

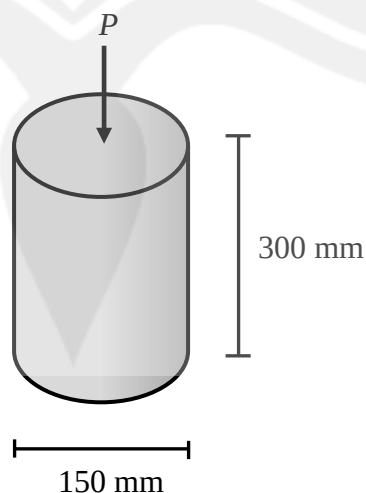
BAB III

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). Kualitas atau mutu beton bergantung pada kuat tekan beton yang dihasilkan, bila kuat tekan beton yang dihasilkan semakin tinggi maka mutu beton tersebut akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan pengujian yang mengacu 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 :

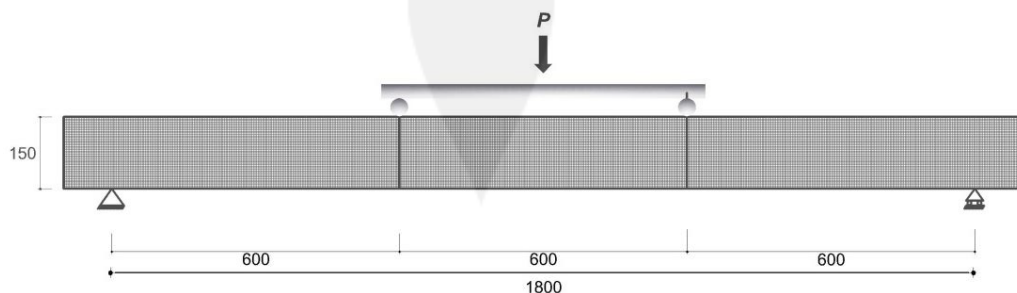
$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3-1)$$

di mana : f_c' = Kuat tekan beton (MPa)
 A = Luas bidang desak benda uji (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 100 mm, dan tinggi 150 mm. Pengujian kuat lentur balok dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengujian Kuat Lentur Balok (satuan dalam mm)

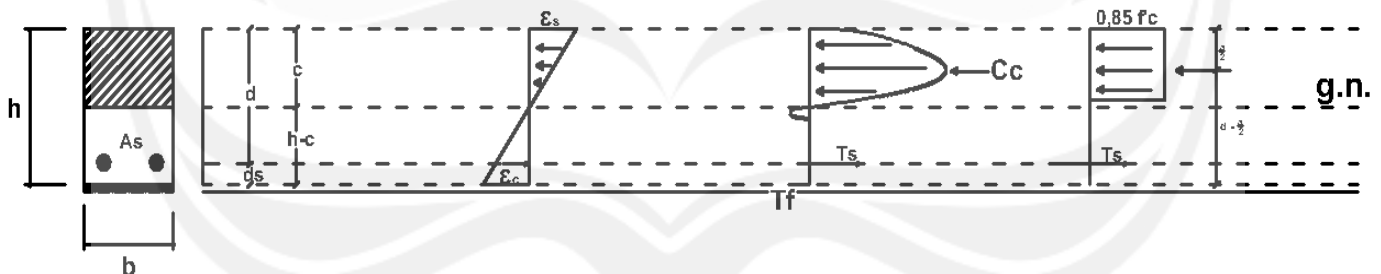
Kuat tarik balok dapat dihitung dengan persamaan berikut (Nawy, 1990) :

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

di mana : f_r = Tegangan lentur (MPa)
 M = Momen maksimum (Nmm)
 c = Letak garis netral (mm)
 I = Momen Inersia (mm⁴)

3.3 Momen Ultimit

Perancangan balok beton bertulang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga semua materialnya (beton dan baja tulangan) mencapai kapasitasnya sebelum runtuh. Gaya tekan pada balok beton bertulangan rangkap atau ganda ditahan secara bersama-sama oleh beton (C_c) dan tulangan tekan (T_s), berbeda pada balok beton bertulangan tunggal, semua gaya tekan ditahan hanya oleh beton (C_c). Analisa balok tulangan rangkap dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok Beton Normal yang Dilapisi *Fiber Glass Jacket*

Keterangan Pada Gambar 3.3 :

C_c : gaya tekan beton (N)

T_s : gaya tarik tulangan (MPa)

