

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu peran penting dalam menentukan mutu beton. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton dalam menahan besarnya beban per satuan luas. Beton diuji menggunakan *compressing testing machine* dengan cara dibebani oleh gaya tekan tertentu yang menyebabkan benda uji hancur. Berikut cara menentukan nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

Keterangan

- f_c' = Kuat tekan beton (MPa) ;
- P = Beban Tekan (N) ; dan
- A = Luas penampang benda uji (mm²).

3.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan hasil pengujian ketahanan benda uji yang mengalami deformasi elastisitas saat benda uji diberikan gaya tertentu. Modulus elastisitas didapatkan dengan membandingkan antara nilai tekanan dan perubahan bentuk per satuan panjang, sehingga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3-2)$$

Keterangan

- E = Modulus elastisitas beton (MPa) ;
- σ = Tegangan (MPa) ; dan
- ε = Regangan (MPa).

3.3 Estimasi Dimensi Balok

Dimensi balok terdiri dari lebar dan tinggi balok dimana lebar dan tinggi dimensi pada balok memiliki ketentuan yaitu nilainya tidak boleh lebih kecil dari nilai minimum. Nilai minimum lebar dan tinggi balok antara lain :

$$h_{min} = \frac{1}{12} L \dots\dots\dots(3-3)$$

$$b_{min} = \frac{2}{3} h_{min} \dots\dots\dots(3-4)$$

Keterangan :

L = Panjang bentang balok (mm) ;

h_{min} = tinggi minimum balok (mm) ; dan

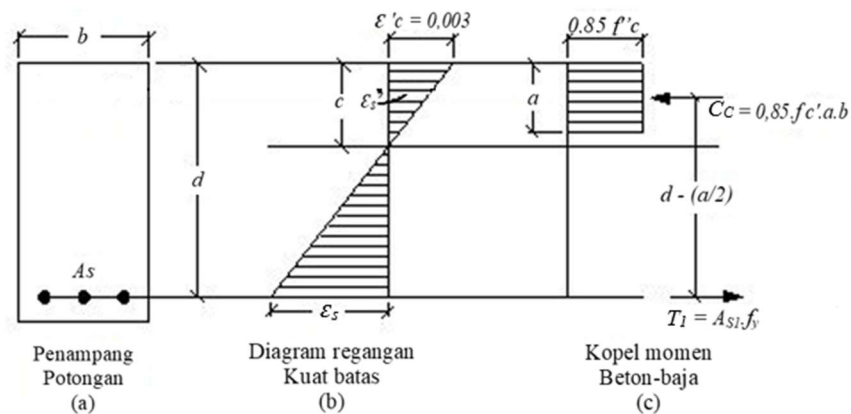
b_{min} = lebar minimum balok(mm).

3.4 Kuat Lentur Balok

Balok bertulang adalah material dengan bahan penyusun yang terbuat dari beton dan tulangan baja yang direncanakan berdasarkan asumsi bahwa nantinya beton dan tulangan baja tersebut akan bekerja sama memikul gaya-gaya yang akan disalurkan. Berdasarkan penulangan yang dilakukan balok bertulangan dibagi menjadi 2 jenis yaitu balok bertulang tunggal dan balok bertulang rangkap

3.4.1 Kuat lentur tulangan tunggal

Tulangan tunggal adalah penulangan yang menahan gaya hanya terpasang pada satu sisi saja yaitu pada bagian balok yang menerima gaya tarik. Pada desain tulangan tunggal, beton diasumsikan akan menahan gaya tekan sedangkan tulangan baja akan menahan gaya tarik sehingga pada kondisi seimbang besarnya gaya tarik pada tulangan baja sama dengan nilai tekan pada beton. Analisis distribusi gaya pada tulangan tunggal dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Distribusi Gaya Internal Pada Balok Tulangan Tunggal

