

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dan baja. Kombinasi keduanya membentuk suatu elemen struktur dimana dua macam komponen saling bekerjasama dalam menahan beban yang bekerja/dibebankan ke elemen tersebut, dimana beton menahan gaya tekan dan geser yang terjadi, sedangkan tulang baja mempunyai fungsi menahan gaya tarik (lentur). Hasil kombinasi dari keduanya, menghasilkan banyak keuntungan dari masing-masing material seperti : daya tahan yang baik terhadap api dan cuaca, kekuatan tekan yang baik, serta kemampuan istimewa dari beton untuk dibentuk dan kekuatan tarik yang tinggi serta daktilitas (kelentukan) dan keliatan yang jauh lebih besar dari baja.

Beton bertulang tidak homogen, karena terbentuk dari dua material yang berbeda. Metode-metode yang dipakai dalam analisis beton bertulang berbeda dengan metode yang dipakai dalam perencanaan atau dalam penyelidikan yang hanya terdiri dari baja, kayu ataupun material struktur lainnya. Pada setiap penampang beton bertulang, terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang beton bertulang itu sendiri. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang beton bertulang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada satu sisi dari sumbu netral dan tekan pada sisi lainnya). Fungsi dari komponen-komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada

penampang baeton bertulang tersebut. Komponen-komponen tersebut memikul gaya-gaya geser atau transversal.

Agar kuat geser pada balok beton bertulang dapat diamati, dalam perencanaan perlu diperhatikan dimensi dari elemen tersebut ditinjau dari lentur dan geser yang terjadi. Oleh sebab itu dalam perencanaannya lentur harus lebih kuat dari geser, maksudnya agar tidak terjadi keruntuhan lentur terlebih dahulu sebelum keruntuhan geser, sehingga kekuatan geser tetap dapat diamati.

3.2. Balok Beton dengan Tulangan Lentur

Balok beton jika dibebani secara tegak lurus terhadap sumbu panjangnya (lateral), akan mengalami lenturan pada arah panjangnya. Lenturan tersebut jika tidak ditahan suatu bahan struktur maka balok tersebut akan mengalami kerusakan yang ditandai dengan terjadinya retakan pada balok beton, sehingga balok beton tersebut mengalami keruntuhan. Fungsi dari baja tulangan yang diletakan sejajar arah memanjang balok adalah untuk memberikan ketahanan terhadap lentur yang terjadi. Perencanaan penulangan lentur pada balok beton bisa dilakukan dengan dua macam cara, yaitu dengan penulang tarik (lentur) dan yang kedua berupa penulangan tarik disertai dengan penulangan tekan (rangkap).

Kekuatan tarik beton adalah $1/10$ dari kekuatan tekannya, sehingga beton lemah dalam menahan tarik tetapi kuat dalam menahan tekan. Bila suatu balok beton dikenai beban vertikal maka pada bagian atas balok akan tertekan dan pada bagian bawah akan tertarik, untuk itu pada bagian balok diberi tulangan baja. Pada

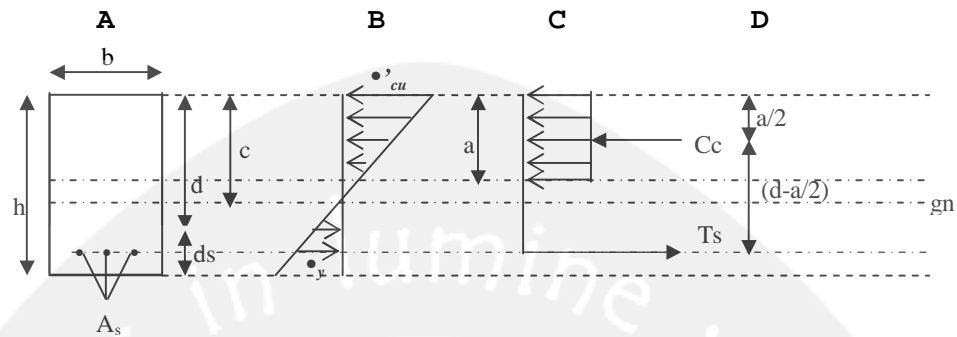
balok dengan dukungan sederhana (sendi-rol), momen pada ujung-ujung balok adalah nol, dengan pertimbangan tersebut maka digunakan tulangan tunggal.

