

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material yang terdiri dari beton dan baja tulangan. Beton sendiri memiliki kuat tekan tinggi. Baja memiliki kuat tarik tinggi. Kelebihan dari masing – masing material tersebut menjadi konfigurasi yang baik antara beton dan baja tulangan dalam menahan gaya – gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton sedangkan gaya tarik ditahan oleh tulangan baja.

Pada setiap penampang beton bertulang, terdapat gaya – gaya yang dapat diuraikan menjadi komponen – komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang beton bertulang tersebut. Komponen yang tegak lurus terhadap penampang beton bertulang tersebut merupakan tegangan - tegangan lentur. Komponen – komponen tersebut berfungsi untuk memikul momen lentur dan gaya – gaya geser pada penampang beton bertulang tersebut.

3.2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besaran beban per satuan luas. Nilai kuat tekan beton diperoleh melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara bertahap dengan kecepatan peningkatan beban tertentu sampai terjadi kehancuran benda uji (SK SNI 03-1974-1990). Besarnya nilai kuat tekan beton dapat ditentukan menggunakan rumus :

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

keterangan:

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji silinder (mm²)

3.3. Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas merupakan suatu ukuran kekerasan (*stiffness*) dari suatu bahan tertentu. Modulus elastisitas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang diantaranya adalah sifat-sifat agregat dan semen, umur beton, jenis dan ukuran dari benda uji, kecepatan pembebanan.

Menurut (Wang & Salmon, 1986) digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = \frac{f_c}{\varepsilon_c} \quad (3-2)$$

Keterangan:

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

f_c = Tegangan beton (MPa)

ε_c = Regangan beton

Nilai modulus elastisitas dapat dicari sesuai dengan hukum Hooke dengan nilai tegangan regangan pada kondisi elastis linier dengan rumus berikut :

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

Keterangan:

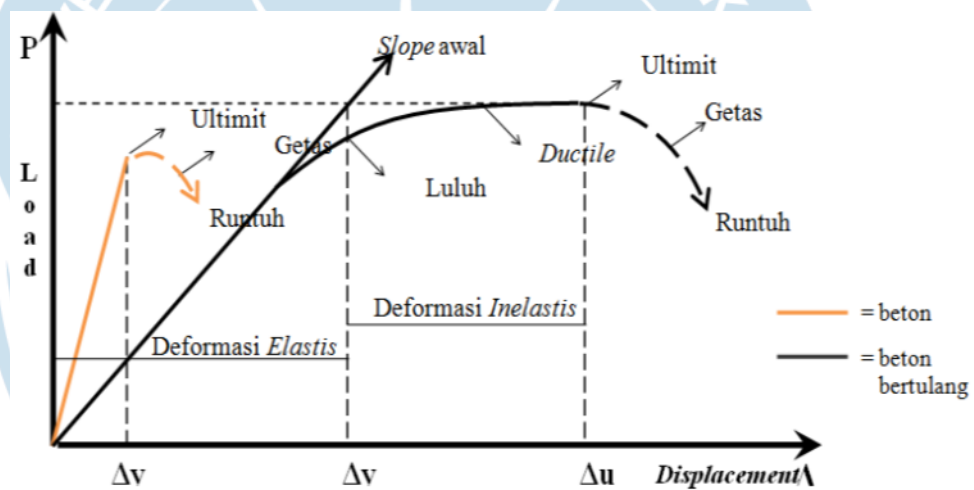
E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan beton (MPa)

ε = Regangan beton

3.4. Daktilitas

Park & Ruitong, (1988) mendefinisikan daktilitas sebagai kemampuan elemen untuk berdeformasi tanpa mengalami reduksi kapasitas lentur yang berarti. Struktur dengan daktilitas yang tinggi dapat memberikan peringatan dini jika akan terjadi kehancuran total struktur secara mendadak. Struktur yang daktil juga tahan gempa karena terjadi penyerapan dan pemancaran energi dengan deformasi pasca elastis. Perilaku daktil dan getas pada beton dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Perilaku Daktil dan Getas Pada Beton
Sumber : Punmia, dkk (2007)

Pada penelitian (Lianasari dkk, 2019) daktilitas balok ditentukan dengan perbandingan antara defleksi saat leleh pertama dengan defleksi ultimit balok. Nilai daktilitas (μ) dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (3-4)$$

