

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Kuat Tekan Beton

Untuk memperoleh kuat tekan beton digunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk perhitungan kuat desak benda uji silinde beton dapat digunakan rumus berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan,

- $f'c$  = kuat desak beton (MPa)
- $P$  = beban tekan (N)
- $A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

#### 3.2 Modulus Elastis

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 8.5, digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton diijinkan diambil sebesar:

$$Ec = w_c^{1,5} 0,043 \overline{f'c} \quad (3.2)$$

Keterangan,

- $Ec$  = modulus elastisitas beton tekan (MPa)
- $w_c$  = beban tekan (N)
- $f'c$  = kuat tekan (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1440-2560 kgf/m<sup>3</sup>. Untuk beton normal dapat digunakan nilai (SNI 03-2847-2002 Pasal 8.5.1):

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (3.3)$$

### 3.3 Kelangsingan Pada Kolom

Pada SNI 2847-2013 membedakan kolom pendek dan kolom langsing dengan suatu batas yang jelas. Suatu kolom disebut sebagai kolom pendek jika memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Untuk kolom yang tidak di-bresing terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3.4)$$

- b. Untuk kolom yang di-bresing terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40 \quad (3.5)$$

dimana  $M_1/M_2$  adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda. Untuk  $l_u$ , panjang komponen struktur yang tidak ditumpu, harus diambil jarak bersih antara slab lantai, balok, atau komponen struktur lainnya. Untuk  $r$ , radius girasi, boleh diambil 0,30 untuk kolom persegi dan 0,25 untuk kolom bulat. Sedangkan  $K$ , faktor panjang efektif, ditentukan berdasarkan tumpuan kedua ujung kolom. Nilai  $K$  dapat dilihat dibawah ini:

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Bentuk kolom yang tertekuk ditunjukkan oleh garis terputus						
Harga K teoretis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Harga perencanaan yang disarankan bila kondisi ideal hanya merupakan pendekatan	0,65	0,80	1,0	1,2	2,10	2,0
Tanda kondisi ujung	<ul style="list-style-type: none"> <li> Rotasi tak mungkin, Translasi tak mungkin</li> <li> Rotasi bebas, Translasi tak mungkin</li> <li> Rotasi tak mungkin, Translasi bebas</li> <li> Rotasi bebas, Translasi bebas</li> </ul>					

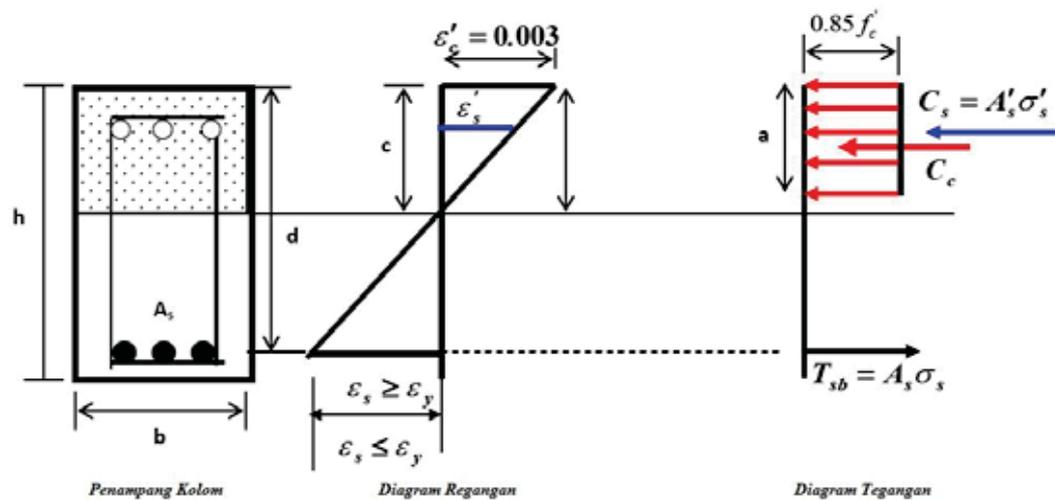
**Gambar 3.1** Nilai K Untuk Kolom Berdasarkan Ujung Kolom  
(Sumber : Dipohusodo, 1996)