Tetapi dalam pelaksanaannya tetap digunakan tulangan tarik pada ujung tumpuan sepanjang $\frac{1}{4}$ bentang. Dalam hal ini balok dianggap mempunyai dukungan jepit pada kedua sisinya, yang jika dibebani akan menimbulkan dua macam momen, yaitu momen positif pada elemen yang mengalami tarik (tengah bentang) dan momen negatif pada elemen yang mengalami tekan (tumpuan). Dengan pertimbangan tersebut maka digunakan tulangan tunggal.

3.3. Balok Tulangan Tunggal (Tarik)

Suatu keadaan pembebanan terhadap lentur murni adalah bila penampang hanya dibebani momen lentur, maka terdapat keadaan keseimbangan dalam berupa $\sum H = 0$. Ini berarti $C_c = T_s$. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar yang menyatakan bahwa regangan tekan beton dan batas leleh baja yang diisyaratkan tercapai bersamaan. Diagram regangan tersebut berdasarkan $\epsilon'_{cu} = 3.10^{-3}$ dan

tegangan tarik baja $\sigma_y = \frac{f_y}{E_s}$



Gambar 3.1. Diagram Gaya dan Regangan Penampang Balok Persegi dengan Tulangan Tarik Tunggal

Dari Gambar 3.1.C didapatkan kesetimbangan gaya yang terjadi dari penampang balok adalah sebagai berikut:

- $FH = 0$

$$C_c = T_s$$

$$C_c = 0,85 f_c' . a . b \dots\dots\dots (3.1)$$

$$T_s = A_s . f_y \dots\dots\dots (3.2)$$

Sehingga :

$$0,85 . a . b = A_s . f_y \dots\dots\dots (3.3)$$

$$a = \frac{A_s . f_y}{0,85 . f_c' . b} \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana :

C_c = gaya pada daerah tekan penampang (N)

T_s = gaya tarik baja tulangan (N)

a = daerah tekan beton (mm)

f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

b = lebar balok (mm)

h = tinggi balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

A_s = tulangan pada daerah tarik balok (mm²)

f_y = tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (Mpa)

dengan $a = \beta_1 \cdot c$ (3.5)

c adalah letak sumbu netral dari sisi atas penampang dalam satuan mm dan β_1 mempunyai ketentuan sebagai berikut :

- $f_c' \leq 30$ MPa maka $\beta_1 = 0,85$
- $f_c' > 30$ MPa maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 30)}{7}$

dengan catatan $\beta_1 \geq 0,65$

Momen nominal (M_n) dari tampang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$M_n = C_c \cdot Z = T_s \cdot Z$ (3.6)

$Z = (d - a/2)$

Sedangkan momen ultimitnya dapat dihitung dengan rumus :

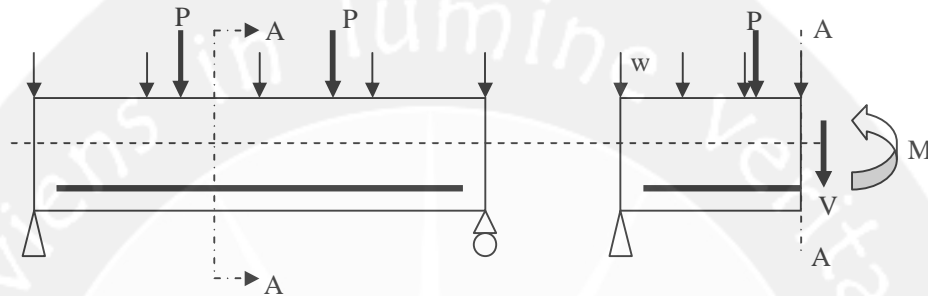
$M_u = \phi \cdot M_n$ (3.7)

dengan ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0,85.

3.4. Tegangan Geser

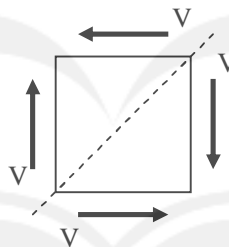
Pada balok dengan tumpuan sederhana seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.2 dibawah, jika dibebani akan mengalami momen lentur (M), Momen tersebut akan menyebabkan elemen beton yang berada didaerah atas dari garis netral mengalami tegangan tekan, dan elemen beton yang berada dibawah garis akan mengalami tegangan tarik jika beton belum retak. Sebagai syarat untuk

memenuhi kesetimbangan gaya vertikal, maka tegangan-tegangan geser yang terjadi dalam elemen harus sama dengan gaya-gaya vertikal (V) yang bekerja dalam beton.