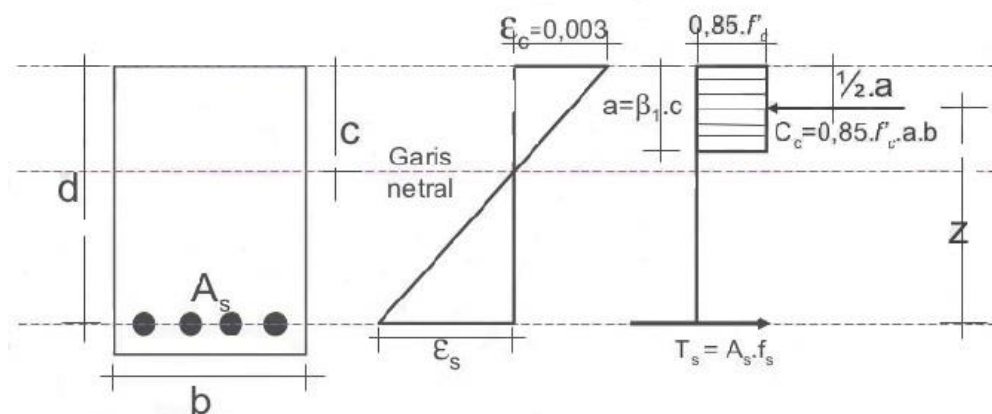
Keterangan :

μ = Displacement ductility factor

Δu = Lendutan ultimit (mm)
 Δy = Lendutan saat leleh (mm)

3.5. Balok Beton Tulangan Tunggal

Dalam perancangan struktur beton bertulang, hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat perencanaan mengenai struktur beton bertulang yang akan dibuat. Dalam penelitian ini direncanakan struktur beton bertulang tunggal, sehingga gaya tekan pada balok beton bertulang tunggal hanya akan ditahan oleh beton dan gaya tariknya ditahan oleh tulangan baja.



Gambar 3.2 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Tulangan Tunggal
 Sumber : Siahaan, (2014)

Analisis balok tulangan tunggal.

1. Ditentukan rasio penulangan terlebih dahulu.

karena $fc' > 28$ maka menggunakan persamaan :

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{fc' - 28}{7} \times 0,05 \right) \quad (3-5)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \quad (3-6)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \quad (3-7)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-8)$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-9)$$

jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$, maka digunakan tulangan tunggal

2. Menentukan luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (3-10)$$

$$A_{s\ min} = 0,0018 \times b \times h \quad (3-11)$$

Jika $A_s > A_{s\ min}$, maka luas tulangan yang digunakan adalah A_s

3. Menentukan nilai n :

$$n = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times d \right)} \quad (3-12)$$

4. Karena $Cc = Ts$, maka persamaan momen dapat ditulis sebagai berikut :

$$Cc = 0,85 \times f_c' \times b \times a \quad (3-13)$$

$$Mn = \phi \times \left[Cc \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] \quad (3-14)$$

$$Mn = Mu \quad (3-15)$$

Keterangan :

Cc = Gaya pada daerah tekan penampang (N)

A_s = Luas tulangan tarik (mm²)

$A_{s\ min}$ = Luas tulangan tarik minimum (mm²)

n = Jumlah tulangan balok

ρ = Rasio penulangan

ρ_{min} = Rasio penulangan maksimum

ρ_{maks} = Rasio penulangan maksimum

ρ_b = Rasio penulangan dalam keadaan seimbang

f_y = Tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (MPa)

d = Jarak dari serat tarik terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)

a = Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm)

