

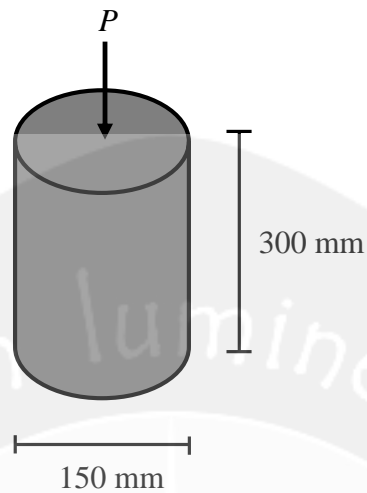
## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Kuat Tekan Beton

Sifat utama beton adalah memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur (Mulyono, 2004). Nilai kekuatan, mutu, dan daya tahan (*durability*) tergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, dan kondisi perawatan pengawasannya. Beberapa hal itu dapat menghasilkan beton yang memberikan kelecakan (*workability*) dan konsistensi dalam pengerjaan beton, ketahanan terhadap kondisi khusus (kedap air, korosif, dll), dan dapat memenuhi uji kuat yang direncanakan (Dipohusodo, 1994, halaman 1).

Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan pengujian yang menacu pada standar yang umumnya digunakan yaitu standar ASTM (*American Society for Testing and Material*). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 3. 1 Pengujian Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Silinder

Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai kuat tekan beton adalah sebagai berikut :

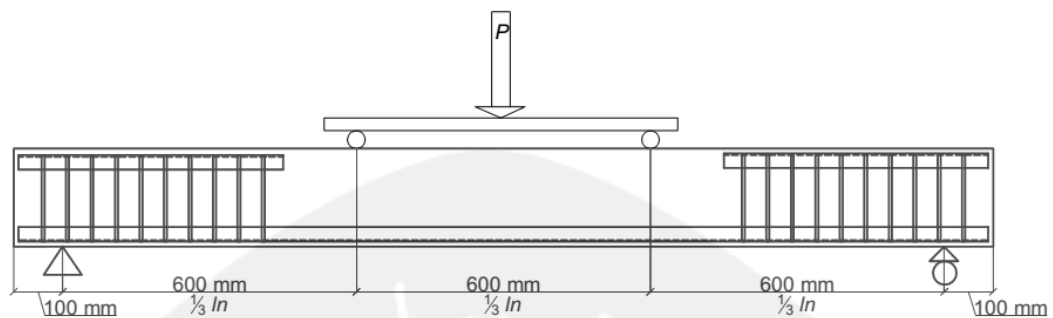
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3- 1)$$

Keterangan :  $f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)  
 $A$  = Luas bidang desak benda uji ( $\text{mm}^2$ )  
 $P$  = Beban tekan (N)

### **3.2. Kuat Lentur Balok**

Kekuatan tarik di dalam lentur yang dikenal dengan modulus runtuh (*modulus of rupture*) merupakan sifat yang penting di dalam menentukan retak dan lendutan balok. Saat terjadi momen lentur positif, regangan tekan akan terjadi pada bagian atas balok dan regangan tarik akan terjadi pada bagian bawah balok. Oleh karena itu balok yang dirancang harus mampu menahan tegangan tekan dan tarik.

Pengujian ini menggunakan balok sebagai benda uji dengan ukuran panjang bentang bersih 1800 mm, lebar 125 mm, dan tinggi 200 mm. Pengujian kuat lentur balok dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pengujian Kuat Lentur Balok (satuan dalam mm)

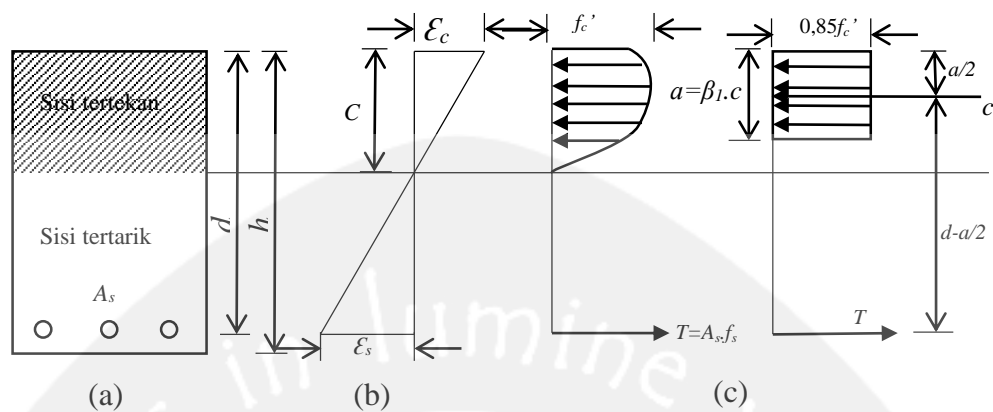
Tegangan lentur balok dapat dihitung dengan persamaan berikut (Nawy, 1990) :

$$f_r = \frac{Mc}{I} \quad (3-2)$$

keterangan :  $f_r$  = tegangan lentur (MPa)  
 $M$  = momen maksimum (Nmm)  
 $c$  = letak garis netral (mm)  
 $I$  = momen Inersia (mm<sup>4</sup>)

