

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Balok Beton Bertulang

Naibaho (2008) pada dasarnya beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan tulangan baja. beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang yang besar sehingga tulangan baja akan memeberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerjasama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan tarik ditahan oleh tulangan baja.

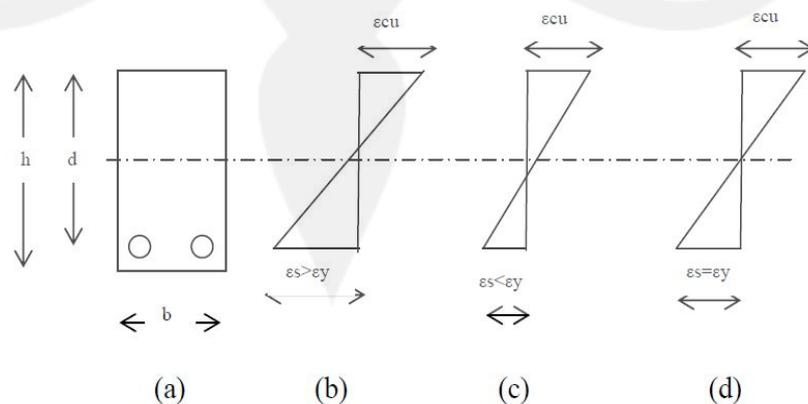
Baja dan beton dapat bekerjasama atas dasar beberapa hal :

1. Lekatan (*bond*) yang merupakan interaksi antara tulangan baja dengan beton disekelilingnya, yang akan mencegah slip dari baja relatif terhadap beton.
2. Campuran beton yang memadai yang akan memberikan sikap anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja.

Adapun jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Keruntuhan tarik ("*under reinforced*"), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil (jumlah tulangan sedikit), sehingga pada

2. saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan sudah mencapai regangan lelehnya sedangkan beton belum hancur (beton belum mencapai regangan maksimum = 0,003). Balok dengan kondisi keruntuhan ini bersifat *ductile*.
3. Keruntuhan tekan (“*over reinforced*”), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar (jumlah tulangan banyak), sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan belum mencapai regangan lelehnya sedangkan beton sudah hancur (beton sudah mencapai regangan maksimum = 0,003). Balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat getas.
4. Keruntuhan seimbang (“*balance*”), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan yang seimbang sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan dan beton hancur secara bersamaan. Tulangan sudah mencapai regangan lelehnya dan beton sudah mencapai regangan maksimum = 0,003). Balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat getas.



Gambar 3.1 Distribusi regangan ultimit

Keterangan gambar 3.1.

Gb (a) Penampang balok tulangan tunggal

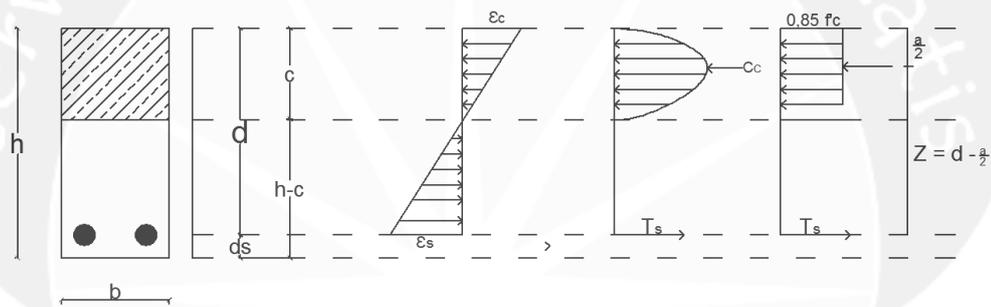
Gb (b) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *under reinforced*

Gb (c) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *over reinforced*

Gb (d) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *balance*

(sumber : Pratikto, 2009)

Distribusi tegangan tekan pada balok beton yang telah mencapai kekuatan nominal adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Distribusi tegangan tekan pada balok beton bertulang