Gambar 3.2. Gaya Geser dan Momen Lentur pada Balok Sederhana

Di bawah garis netral tersebut terdapat gaya geser yang keadaannya dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3. Keadaan Geser Murni

Gambar di atas menunjukkan penjelasan bahwa pada daerah geser yang berada di bawah garis netral, terdapat tegangan tarik yang memiliki nilai yang sama dengan tegangan geser pada bidang dengan kemiringan 45° (diagonal). Tarik diagonal ini menyebabkan terjadinya retakan miring, sehingga keruntuhan geser (*shear failure*) sebenarnya adalah keruntuhan tarik pada arah retak miring.

Rumus yang umum yang berlaku untuk tegangan geser adalah sebagai berikut:

$$v = \frac{V.S}{b.I} \dots\dots\dots (3.8)$$

dimana :

V = gaya geser (N)

S = momen statis dari bagian balok yang tergeser, terhadap garis netral (mm^3)

b = lebar balok (mm)

I = momen inersia dari penampang (mm^4)

3.4.1. Gaya geser (V_u)

Dalam perencanaan tulangan geser, gaya lintang yang terjadi harus ditinjau sedemikian rupa sehingga:

$$V_u \bullet \bullet \bullet V_n \dots\dots\dots (3.9)$$

$$V_u = 1,2V_D + 1,6V_L \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan :

V_u = gaya geser yang terjadi akibat beban luar terfaktor

V_D = gaya geser akibat beban mati

V_L = gaya geser akibat beban hidup

\bullet = faktor reduksi kekuatan yang nilainya 0,75

Dimana nilai V_n adalah kuat geser nominal dari tampang balok, dengan rumus sebagai berikut:

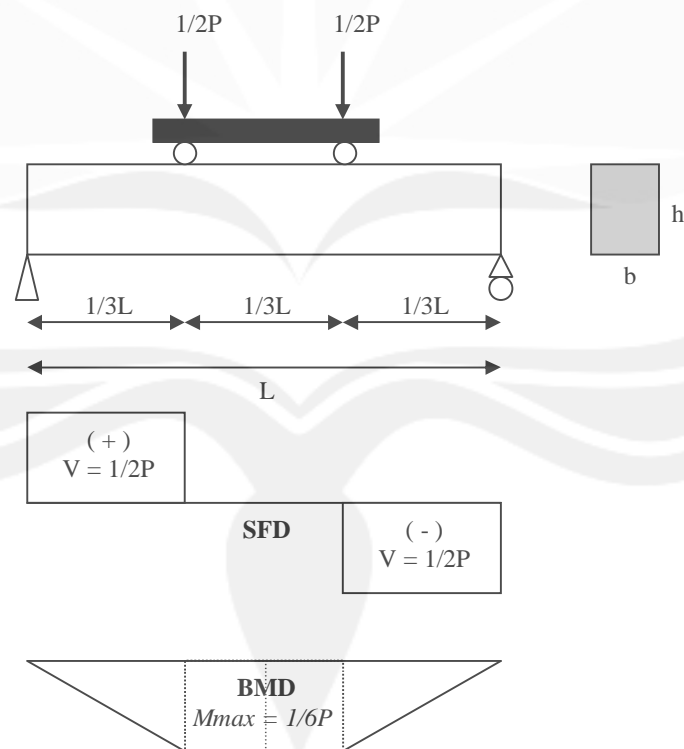
$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (3.11)$$

dengan :

V_c = kuat geser nominal sumbangan beton (N)

V_s = kuat geser nominal sumbangan tulangan geser (N)

Perencanaan beton bertulang terhadap gaya geser sesuai dengan keadaan lentur murni, hal ini dikarenakan faktor yang menentukan adalah perilaku dari struktur dalam tahap keruntuhan. Untuk menjelaskan tentang tegangan geser maka dapat digunakan 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 $V = 1/2P$. Sedangkan gaya geser di bagian tengah balok sama dengan nol (saat momen mencapai nilai maksimum). Momen maksimum terdapat di antara dua beban terpusat yang nilainya sebesar $M = 1/6P$. Semakin mendekati tumpuan nilai momen ini akan berkurang secara linear, dan pada tumpuan nilai $M = 0$.

