepit dan dua tumpuan bebas, juga untuk pelat dalam keadaan tumpuan sekelilingnya terjepit penuh. Koefisien sebesar 0,67 untuk pelat dalam keadaan tiga tumpuan terjepit dan satu tumpuan bebas.

$V_n$  = Gaya geser nominal

$V_c$  = gaya geser nominal beton

$V_s$  = Gaya geser nominal tulangan geser

$\phi$  = Untuk geser dan torsi diambil sebesar 0,6.

Kuat geser nominal beton ( $V_c$ ) untuk struktur yang hanya dibebani oleh lentur dan geser saja (SKSNI T-17-1991-03 pasal 3.4.3) adalah :

$$V_c = 1/6 \cdot (\sqrt{f_c}) \cdot b_w \cdot d$$

Untuk struktur yang dibebani oleh tekan aksial, lentur dan geser :

$$V_c = 2 \cdot \left( \frac{Nu + 1}{14 \cdot Ag} \right) \times 1/6 \cdot (\sqrt{f'c}) \cdot bw \cdot d$$

*Dimana :*

$bw$  = Lebar badan pelat yang ditinjau

$d$  = Tinggi efektif pelat yang ditinjau

$Nu/Ag$  dalam Mpa

Sedangkan kuat geser nominal baja :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}{s}$$

Apabila digunakan sengkang vertikal atau tulangan sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur atau  $\alpha = 90^\circ$ , maka :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

*dimana :*

$A_v$  = Luas tulangan geser dalam jarak  $s$

$f_y$  = Tegangan leleh tulangan geser  $\leq 400$  Mpa

Dengan syarat :  $V_s \leq 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot f'c \cdot bw \cdot d$

Batas spasi tulangan geser ( $s$ ) :

a.  $s \leq d/2$

b.  $s \leq 600$  mm

c. Untuk nilai  $V_s > 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$ ,

(nilai  $s$  diatas harus dikurangi separuhnya).

## Interaksi Kolom

Jarak tulangan atas dengan permukaan atas penampang.

$$D_c = P + \varnothing_{\text{sengkan}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul.ult}}$$

1. Mencari luas tulangan total :

$$\text{Luas tulangan lajur 1} \quad A_{s_1} = \quad \text{mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan lajur 2} \quad A_{s_2} = \quad \text{mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan lajur 3} \quad A_{s_3} = \quad \text{mm}^2$$

$$A_{s_{\text{tot}}} = \quad \text{mm}^2$$

2. Mencari jarak tulangan ke tepi tekanan permukaan kolom

$$d_1 = d_c + \frac{(l-1)(h-d_c)}{n-1}$$

3. Menghitung Interaksi Pn dan Mn

Perhitungan interaksi Pn dan Mn diambil pada saat kolom pada kondisi tekan murni, dimana pada kondisi ini beban yang bekerja hanya beban aksial saja sehingga nilai eksentristas  $e = 0$  dan memberikan letak garis netral tak terhingga  $e = \infty$

*Menghitung Keseimbangan gaya*

Diketahui modulus elastisitas beton ( $f_c = 25 \text{ Mpa}$ ) =  $2,1 \cdot 10^5$

Gaya tarik tulangan pada setiap lajur :

$$C_{s_1} = A_{s_1} \cdot f_{s_1}$$

$$C_{s_2} = A_{s_2} \cdot f_{s_2}$$

$$C_{s_n} = A_{s_n} \cdot f_{s_n}$$

Gaya tekan yang terjadi pada beton :  $0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = (\text{KN})$

Kerennan semua tulangan berada pada daerah tekan, maka gaya tekan beton harus dikurangi dengan gaya tekan beton yang ditempati tulangan:

$$\text{Luas tulangan : } A_{s_t} = (\text{mm}^2)$$

Gaya tekan beton yang diterima tulangan :  $0,85 \cdot f_c \cdot A_s_t = (\text{KN})$

$$P_n = \Sigma C_s + (0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b - 0,85 \cdot f_c \cdot A_s_t) = (\text{KN})$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot P_n$$

$$M_n = (0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) \cdot \frac{1}{2}(h-a) + \Sigma C_s (\frac{1}{2}h - d)$$

$$\phi M_n = 0,65 \cdot M_n$$

Untuk melihat hubungan antara gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, penulis tampilkan tabulasi interaksi kolom beserta diagram interaksinya dengan rumus-rumus sebagai berikut :