Keterangan gambar :

b : lebar balok

h : tinggi balok

ϵ_c : regangan ultime beton sebesar 0.003

ϵ_s : regangan tarik baja tulangan

d : tinggi efektif balok

$$d = h - (\text{selimut beton} + \text{diameter sengkang} + \frac{1}{2} \text{diameter tul.})$$

$$\text{Utama) } \dots\dots\dots(3-1)$$

$$z = d - \frac{a}{2} \dots\dots\dots(3-2)$$

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

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot \alpha \cdot b \dots\dots\dots(3-3)$$

$$T_s = A_s \times f_y \dots\dots\dots(3-4)$$

Sehingga :

$$0,85 f'_c \cdot \alpha \cdot b = A_s \times f_y \dots\dots\dots(3-5)$$

A_s : luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(3-6)$$

ρ : rasio tulangan

c : jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral

α : $\beta_1 \cdot c$. dimana nilai β_1 diambil sebai berikut : koef whitney

$$(i) \quad \text{Untuk } f'_c \leq 28 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.85$$

$$(ii) \quad \text{Untuk } f'_c > 28 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.85 \frac{f'_c - 28}{7} \times 0,05 \geq 0,65$$

(SNI 03-2847-2013)

Dari kesetimbangan momen terhadap garis kerja C_c

$$M_n = f_y A_s (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots(3-7)$$

Karena $C_c = T_s$, maka persamaan momen dapat ditulis sebagai berikut

ini :

$$M_n = C_c \times Jd \dots\dots\dots(3-8)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times \alpha \times b \times (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots(3-9)$$

$$M_n = M_u \dots\dots\dots(3-10)$$

Menentukan beban maksimum (P) dengan persamaan yaitu :

$$M_u = \frac{1}{6} \times P \times L \dots\dots\dots(3-11)$$

$$P = \frac{6 \times M_u}{L} \dots\dots\dots(3-12)$$

Dimana :

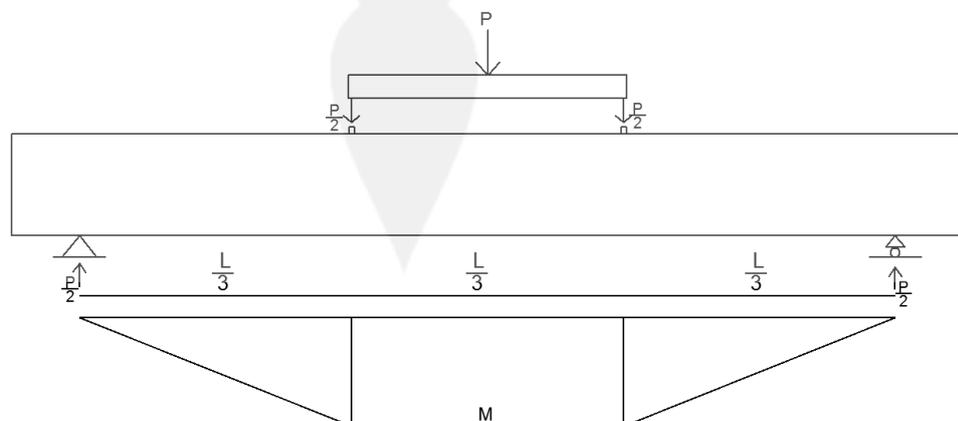
P : beban

L : panjang balok

3.2 Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah (SNI 03-4431-2011).

Agar struktur dapat mengembangkan tahanan momennya sebelum terjadinya kegagalan diperlukan syarat kekompakan penampang, hal ini agar kegagalan karena tekuk lokal tidak terjadi. Syarat tersebut menurut SNI 03-1729-2002 serta perhitungan kuat lentur dapat dilihat pada persamaan berikut ini.



Gambar 3.3 Beban dan Momen pada Balok

Beban P yang diberikan pada balok akan mengakibatkan terjadinya defleksi δ , dan rotasi pada badan θ . Hubungan nilai P dan δ ini kemudian dijadikan menjadi hubungan M dengan δ . Melalui gambar 3.3. hubungan P dan M dinyatakan dengan persamaan di bawah ini.

$$M = \frac{PL}{6} \dots\dots\dots(3.13)$$

Keterangan :

P = gaya / beban yang diterima (kN)

L = panjang bentang balok (m)

M = momen lentur (kNm)

3.3 Perancangan Keruntuhan Lentur

Perancangan untuk keruntuhan lentur balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

V_u dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$V_u = \frac{1}{2}P \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\phi V_n = V_u \dots\dots\dots(3.15)$$

(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.1.1)

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

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(3.16)$$

(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.1.1)