ϕ = Faktor reduksi

$\beta 1$ = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen

1. Untuk $f_c' \leq 28$ MPa (300 kg/cm²) berlaku $\beta 1 = 0,85$

2. Untuk $f_c' > 28$ MPa (300 kg/cm²) berlaku $\beta 1 = 0,85 - 0,005 \cdot ((f_c' - 28) / 7) \geq 0,65$

3. Nilai $\beta 1$ tidak boleh diambil kurang dari 0,65

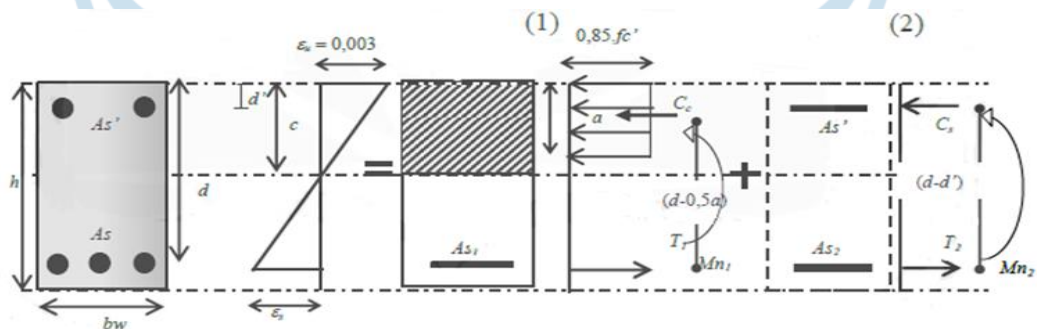
M_u = Momen *ultimate* (Nmm)

M_n = Momen nominal (Nmm)

3.6. Balok Beton Tulangan Rangkap

Balok dengan tulangan rangkap yaitu balok dimana tulangan baja tarik dipasang di daerah tarik dan tulangan tekan di pasang di daerah tekan. Perancangan balok dengan tulangan rangkap dilakukan apabila momen yang bekerja melebihi momen yang dapat dipikul balok dengan tulangan tunggal.

Gaya tekan pada balok beton tulangan rangkap ditahan secara bersama – sama oleh beton (Cc) dan tulangan tekan (Cs), berbeda pada balok tulangan tunggal semua gaya hana ditahan oleh beton (Cc). Analisis balok tulangan rangkap dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Tulangan Rangkap

Sumber : Siahaan, (2014)

Penampang balok tulangan rangkap dapat dianalisis dengan anggapan tampang balok dibagi menjadi 2, seperti pada Gambar 3.2. Dalam menganalisis balok tulangan rangkap terdapat 2 kondisi, yaitu :

1. Tulangan tekan sudah luluh

Bila tulangan tekan sudah luluh, maka $f_s' = f_y$

Gambar 3.2 bagian (1) :

$$T1 = A_s1 \cdot f_y = Cc \quad (3-16)$$

$$Mn1 = T1 (d - 0,5.a) \quad (3-17)$$

Gambar 3.2 bagian (2) :

$$C_s = A_s' \cdot f_y \quad (3-18)$$

$$Mn2 = C_s (d - d') \quad (3-19)$$

Sehingga momen nominal dan momen ultimate balok tulangan rangkap adalah:

$$Mn = Mn1 + Mn2 \quad (3-20)$$

$$Mu = \phi \cdot Mn \quad (3-21)$$

Tulangan tekan (A_s') dianggap leleh bila $\epsilon_s' > \epsilon_y$, dengan nilai ϵ_s' dan ϵ_y adalah sebagai berikut :

$$\epsilon_s' = \frac{\epsilon_{cu} \cdot (c-d')}{c} = \frac{0,003(c-d')}{c} \quad (3-22)$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{2 \times 10^5} \quad (3-23)$$

2. Tulangan tekan belum luluh

Kondisi tulangan tekan belum luluh bila $\epsilon_s' < \epsilon_y$

$$f_s' \neq f_y \quad (3-24)$$

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' \quad (3-25)$$

Sehingga momen nominal dan momen *ultimate* balok tulangan rangkap adalah :

$$Mn = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \cdot (d - 0,5.a) + [A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d')] \quad (3-26)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n \quad (3-27)$$

Keterangan :

C_c = Gaya pada daerah tekan penampang (N)

C_s = Gaya pada tulangan tekan (N)

A_s = Luas tulangan tarik (mm²)

f_y = Tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (MPa)

f_s' = Tegangan luluh baja pada daerah tekan 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

Φ = Faktor reduksi

β_1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen

1. Untuk $f_c' \leq 28$ MPa (300 kg/cm²) berlaku $\beta_1 = 0,85$

2. Untuk $f_c' > 28$ MPa (300 kg/cm²) berlaku $\beta_1 = 0,85 - 0,005 \cdot ((f_c' - 28)/7) \geq 0,65$

3. Nilai β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

M_u = Momen *ultimate* (Nmm)

M_n = Momen nominal (Nmm)

3.7. Perancangan Kekuatan Geser Balok

Perencanaan geser untuk komponen – komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihanannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser.