Berdasarkan Gambar 3.1 gaya tekan yang bekerja harus sama dengan gaya tarik yang bekerja sehingga gaya internal yang bekerja dalam suatu penampang mencapai kesetimbangannya. Rumus persamaan keseimbangan gaya internal :

$$C_c = T \dots\dots\dots (3-5)$$

$$C_c = 0,85 f_c' b a \dots\dots\dots (3-6)$$

$$T = A_s f_y \dots\dots\dots (3-7)$$

Keterangan :

- C_c = Gaya tekan pada beton (N) ;
- T = Gaya tarik pada baja (N) ;
- a = Tinggi blok tegangan tekan (mm) ;
- b = Lebar balok (mm) ;
- f_c' = Kuat tekan beton (MPa) ;
- f_y = Tegangan leleh baja (MPa) ; dan
- A_s = Luas tulangan (mm^2).

Maka menyatakan kuat lentur balok ditentukan dari kuat nominal momen suatu luas penampang (M_n), yaitu sesuai persamaan berikut :

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

atau

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (3-9)$$

Keterangan :

M_n = Kuat nominal momen lentur (Nmm) ;

a = Tinggi blok tegangan tekan (mm) ;

b = Lebar balok (mm) ;

f_c' = Kuat tekan beton (MPa) ;

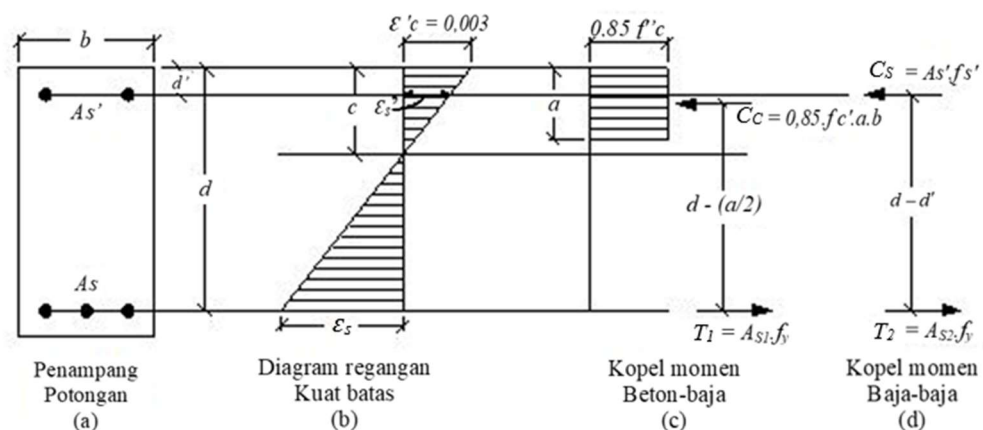
f_y = Tegangan leleh baja tulangan (MPa) ;

A_s = Luas tulangan (mm^2) ; dan

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).

3.4.2 Kuat lentur tulangan rangkap

Tulangan rangkap adalah susunan penulangan berada pada bagian yang menerima gaya tekan dan gaya tarik balok. Pada balok bertulangan rangkap diasumsikan beton dan tulangan pada daerah tekan akan menahan gaya tekan sedangkan tulangan baja pada daerah tarik akan menahan gaya tarik. Analisis distribusi gaya pada tulangan rangkap dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Distribusi Gaya Internal Pada Balok Tulangan Rangkap

Berdasarkan Gambar 3.2 gaya tekan yang bekerja harus sama dengan gaya tarik yang bekerja sehingga gaya internal yang bekerja dalam suatu penampang mencapai kesetimbangannya. Rumus persamaan keseimbangan gaya internal :

$$C_c + C_s = T \dots\dots\dots(3-10)$$

$$C_c = 0,85 f_c' b a \dots\dots\dots(3-11)$$

$$C_s = A_s' f_s' \dots\dots\dots(3-12)$$

$$T = A_s f_y \dots\dots\dots(3-13)$$

Keterangan :

C_c = Gaya tekan pada beton (N) ;
 C_s = Gaya tekan pada baja (N) ;
 T = Gaya tarik pada baja (N) ;
 a = Tinggi blok tegangan tekan (mm) ;
 b = Lebar balok (mm) ;
 f_c' = Kuat tekan beton (MPa) ;
 f_s' = Tegangan tulangan tekan (MPa) ;
 f_y = Tegangan leleh baja (MPa) ;
 A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2) ; dan
 A_s = Luas tulangan tarik (mm^2).