T_f : gaya tarik *fiber glass* (N)

f_c' : kuat tekan beton normal (MPa)

b : lebar balok tertekan (mm)

d : tinggi balok diukur dari tepi sisi yang tertekan ke titik berat luas beton (mm)

d_s : tinggi balok diukur dari tepi bawah balok ke setengah balok utama (mm)

h : tinggi total balok (mm)

a : tinggi tekanan ekuivalen (mm)

A_s : luas tulangan tarik (mm^2)

ϵ_s : regangan pada tepi sisi yang tertekan

ϵ_c : regangan pada tulangan baja yang tertarik

g.n. : garis netral

Supaya kesetimbangan gaya horizontal terpenuhi, gaya tekan C_c pada beton dan gaya tarik T_s pada tulangan harus saling mengimbangi, dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

$$C_c = T_s + T_f \dots\dots\dots(3-3)$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b = (A_s \times f_y) + T_f \dots\dots\dots(3-4)$$

$$a = \frac{(A_s \times f_y) + T_f}{0,85 \times f_c' \times a \times b} \dots\dots\dots(3-5)$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) + T_f \dots\dots\dots(3-6)$$

Karena $C_c = T_s + T_f$, maka persamaan momen dapat ditulis sebagai berikut ini.

$$M_n = C_c \times Z \dots\dots\dots(3-7)$$

$$M_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b \times (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots(3-8)$$

$$M_u = M_n \dots\dots\dots(3-9)$$

Menentukan beban maksimum (P) dengan persamaan yaitu :

$$M_u = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \dots\dots\dots(3-10)$$

$$P = \frac{6 \cdot Mu}{L} \dots\dots\dots(3-11)$$

3.4 Perancangan Keruntuhan Lentur

Pemeriksaan apakah suatu balok akan mengalami keruntuhan lentur maka keruntuhan geser harus lebih kuat dibanding keruntuhan lentur. Terlebih dahulu ditentukan persamaan untuk mengetahui kekuatan geser maksimu (V_u) dan Kekuatan geser rencana beton (ϕV_c) dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

$$V_{u \max} = \frac{1}{2} \cdot P \dots\dots\dots(3-12)$$

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(3-13)$$

Dengan syarat $V_{u \max} < \phi V_c$ (kegagalan pada lentur)

Menentukan kekuatan geser nominal dari sengkang dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \dots\dots\dots(3-14)$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots(3-15)$$

Dengan jarak sengkang maksimum yang akan digunakan dapat dilihat pada persamaan ini.

$$S_{teoritis} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots(3-16)$$

$$S = \frac{d}{2} \dots\dots\dots(3-17)$$

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)

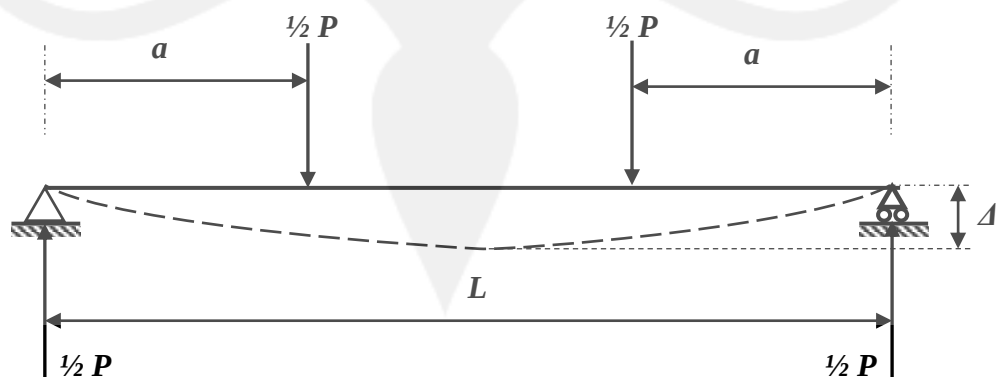
b_w = Lebar badan (mm)

- A_v = Luas tulangan geser dalam daerah sejarak s (mm^2)
- 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)

3.5 Hubungan Beban dan Defleksi

Defleksi atau lendutan pada balok terjadi akibat pembebanan. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan sehingga mengakibatkan muncul dan bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok (Nawy, 1990).

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, 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. 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 Limbrunner, 1991).