Rumus umum jarak tulangan tekan permukaan kolom adalah :

$$d_1 = d_c + \frac{(l-1)(h-2d_c)}{n-1}$$

Dimana :  $i$  = nomor lapis tulangan

$n$  = banyaknya lajur tulangan

Besarnya regangan pada lapis ke- $i$  dapat ditetpkan dengan perbandingan segitiga, dimanana regangan maksimum pada beton adalah 0,003 maka :

$$\varepsilon_s = 0,003 \cdot \left[ \frac{c-d}{c} \right]$$

Tegangan pada lapis ke- $i$  dapat dirumuskan menjadi :

$$f_s = 0,003 \cdot \left[ \frac{c-d}{c} \right] \cdot \varepsilon_s$$

Bila :

$$e_s \geq f_y/E_s, \text{ maka } f_s = f_y$$

$$f_y/E_s \geq e_s \geq f_y/E_s, \text{ maka } f_s = e_s \cdot E_s$$

$$e_s \leq f_y/E_s, \text{ maka } f_s = f_y$$

gaya tulangan ke- $i$  menjadi :

$$C_s = f_s \cdot A_s$$

Dengan mengacu pada rumus keseimbangan :

$$P_n = C_c - S \cdot f_{si} \cdot A_{si} \\ = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b - S \cdot f_{si} \cdot A_{si}$$

Momen pada pusat plastisnya :

$$P_n \cdot e = M_n = C_c \cdot \frac{1}{2}(h - a) + S \cdot f_{si} \cdot A_{si} \left( \frac{1}{2} h - d \right) \\ = (0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) \cdot \frac{1}{2}(h - a) + S \cdot f_{si} \cdot A_{si} \left( \frac{1}{2} h - d \right)$$

Perlu diperhatikan bahwa bila :

$d < a$ , maka harga  $f_{s1} = f_{s1} - 0,85 \cdot f_c$

$d > a$ , maka harga  $f_{s1} = f_{s1}$

#### 4.5. ANALISIS DAN PERENCANAAN PONDASI

Penggunaan pondasi sumuran, dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Daya dukung tanah setempat yang cukup kuat berkisar 3-6 m
2. Jenis portal yang digunakan adalah portal tertutup, dimana momen yang dihasilkan setelah analisa adalah sama dengan 0 ( $\sum M = 0$ ). Dengan demikian pondasi sumuran merupakan pondasi yang tepat untuk struktur gedung ini, karena pondasi sumuran direncanakan untuk tidak menerima momen.
3. Mampu menahan beban struktur atas (*upper structure*).
4. Situasi dan kondisi lingkungan setempat yang padat penduduk.
5. Areal tanah yang cukup

Sistematika perhitungan untuk pondasi sumuran adalah sebagai berikut :

1. Menghitung daya dukung pondasi (L.D. Wesley, 1997 : 126)

$$\bar{\sigma}_t = \frac{q_c}{SF} \quad , \text{ dimana : } \quad \bar{\sigma}_t = \text{Daya dukung pondasi yang diijinkan (kg/cm}^2\text{)}$$

$q_c$  = Tekanan qonus (kg/cm<sup>2</sup>)

SF = Safety Factor (SF = 3) untuk tanah lempung

2. Menghitung beban-beban yang bekerja

Beban yang bekerja pada pondasi terlebih dahulu harus didefinisikan, misalkan beban disebabkan oleh kolom, poer dan berat sendiri pondasi.

3. Menghitung luas yang diijikan

$$A = P \cdot \sigma_t$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

4. Beban yang diijikan

$$qA = q_c \cdot A = q_c \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$qA$  = Beban yang diijikan (kN)

$q_c$  = Tekanan ujung qonus (kN/mm<sup>2</sup>)

$A$  = Luas dasar pondasi (mm<sup>2</sup>)

5. Kontrol pondasi

$\bar{\sigma}_t = P/A$ , dimana :  $P$  = Beban yang dipikul pondasi (kN)

$A$  = luas dasar pondasi (mm<sup>2</sup>)

6. Tulangan pondasi

$$F_{\text{sumuran}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$A = 1\% \cdot F$ , dimana :

$A$  = Luas penampang pondasi

$F$  = Luas penampang sumuran

7. Perhitungan Poer

Asumsi perhitungan poer pondasi adalah :

a. Poer memikul beban yang berasal dari kolom dan sloof

b. Gaya tekan yang dihitung pada poer adalah :

$$\text{Gayatekan} = \frac{\text{Beban}}{F_{\text{sumuran}}}$$

c. Penulangan poer diperhitungkan sebagai berikut :

$$M_u = \phi \cdot M_n$$



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

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot x \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

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

$$k = R_n = M_u / b \cdot d^2$$

$$\rho = \frac{\phi \cdot f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{\phi \cdot f'_c}} \right]$$

$$A_s = \rho \cdot \beta \cdot d$$

d. Kontrol kapasitas

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$$

$$\phi M_n > M_u$$

e. Penulangan geser lintang

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_s = (V_u / \phi) - V_c$$