### 3.3. Balok dengan Tulangan Tunggal

Gaya tekan pada balok beton bertulangan tunggal semua gaya tekan ditahan hanya oleh beton ( $C_c$ ). Analisa balok beton bertulang tunggal dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Distribusi tegangan dan regangan balok; (a) penampang melintang balok; (b) regangan; (c) blok regangan balok yang diasumsikan  
(Sumber : Vis dan Gideon 1993: halaman 39)

Balok tulangan tunggal adalah balok yang memiliki tulangan tarik.

Sehingga rumus momen nominalnya adalah :

$$M_n = C_c \times Z \quad (3-3)$$

dimana :

$$C_c = a \times b \times 0,85 \times f'_c \quad (3-4)$$

$$Z = d - \frac{a}{2} \quad (3-5)$$

$$f'_s = \varepsilon_{cu} \times \frac{c - d'}{c} E_s \quad (3-6)$$

$$a = c \times \beta_1 \quad (3-7)$$

Keseimbangan gaya yang terjadi dari penampang balok :

$$\sum F_H = 0 \quad (3-8)$$

$$C_c = C_s \quad (3-9)$$

$$C_s = A_s \times f_y \quad (3-10)$$

Sehingga persamaan (3-10) bila dijabarkan menjadi :

$$a \times b \times 0,85 \times f'_c = A_s \times f_y \quad (3- 11)$$

Ketentuan hubungan dasar antara beban dengan kekuatan sebagai berikut :

$$M_u \leq \phi M_n \quad (3- 12)$$

Keterangan :

$M_n$  : momen nominal (N.mm)

$C_c$  : gaya pada daerah tekan penampang (N)

$C_s$  : gaya pada tulangan tekan (N)

$Z$  : jarak antara gaya  $C_c$  ke  $C_s$  (mm)

$A_s$  : luas tulangan tarik ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  : tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (MPa)

$d$  : jarak dari serat tarik terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)

$d'$  : jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)

$a$  : tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm)

$c$  : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)

$\mathcal{E}_{cu}$  : regangan tekan beton pada batas retak (regangan ultimit), yang menurut pasal 12.2.3 SNI 03-2847-2002 diasumsikan sebesar 0,003

$E_s$  : modulus elastis baja non-prategang dengan nilai sebesar 200.000 MPa (MPa)

$\beta_1$  : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen

- untuk  $f'_c \leq 30$  MPa ( $300 \text{ kg/cm}^2$ ) berlaku  $\beta_1=0,85$
- untuk  $f'_c > 30$  MPa ( $300 \text{ kg/cm}^2$ ) berlaku  $\beta_1=0,85-0,008.(f'_c - 30)$
- nilai  $\beta_1$  tidak boleh diambil kurang dari 0,65

$\phi$  : faktor reduksi sebesar 0,8

### 3.4. Tulangan Memanjang (longitudinal)

Tulangan memanjang adalah tulangan yang dipasang memanjang sumbu balok.

$$A_s = \rho \times b \times d = n \times A_{\text{baja tulangan}} \quad (3- 13)$$

Nilai  $A_s$  memiliki batasan minimum sebagai berikut :

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \times b \times d \quad (3- 14)$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \quad (3- 15)$$

Keterangan :

$A_{s \text{ min}}$  : luas tulangan tarik minimum ( $\text{mm}^2$ )

- $f_y$  : tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (MPa)  
 $d$  : jarak dari serat tarik terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)  
 $b$  : lebar balok (mm)

### 3.5. Pengecekan Keruntuhan

Pengecekan keruntuhan lentur yang berdasarkan perbandingan antara  $V_u$  dan  $V_c$  dapat dilihat pada rumus dibawah ini :

$$V_u < V_c \quad (3-16)$$

Dimana  $V_u$  dapat dihitung dari :

$$\phi V_n = V_u \quad (3-17)$$

(SNI Pasal 13.1.1)

Dengan  $V_u$  adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  adalah kuat geser nominal yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-18)$$

(SNI Pasal 13.1.1)

Gaya geser tahanan nominal  $V_c$  dapat dihitung dari :

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad (3-19)$$

(SNI Pasal 13.3.1.1)

Apabila tidak memenuhi syarat seperti pada rumus 3-16, maka diperlukannya desain tulangan geser.