Dengan substitusi :

$$a = \beta c \dots\dots\dots(3-14)$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} 600 \dots\dots\dots(3-15)$$

Keterangan :

c = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm) ;
 a = Tinggi blok tegangan tekan (mm) ;
 β = berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 sebagai berikut :
 a) untuk $f_c' \leq 28$ MPa $\beta = 0,85$
 b) untuk $28 < f_c' < 55$ MPa $\beta = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right)$
 c) untuk $f_c' > 55$ MPa $\beta = 0,65$
 f_s' = Tegangan tulangan tekan (MPa) ; dan
 d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm).

Sehingga diperoleh persamaan :

$$0,85 f_c' b c \beta + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0 \dots\dots\dots(3-16)$$

Maka menyatakan kuat lentur balok ditentukan dari kuat nominal momen suatu luas penampang (M_n), yaitu sesuai persamaan berikut :

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \dots\dots\dots(3-17)$$

$$M_n = 0,85 f_c' b a \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \dots\dots\dots(3-18)$$

Keterangan :

M_n = Kuat nominal momen lentur (Nmm) ;

a = Tinggi blok tegangan tekan (mm) ;

b = Lebar balok (mm) ;

f_s' = Kuat tekan beton (MPa) ;

f_y = Tegangan leleh baja tulangan (MPa) ;

A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2) ;

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm) ; dan

d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm).

3.5 Kuat Geser Balok

McCormac (2001:240) meninjau kekuatan geser nominal sebagai gabungan dari kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dan kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Sehingga kekuatan geser nominal pada balok dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(3-19)$$

Keterangan

V_n = Kuat geser nominal (KN) ;

V_c = Kuat geser nominal yang disediakan oleh beton (KN); dan

V_s = Kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (KN).

Dimana untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja , maka kapasitas kemampuan beton untuk menahan gaya geser dapat dicari dengan persamaan :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \dots\dots\dots(3-20)$$

Keterangan

V_c = Kuat geser nominal yang disediakan oleh beton (N) ;

f_c' = Kuat tekan beton (MPa) ;

b = Lebar balok (mm) ; dan

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).

Dimana bila tulangan geser yang digunakan tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, maka kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser dapat dicari dengan persamaan :

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

Keterangan

V_s = Kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N) ;

A_v = Luas tulangan geser (mm²) ;

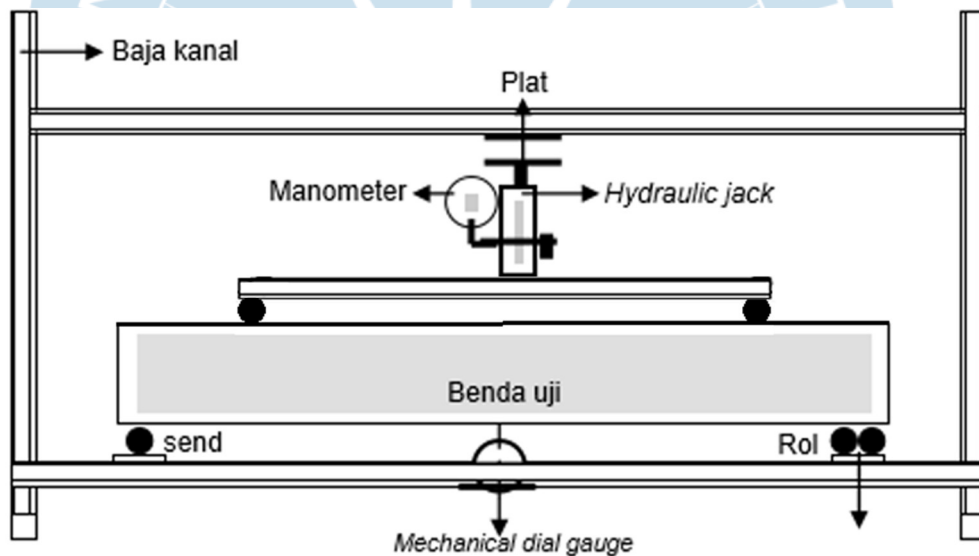
f_y = Tegangan leleh baja tulangan (MPa) ;