Menurut SK SNI T-15-1991-03 yang menjadi dasar perencanaan tulangan geser adalah :

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3-28)$$

Atau

$$V_u \leq \phi (V_c + V_s) \quad (3-29)$$

Keterangan :

V_u = Gaya geser terfaktor (KN)

V_c = Kekuatan geser yang disumbangkan beton (KN)

V_s = Kekuatan geser yang disumbangkan tulangan (KN)

ϕ = Faktor reduksi
 V_n = Kekuatan geser nominal (KN)

Tulangan geser, V_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-30)$$

Dengan jarak antar Sengkang dan jarak Sengkang maksimum yang akan digunakan dapat dilihat dari persamaan :

$$S = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \quad (3-31)$$

Keterangan :

V_u = Gaya geser terfaktor (KN)
 ϕ = Faktor reduksi kekuatan bahan
 V_s = Gaya geser nominal yang tersedia pada sengkang (N)
 A_v = Luas penampang sengkang (mm^2)
 f_{yt} = Kuat luluh sengkang (MPa)
 d = Tinggi efektif penampang balok (mm)
 S = Jarak antara pusat ke pusat tulangan geser menuju arah sejajar tulangan utama memanjang (mm)

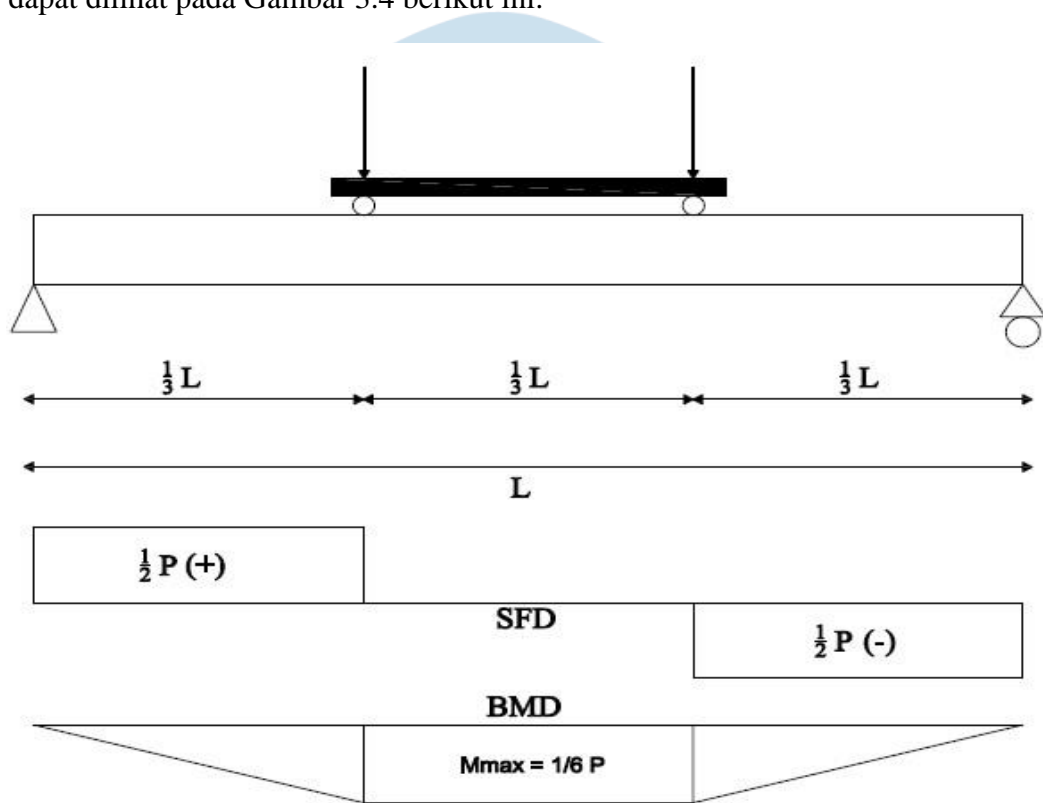
Cormac, (2001 : 240), mendefinisikan kekuatan geser adalah kekuatan geser nominal (V_n) menjadi jumlah dari kekuatan yang diberikan oleh tulangan dan beton dengan persamaan 3.31 berikut.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-32)$$

Keterangan :

V_c = Kuat geser beton (KN)
 V_n = Kuat gaya geser nominal (KN)
 V_s = Kuat gaya geser disebabkan oleh tegangan geser (KN)