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (3-20)$$

Maka jarak antar sengkang dapat dicari dengan rumus :

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \quad (3-21)$$

Dengan jarak sengkang maksimum :

$$s_{maks} = \frac{d}{2} \quad (3-22)$$

Keterangan :

$V_s$  : kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (kN)

$V_n$  : kuat geser nominal (kN)

$V_c$  : kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (kN)

$f'_c$  : kuat tekan beton (MPa)

$b_w$  : lebar badan (mm)

$A_v$  : luas tulangan geser dalam daerah sejarak  $s$  (mm<sup>2</sup>)

$f_y$  : kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja non-prategang (MPa)

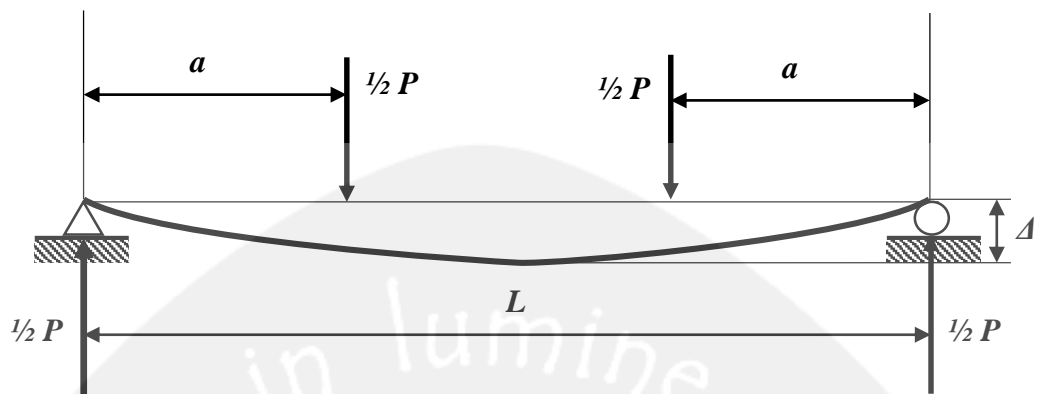
$d$  : jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)

$s$  : jarak antar sengkang (mm)

### **3.6. Beban dan Defleksi**

Defleksi atau lendutan pada balok terjadi akibat pembebanan. Walaupun telah dicek keamanan terhadap lentur dan geser, balok bisa tidak layak apabila terlalu fleksibel atau lentur. Maka tinjauan defleksi balok merupakan salah satu bagian dari proses desain (Spiegel dan linbrunner, 1991).

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja (SNI 03 – 2847 – 2002).



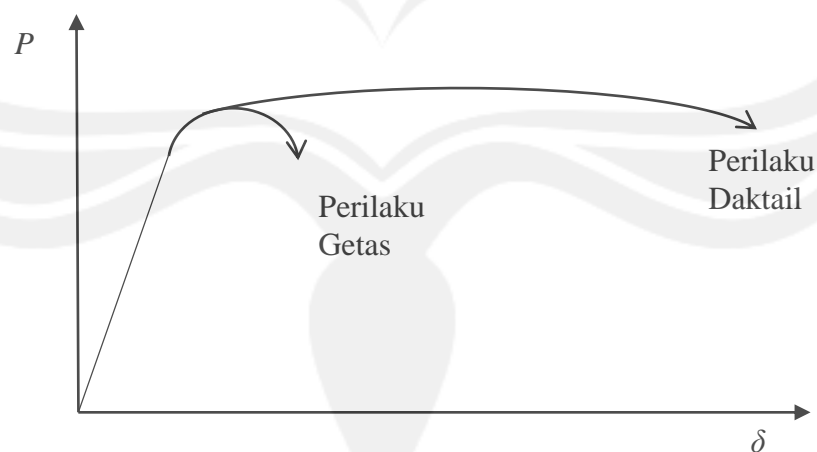
Gambar 3. 4 Lentutan Balok Dipengaruhi Beban Terpusat

$$EI\Delta = \frac{1}{2} \left( \frac{L}{2} \right) \left( \frac{PL}{2} \right) \left( \frac{2L}{3} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{L-2a}{2} \right) \times \left[ - \left( \frac{PL}{2} - \frac{Pa}{2} \right) \right] \left[ a + \frac{2}{3} \left( \frac{L-2a}{2} \right) \right]$$

$$EI\Delta = \frac{PL^2}{16} - \frac{Pa^3}{12}$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \left( \frac{3a}{L} - \frac{4a^3}{L^3} \right)$$