Gaya geser tahanan nominal V_c dihitung seperti persamaan berikut :

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \dots\dots\dots(3.17)$$

(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.2.1.1)

Untuk perhitungan tulangan geser seperti pada persamaan berikut :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \dots\dots\dots(3.18)$$

(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.4.7.2)

Dan jarak antar tulangan dapat dihitung pada persamaan berikut :

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \dots\dots\dots(3.19)$$

Dan jarak sengkang dapat dihitung :

$$s_{maks} = \frac{d}{2} \dots\dots\dots(3-20)$$

Keterangan :

V_n = kuat geser nominal

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (kN)

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (kN)

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

b_w = lebar penampang balok (mm)

A_v = luas tulangan geser dalam daerah sejarak s (mm²)

F_y = tegangan leleh baja (MPa)

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik (mm)

s = jarak antar sengkang (mm)

3.4 Material Penyusun Beton

Bahan penyusun beton dengan campuran serat ini tidak berbeda dengan bahan beton pada umumnya, yaitu meliputi air, sement portland, agregat kasar dan agregat halus. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan

perawatan) serta umur beton (Tjokrodinuljo, 1996). Berikut karakteristik dari setiap bahan yang digunakan.

3.4.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI-15-2049-2004).

Beberapa jenis dan penggunaan sement porland adalah sebagai berikut :

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat (SNI-15-2049-2004).

Semen portland mengandung bahan-bahan unsur kimia sebagaimana tercantum pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Komposisi Senyawa Pembentuk Semen Portland

Oksida	Notasi	Nama Senyawa	Berat (%)
CaO	C	Kapur	64.67
SiO ₂	S	Silika	21.03
Al ₂ O ₃	A	Alumina	6.16
Fe ₂ O ₃	F	Oksida Besi	2.58
MgO	M	Magnesia	2.62
K ₂ O	K	Alkali	0.61
Na ₂ O	N	Alkali	1.34
SO ₃	S	Sulfur Trioksida	2.03
CO ₂	C	Karbon Dioksida	-
H ₂ O	H	Air	-

Sumber : Nanag M.F, dan Denny, D.P, 2006

3.4.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat terpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton (Tjokrodinuljo, 1992).

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Dalam bidang teknologi beton nilai batas tersebut umumnya adalah 4,75 mm atau 4,8 mm. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,8 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang butir-

butirnya lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut kerikil, kericak, batu pecah, atau *split*. Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,20 mm kadang-kadang disebut pasir halus, sedangkan butir-butirnya yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay*.

Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

- a. Batu, untuk besar butirannya lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk butirannya antara 5 mm dan 40 mm.
- c. Pasir, untuk butiran antara 0,15 dan 5 mm.

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus, dan tahan cuaca (Tjokrodimuljo, 1992).

3.4.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 30% dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahawa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak

karena kekuatan beton akan rendah seta betonnya porous. Selain itu, kelebihan air akan bersama-sama semen bergerak kepermukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan *laitance* (selaput tipis). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. Apabila ada kebocoran cetakan, air bersama-sama semen juga dapat keluar, sehingga terjadilah sarang-sarang kerikil (Tjokrodimuljo, 1992).

Secara umum, air yang dipakai untuk untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton yang yang memakai air suling (Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut Tjokrodimuljo (1992), pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.5 Fiber Plastic Beneser

Salah satu jenis serat plastik alternatif yang digunakan untuk bahan tambahan pada beton adalah *polypropylene* (Fiber Plastic Beneser). Jenis plastik yang mempunyai sifat polimer ini, diharapkan dapat berfungsi sama dengan fibermesh. Dari penjelasan spesifikasi *polypropylene* yang dikeluarkan oleh

Master Building Technology (MBT) New Zeland 5 maret 1998 dapat diketahui manfaat yang diperoleh apabila menggunakan *polypropylene* sebagai bahan tambahan dalam campuran adukan beton, antara lain: mencegah retak plastis, mengurangi permeabilitas, menambah ketahanan terhadap abrasi, menambah kapasitas impact, tahan terhadap alkali, memberikan ketahanan terhadap kehancuran, hantaran panas rendah, hantaran listrik rendah, ketahanan terhadap asam dan garam tinggi, absorpsivitas 0% dan tidak berkarat (Felany, 2004).