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm) ; dan

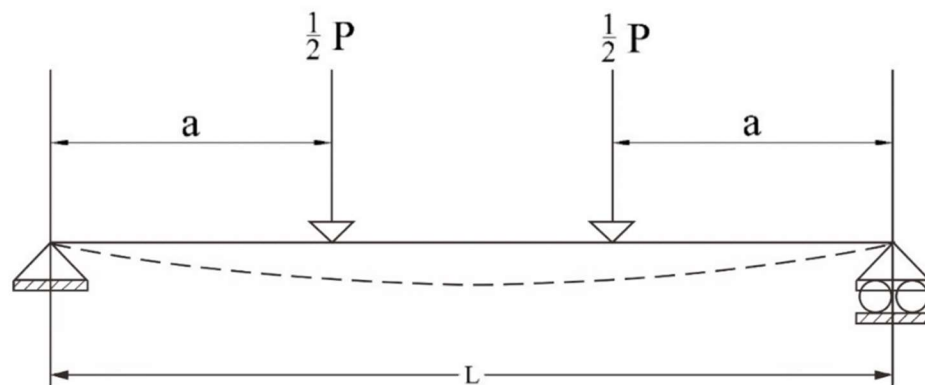
s = Jarak antar tulangan geser (mm).

3.6 Beban Terpusat

Pengujian pembebanan pada balok dilakukan dengan alat uji seperti pada Gambar 3.3. Beban terpusat akan disalurkan kepada plat baja yang nantinya beban tersebut akan terdistribusi pada balok melalui ujung-ujung plat sehingga balok akan menerima beban pada 2 titik seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Sketsa Alat Uji Lentur



Gambar 3.4 Pembebanan Pada Balok Disebabkan Oleh 2 Titik

Dimana beban terpusat dapat dihitung dengan persamaan M_u seperti persamaan berikut :

$$M_u = \frac{1}{6} PL \dots\dots\dots(3-22)$$

$$P = \frac{6M_u}{L} \dots\dots\dots(3-23)$$

Keterangan

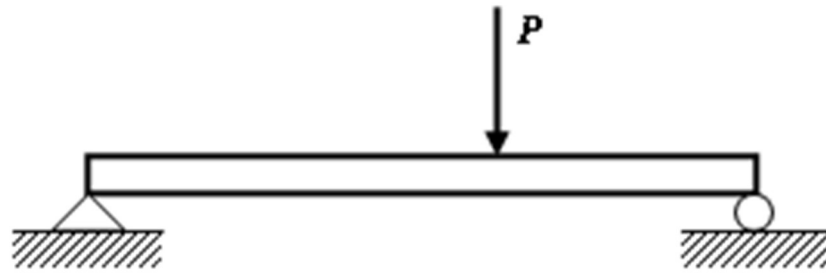
M_u = Momen ultimit balok (Nmm) ;