Perencanaan beton bertulang terhadap gaya geser yaitu keadaan lentur murni, hal ini dikarenakan faktor yang menentukan adalah perilaku dari struktur dalam tahap keruntuhan. Untuk menjelaskan tentang diagram gaya dan momen maka dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Diagram Gaya dan Momen Akibat Pembebanan Pada Balok

Seandainya beban sendiri balok diabaikan, maka gaya geser pada kedua tepi balok di antara tumpuan dan beban terpusat mencapai nilai maksimum sebesar $V = \frac{1}{2}P$. Sedangkan gaya geser di bagian tengah balok sama dengan nol (saat momen mencapai nilai maksimum). Momen maksimum berada tepat di antara dua beban terpusat yang nilainya sebesar $M = \frac{1}{6}P$. Semakin mendekati tumpuan nilai momen ini akan berkurang secara linear, dan pada tumpuan nilai $M = 0$.

3.8. Perancangan Kekuatan Lentur Balok

Menurut (Nawy, 1998) analisis balok bertulang rangkap pada lentur menyangkut penentuan kuat nominal momen suatu penampang (M_n) adalah sebagai berikut :

$$M_{n1} = A_{s1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-33)$$

$$M_{n2} = A_{s'} f_y (d - d') \quad (3-34)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3-35)$$

Tinggi blok tegangan beton :

$$a = \frac{A_{s1} f_y}{0,85 f_c' b} \quad (3-36)$$

Letak garis netral :

$$C = \frac{a}{\beta} \quad (3-37)$$

Keterangan :

M_n = Kuat nominal momen lentur (Kg.cm)

a = Tinggi blok tegangan tekan beton (cm)

b = Lebar penampang (cm)

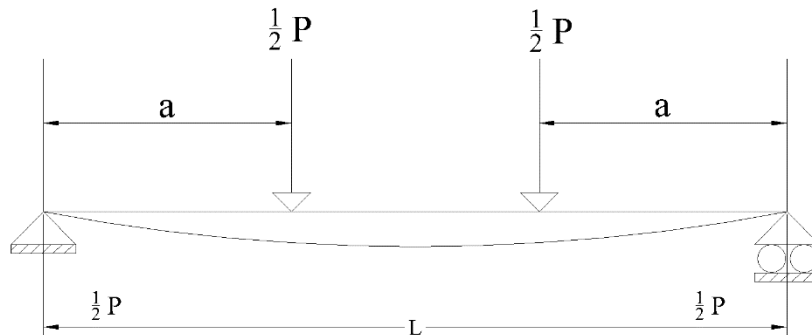
C = Jarak serat terluar ke garis netral (cm)

d = Jarak dari serat teluar kepusat tulangan tarik (cm)

d' = Jarak dari serat tekan terluar kepusat tulangan tekan (cm)

3.9. Lendutan Balok Beton Tulangan Rangkap

Menurut (Spiegel & Linbrunner, 1991), jika suatu beban menyebabkan munculnya lentur, maka balok pasti akan mengalami defleksi atau lendutan. Meskipun sudah dilakukan pengecekan keamanan terhadap lentur dan geser, suatu balok dapat dikategorikan tidak layak apabila terlalu fleksibel. Maka lendutan dapat ditinjau pada Gambar 3.5 yang disebabkan oleh beban terpusat.



Gambar 3.5 Lendutan Pada Balok yang Disebabkan Oleh Beban Terpusat
Sumber : Spiegel, (1998)

Lendutan pada balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$EI\Delta = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{PL}{2}\right) \left(\frac{2L}{3}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{L-2a}{2}\right) \times \left[-\left(\frac{PL}{2} - \frac{P}{2}a\right)\right] \left[a + \frac{2}{3} \left(\frac{L-2a}{2}\right)\right] \quad (3-38)$$

$$EI\Delta = \left(\frac{PL^2}{16} - \frac{P \cdot a^3}{12}\right) \quad (3-39)$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \left(\frac{3 \cdot a}{L} - \frac{4 \cdot a^3}{L^3}\right) \quad (3-40)$$

Keterangan :

E = Modulus elastisitas beton (MPa)

I = Momen inersia pada balok bertulang (mm^4)

Δ = Defleksi (mm)

P = Beban luar (N)

L = Panjang bentang balok (mm)

a = Jarak beban dari tumpuan (mm)