### 3.4 Persamaan Kapasitas Kolom

Persamaan keseimbangan dan momen untuk kolom pendek dengan gaya tekan aksial nominal  $P_n$  dalam keadaan runtuh dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (3.6)$$

Momen tahanan nominal  $M_n$ , yaitu sebesar  $P_n e$  dapat diperoleh dengan menuliskan keseimbangan momen terhadap titik berat penampang ke tepi atau seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Untuk kolom yang penulangannya simetris, pusat plastisnya sama dengan pusat geometrisnya. Prinsip balok tegangan persegi ekuivalen yang berlaku pada analisis balok dapat juga diterapkan pada analisis kolom terhadap beban eksentrik seperti pada Gambar 3.2 dibawah ini.



**Gambar 3.2** Distribusi Tegangan Pada Penampang Kolom

$$Mn = Pne = Cc(\bar{y} - a/2) + Cs(\bar{y} - d') + Ts(d - \bar{y}) \quad (3.7)$$

Karena :

$$\bar{y} = \frac{h}{2} \quad (3.8)$$

$$Cc = 0,85f'c b a \quad (3.9)$$

$$Cs = As' f's \quad (3.10)$$

$$Ts = As fy \quad (3.11)$$

Persamaan (3.7) dapat pula ditulis sebagai :

$$Pn = 0,85f'c b a + As' f's - As fy \quad (3.12)$$

$$Mn = Pne = 0,85f'c b a (\bar{y} - a/2) + A'sf's (\bar{y} - d') + Asfs (d - \bar{y}) \quad (3.13)$$

Gaya aksial  $Pn$  tidak dapat melebihi kekuatan dengan aksial maksimum  $Pn$  (maks), yang dihitung dengan persamaan (3.13).

$$Pn_{(maks)} = 0,8\{0,85f'c Ag - Ast + fyAst\} \quad (3.13)$$

dengan nilai eksentrisitas :

$$e = Mn/Pn \quad (3.14)$$

Keterangan,

$c$  = jarak sumbu netral

$\bar{y}$  = jarak dari titik berat penampang ke tepi

$e$  = eksentrisitas beban dari titik berat penampang

$d'$  = selimut efektif tulangan tekan

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan yaitu:

- Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
- Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.

Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan. Apabila  $P_n$  adalah beban aksial dan  $P_{nb}$  adalah beban aksial pada kondisi *balanced*, maka:

(Nawi, 1990)

$$P_n < P_{nb}$$

keruntuhan tarik

$$P_n = P_{nb}$$

keruntuhan *balanced*

$$P_n > P_{nb}$$

keruntuhan tekan

a. Kegagalan tarik (*tension failure*)

Awal keadaan runtuh dalam hal eksentrisitas yang besar dapat terjadi dengan lelehnya tulangan baja yang tertarik. Peralihan dari keruntuhan tekan ke keruntuhan tarik terjadi pada  $e = e_b$ . Jika  $e > e_b$  atau  $P_u < P_b$ , maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang diawali dengan lelehnya tulangan tarik. Tegangan  $f'_s$  pada tulangan tekan dapat

lebih kecil atau sama dengan tegangan leleh baja, dan tegangan tekan faktual dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$f's = Es \varepsilon's = Es \frac{0,003 (c-d')}{c} \quad (3.15)$$

Apabila tulangan tekan diasumsikan telah leleh, dan  $A_s = A_s'$ , maka persamaan (3.13) menjadi: (Nawy, 1990)

$$P_u = 0,85 f'c b \left[ \frac{h}{2} - e \right] + \frac{\left[ \frac{h}{2} - e \right]^2 + \frac{2 A_s f_y (d-d')}{0,85 f'c b}}{2} \quad (3.16)$$

Jika tulangan tekan belum leleh, maka perlu ada *trial and adjustment* nilai  $c$  untuk menghitung  $P_u$  menggunakan persamaan (3.12) dan persamaan (3.13) hingga diperoleh eksentrisitas yang sesuai dengan pengujian.

b. Kegagalan tekan (*compression failure*)

Jika  $e < e_b$  atau  $P_u > P_b$ , kapasitas beban untuk kolom dengan tulangan simetris ( $\rho = \rho'$ ) dapat digunakan persamaan pendekatan Whitney seperti pada persamaan (3.17) di bawah ini: (Park and Paulay, 1975)

$$P_u = \frac{A'sfy}{\frac{e}{d-d'} + 0,5} + \frac{f'c b h}{\frac{3 h e}{d^2} + \frac{6 d h - 3 h^2}{2 d^2}} \quad (3.17)$$