P = Beban terpusat (N) ; dan

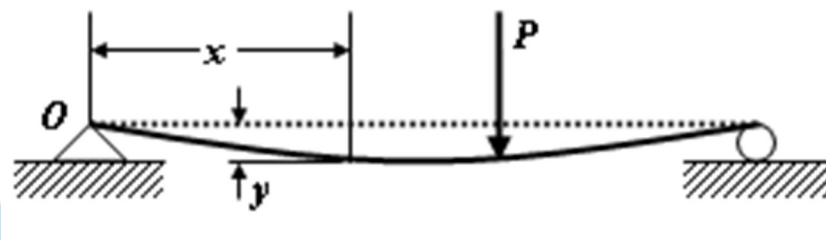
L = Panjang bentang (mm)

3.7 Lendutan

Lendutan merupakan perubahan bentuk balok terhadap arah sumbu y akibat pembebanan vertikal pada balok. Lendutan pada balok diukur dari posisi netral awal pada Gambar 3.5 ke posisi setelah mengalami deformasi pada Gambar 3.6. Jarak perpindahan beton sebesar y didefinisikan sebagai besar lendutan balok, sedangkan nilai x merupakan panjang tertentu pada balok. Hubungan antara nilai lendutan dengan jarak tertentu balok disebut persamaan kurva elastis dari balok.



Gambar 3.5 Balok Sebelum Terjadi Deformasi



Gambar 3.6 Balok Dalam Konfigurasi Deformasi

Pembebanan oleh beban terpusat akan mengakibatkan lendutan pada balok. Lendutan pada balok dipengaruhi oleh modulus elastisitas dalam menahan tahanan sehingga lendutan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$EIA = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{PL}{2} \right) \left(\frac{2L}{3} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{L-2a}{2} \right) \times \left[- \left(\frac{PL}{2} - \frac{Pa}{2} \right) \right] \left[a + \frac{2}{3} \left(\frac{L-2a}{2} \right) \right] \quad (3-24)$$

$$EIA = \left(\frac{PL^2}{16} - \frac{Pa^3}{12} \right) \dots \dots \dots (3-25)$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \left(\frac{3a}{L} - \frac{4a^3}{L^3} \right) \dots \dots \dots (3-26)$$

Keterangan

- E = Modulus elastisitas beton (MPa) ;
- I = Momen inersia pada balok bertulang (mm^4) ;
- Δ = Lendutan (mm) ;
- P = Beban luar (N) ;
- L = Panjang bentang balok (mm) ; dan
- a = Jarak beban dari tumpuan.

3.8 Kekakuan

Kekakuan adalah kemampuan material untuk mempertahankan sifat tidak elastis. Kekakuan berfungsi untuk menjaga bangunan agar tidak melewati batas nilai lendutan yang telah ditentukan saat perencanaan. Nilai kekakuan didapatkan dari sudut kemiringan hubungan beban dan lendutan, sehingga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$K = \frac{48EI}{L^3 \left(\frac{3a}{L} - \frac{4a^3}{L^3} \right)} \dots\dots\dots(3-28)$$

Keterangan

K = Kekakuan (KN/mm) ;

E = Modulus elastisitas beton (MPa) ;

I = Momen inersia pada balok bertulang (mm⁴) ;

L = Panjang bentang balok (mm) ; dan

a = Jarak beban dari tumpuan.

3.9 Daktilitas

Menurut Sumirin, (2006) daktilitas merupakan kemampuan elemen struktur untuk berdeformasi setelah mencapai kekuatan puncak tanpa terjadi penurunan kekuatan yang terlalu besar. Daktilitas pada struktur ketika menerima beban merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan bangunan yang dijadikan standar kelayakan dalam mengontrol kerusakan. Menurut Paulay dan Priestly (1992) daktilitas perpindahan adalah perbandingan antara perpindahan struktur maksimum terhadap perpindahan struktur saat leleh. Sehingga daktilitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots(3-27)$$

Keterangan

μ = Daktilitas ;

Δ_u = Lendutan ultimit (mm) ; dan

Δ_y = Lendutan saat leleh (mm).