3.4.2. Kuat geser sumbangan beton (V_c)

Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh gaya geser dan lentur, bahwa kuat geser sumbangan beton (V_c), dipengaruhi oleh kuat geser nominal (V_u) yang saling berhubungan dengan momen (M_u) yang terjadi. Dari sejumlah percobaan yang diturunkan secara statistik, hubungan antara kedua faktor tersebut dapat dituliskan:

$$\frac{V_u}{b.d\sqrt{f'_c}} = 0,14 + 17,1 \frac{rV_u d}{M_u \sqrt{f'_c}} \leq 0,3 \dots\dots\dots (3.12)$$

Bila tanpa tulangan geser (V_s) maka rumus diatas menjadi:

$$v_c = 0,14 \left[\sqrt{f'_c} + 122 \frac{rV_u d}{M_u} \right] b.d \dots\dots\dots (3.13)$$

Pada SK SNI T15-1991-03 rumus ini dijumpai dalam bentuk:

$$\frac{1}{7} \left[\sqrt{f'_c} + 120 \frac{rV_u d}{M_u} \right] b.d \leq 0,3 \sqrt{f'_c} b.d \dots\dots\dots (3.14)$$

Keterangan :

$\sqrt{f'_c}$ = nilai kuat tarik beton

b = lebar balok untuk balok persegi

d = tinggi efektif balok

ρ = rasio tulangan ; untuk balok persegi : $\rho = \frac{A_s}{b.d}$

$\frac{V_u.d}{M_u}$ = nilai kelangsingan struktur, maksimal bernilai 1 pada

penggunaan rumus 3.15

Pada rumus 3.15 terdapat pembatasan nilai $V_c \leq 0,3\sqrt{f'_c}.b.d$, hal ini dimaksudkan untuk mencegah meningkatnya jumlah tuangan sehingga peristiwa *interlocking* atau pembelahan material pada retakan beton karena adanya gaya geser beton pada retak miring, dapat dikurangi. Sebagai pendekatan (W.C. Vis dan Kusuma H. G.), biasanya rumus kuat geser beton yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

$$V_c = \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] .b.d \dots\dots\dots (3.15)$$

dengan : V_c = kuat geser sumbangan beton (N)

f'_c = kuat Tekan Beton (Mpa)

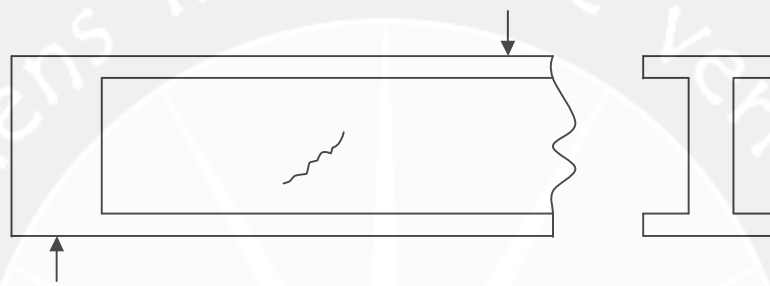
b = lebar balok (mm)

d = tegangan efektif balok (mm)

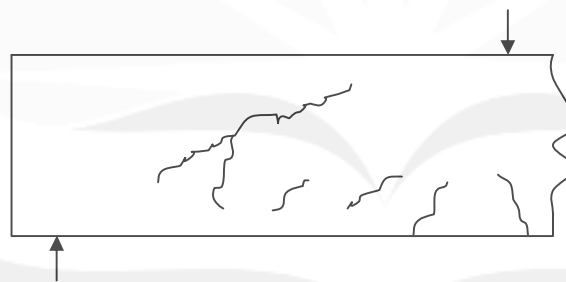
3.5. Perilaku Balok Tanpa Tulangan Geser

Retak miring yang terjadi di dalam balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dikenal sebagai retak geser badan (*web shear-crack*) seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.5 (a). Retak miring yang dimulai sebagai kelanjutan dari retak lentur yang telah ada sebelumnya dikenal sebagai

retak geser lentur (*flexure-shear crack*), seperti yang terlihat pada gambar 3.5 (b). Retak geser badan biasanya dijumpai pada balok berbentuk **I** yang berbadan tipis dan flens yang lebar. Sedangkan retak geser lentur pada umumnya dijumpai dalam beton bertulang.



(a) Retak Geser Badan



(b) Retak Geser Lentur

Gambar 3.5. Jenis-jenis Retak Miring

Retak lentur biasanya cenderung merambat hampir vertikal ke dalam balok, tidak menimbulkan pengurangan tegangan sampai timbul suatu kombinasi kritis dari tegangan lentur dan geser di dekat daerah dari salah satu retak. Kecepatan dari perubahan retak lentur awal menjadi retak lentur-geser tergantung dari kecepatan pertumbuhan dan tinggi retak lentur, di samping besarnya tegangan

geser yang bekerja di dekat ujung atas dari retak lentur. Kemampuan dari suatu balok di dalam memikul tambahan beban setelah terbentuknya retak miring tergantung dari dapat tidaknya sebagian dari geser yang sebelumnya dipikul oleh beton yang tidak retak, didistribusikan kembali melalui retak miring.