Menurut Park dan Paulay (1975) kurva hubungan beban dan lentutan seperti berikut :

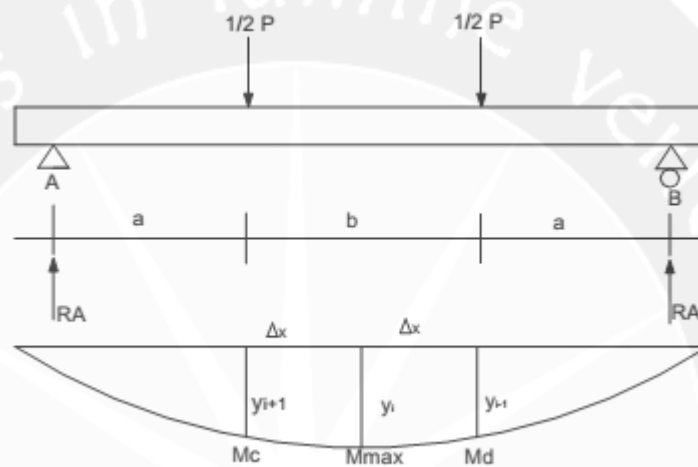


Gambar 3. 5 Kurva Hubungan Beban dan Lentutan



### 3.7. Kelengkungan Balok

Pada suatu potongan balok kelengkungan dapat ditentukan dengan pendekatan metode *central difference* dengan memanfaatkan tiga titik diskrit yang berurutan (Chapra dan Canale, 1989). Mengacu kepada gambar 3.4 dan dari *deret taylor* :



Gambar 3. 6 Lendutan Balok Tumpuan Sederhana Akibat Beban Terpusat

$$f(y_{i+1}) = f(y_i) + f'(y_i)\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}\Delta x^2 + \dots \quad (3-23)$$

Untuk mendapatkan turunan kedua digunakan  $f(y_{i+2})$  sehingga *deret taylor* adalah sebagai berikut :

$$f(y_{i+2}) = f(y_i) + f'(y_i)2\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}(2\Delta x)^2 + \dots \quad (3-24)$$

Apabila persamaan 3-23 dikalikan 2 kemudian untuk mengurangi persamaan 3-24, maka diperoleh :

$$f(y_{i+2}) - 2f(y_{i+1}) = -f(y_i) + \frac{f''(y_i)}{2}\Delta x^2 \quad (3-25)$$

$$f''(y_{i+2}) = \frac{f(y_{i+1}) - 2f(y_i) + f(y_{i-1}))}{\Delta x^2} \quad (3-26)$$

Untuk bentang tengah :

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+1}) - 2f(y_i) + f(y_{i-1}))}{\Delta x^2} \quad (3-27)$$

Dimana,

$$f'' = \frac{d^2y}{dx^2} = \phi \quad (3-28)$$

Sehingga :

$$\phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3-29)$$

### **3.8. Beban Pada Saat Retak Pertama**

Modulus retak ( $f_r$ )

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} \quad (3-30)$$

(Vis dan Gideon 1993 : 37)

Momen retak ( $M_{cr}$ )

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I}{y} \quad (3-31)$$

(SNI 03-2847-2002 11.5.2(3))

Kelengkungan saat retak ( $\phi_{retak}$ )

$$\phi_{retak} = \frac{f_r / E_c}{y} \quad (3-32)$$

Dengan modulus beton normal,

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \quad (3-33)$$

Keterangan :

$f_r$  : modulus retak beton (MPa)

$f_c'$  : kuat tekan beton (MPa)

$M_{cr}$  : momen retak (Nmm)

$I$  : momen inersia penampang ( $\text{mm}^4$ )

$y$  : jarak antara titik berat desak beton ke titik berat tarik beton (mm)

$\phi_{retak}$  : lendutan (1/mm)

$E_c$  : modulus elastisitas beton (MPa)

### **3.9. Beban Pada Saat Leleh Pertama**

Dengan menganggap beban elastis, maka :

$$M_y = A_s x f_y x z \quad (3- 34)$$

Keterangan :

$M_y$  : momen saat luluh (Nmm)

$A_s$  : luas tulangan tarik ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  : kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja non-prategang (MPa)

$z$  : jarak antara gaya  $C_c$  ke  $C_s$  (mm)