### 3.5 Persamaan kuat tekan beton dengan FRP ( $f'cc$ )

Berikut ini disampaikan beberapa persamaan yang telah dikemukakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya mengenai kuat tekan beton dengan FRP ( $f'cc$ ):

1. Model Teng et al. (2002)

Berdasarkan formula yang diusulkan oleh Richart et al. (1928) telah digunakan oleh banyakan peneliti untuk memprediksi kuat tekan beton FRP pada kolom beton berpenampang bulat.

$$\frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1 + k_1 \frac{f_l}{f'_c} \quad (3.18)$$

Kolom persegi yang dibungkus menggunakan FRP mempunyai perbedaan dengan kolom bulat. Ketidakteraturan pengeang mereduksi keefektifitas kekangan dari FRP dan selanjutnya kuat tekan beton terkekang bervariasi pada penampang kolom. Untuk memprediksi kuat tekan beton kolom persegi yang terkekang, Teng et al. memodifikasi persamaan (3.18) dengan memasukkan factor bentuk ( $k_s$ ) dihitung untuk mempertimbangkan pengaruh ketidakteraturan pengeang (Hadi & Widiarsa, 2012).

$$\frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1 + k_1 k_s \frac{f_l}{f'_c} \quad (3.19)$$

$$k_s = \frac{b}{h} \frac{A_e}{A_c} \quad (3.20)$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{b}{h} h - 2R_c^2 + \frac{h}{b} b - 2R_c^2 / (3A_g) - \rho_{sc}}{1 - \rho_{sc}} \quad (3.21)$$

$$A_g = bh - (4 - \pi)R_c^2 \quad (3.22)$$

$$f_l = \frac{2f_{frp}t_{frp}}{h^2 + b^2} \quad (3.23)$$

$$f_{frp} = E_{frp}\epsilon_{frp} \quad (3.24)$$

Keterangan,

$f'_{cc}$	= kuat tekan beton terkekang
$b$	= lebar
$h$	= tinggi kolom
$A_e$	= area terkekang efektif
$A_c$	= total area beton
$R_c$	= radius sudut
$\rho_{sc}$	= rasio luas tulangan
$k_l$	= 2,98 (prediksi kekuatan FRP untuk kolom persegi).
$f_l$	= tekanan pengekan lateral
$E_{frp}$	= 230000 MPa
$\varepsilon_{frp}$	= 0,004 (Sianipar, 2009)

## 2. Richart's Model (1928)

Model analitis kekangan pada prinsipnya menyatakan hubungan antara kuat tekan dengan tegangan lateral yang timbul akibat kekangan. Persamaan dasar yang menggambarkan hubungan tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l \quad (3.25)$$

Keterangan,

$f'_{cc}$	= kuat tekan beton terkekang
$f'_{co}$	= kuat tekan beton tidak terkekang
$f_l$	= tegangan lateral pengekan
$k_1$	= koefisien kekangan

Richart et al. mengusulkan nilai  $k_1$  sebesar 4,1 untuk mutu beton normal (Imran dan Cornelius, 2005).

## 3. Lam dan Teng (2003)

Persamaan kuat tekan beton terkekang yang dikemukakan oleh Lam dan Teng adalah sebagai berikut (Pati, 2014),

$$\frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1 + 3,3 \frac{A_e}{A_c} \frac{f_l}{f'_c} \quad (3.26)$$

Keterangan,

- $f'_{cc}$  = kuat tekan beton terkekang
- $f'_c$  = kuat tekan beton tidak terkekang
- $A_e$  = area terkekang efektif
- $A_c$  = total area beton
- $f_l$  = tekanan pengekang lateral

Pada penelitian ini ( $A_e/A_c$ ) dan  $f_l$  digunakan persamaan Teng et al. (2002).

### 3.6 Hipotesis

Berdasarkan pada tinjauan pustaka dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga dapat disimpulkan jawaban sementara adalah kapasitas kolom akan meningkat seiring dengan penambahan jumlah lapisan CFRP dengan syarat tanpa adanya variasi eksentrisitas dan variasi bentuk penampang kolom.