Gambar 3.4 Lendutan Balok Dipengaruhi Beban Terpusat

Nilai defleksi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$EI\Delta = \frac{1}{2}\left(\frac{L}{2}\right)\left(\frac{PL}{2}\right)\left(\frac{2L}{3}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{L-2a}{2}\right) \times \left[-\left(\frac{PL}{2} - \frac{Pa}{2}\right)\right] \left[a + \frac{2}{3}\left(\frac{L-2a}{2}\right)\right] \dots (3-18)$$

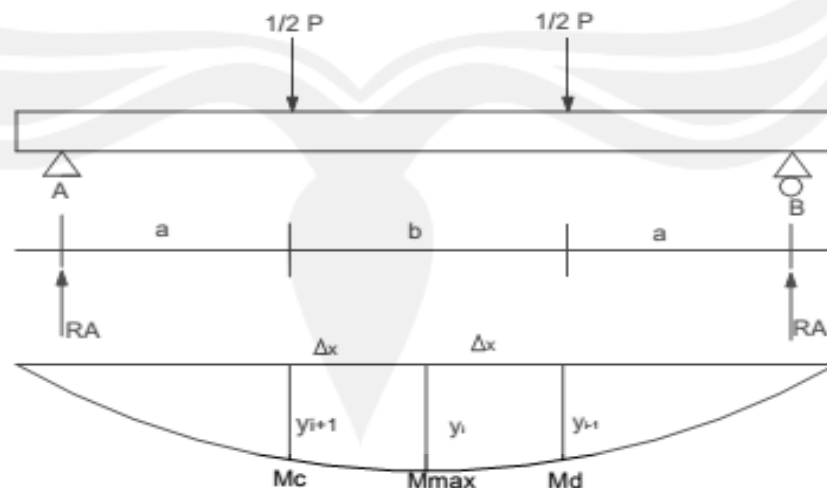
$$EI\Delta = \frac{PL^2}{16} - \frac{Pa^3}{12} \dots (3-19)$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \left(\frac{3a}{L} - \frac{4a^3}{L^3} \right) \dots (3-20)$$

Keterangan : E = modulus elastisitas beton (MPa)
 I = momen inersia balok (mm^4)
 Δ = defleksi (mm)
 P = beban luar (N)
 L = bentang balok (mm)
 a = jarak beban dari tumpuan (mm)

3.6 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 3.5 dan dari *Deret Taylor* sebagai berikut ini.



Gambar 3.5 Lendutan Balok Tumpuan Sederhana Akibat Beban Terpusat
 (Sumber : Chapra dan Canale, 1989)

$$f(y_{i+1}) = f(y_i) + f'(y_i)\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}\Delta x^2 + \dots \quad (3-21)$$

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

$$f(y_{i+2}) = f(y_i) + f'(y_i)2\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}(2\Delta x)^2 + \dots \quad (3-22)$$

Apabila persamaan (3-21) dikalikan 2 kemudian untuk mengurangkan persamaan (3-22), maka diperoleh :

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

$$f''(y_{i+2}) = \frac{f(y_{i+1}) - 2f(y_i) + f(y_{i+1}))}{\Delta x^2} \quad (3-24)$$

Untuk bentang tengah :

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

Di mana,

$$f'' = \frac{d^2y}{dx^2} = \phi \quad (3-26)$$

$$\text{Sehingga: } \phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3-27)$$

3.7 Beban Pada Saat Retak Pertama

Menurut (Vis dan Gideon, 1993) modulus retak (f_r) dapat dihitung pada persamaan (3-28).

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} \quad (3-28)$$

Berdasarkan (SNI 03-2847-2002) Momen retak (M_{cr}) dapat dihitung pada persamaan (3-29).

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I}{y} \dots\dots\dots (3-29)$$

Kelengkungan saat retak (ϕ_{retak})

$$\phi_{retak} = \frac{f_r / E_c}{y} \dots\dots\dots (3-30)$$

Dengan modulus beton normal,

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3-31)$$

Keterangan :

f_r	= modulus retak beton (MPa)
f'_c	= kuat tekan beton (MPa)
M_{cr}	= momen retak (Nmm)
I	= momen inersia penampang (mm ⁴)
y	= jarak antara titik berat desak beton ke titik berat tarik beton (mm)
ϕ_{retak}	= lendutan (1/mm)
E_c	= modulus elastisitas beton (MPa)

3.8 Beban pada Saat Luluh Pertama

Dengan menganggap beban elastis, maka perhitungan beban luluh baja sebagai berikut ini.

$$M_y = A_s \times f_y \times z \dots\dots\dots (3-32)$$

Keterangan :

M_y	= momen saat luluh (Nmm)
A_s	= luas tulangan tarik (mm ²)
f_y	= kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja non-prategang (MPa)
z	= jarak antara gaya C_c ke C_s (mm)