

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton**

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan bahan tambahan bila diperlukan. Beton yang banyak dipakai pada saat ini yaitu beton normal. Beton normal ialah beton yang mempunyai berat isi 2200–2500 kg/m<sup>3</sup> dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

Beton normal dengan kualitas yang baik yaitu beton yang mampu menahan kuat desak/hancur yang diberi beban berupa tekanan dengan dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk, kemudahan pengerjaan (*workability*), faktor air semen (FAS) dan zat tambahan (*admixture*) bila diperlukan (Alam, dkk).

Beton merupakan bahan dari campuran antara *Portland cement*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dengan tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Sutikno, 2003).

Adapun pada beton terdapat faktor faktor yang memepengaruhi mutu dari beton itu sendiri , yang diuraikan sebagai berikut:

1. Faktor Air Semen (FAS).
2. Perbandingan bahan-bahannya.
3. Mutu bahan-bahannya.
4. Susunan butiran agregat yang dipakai.
5. Ukuran maksimum agregat yang dipakai
6. Bentuk butiran agregat.
7. Kondisi pada saat mengerjakan.
8. Kondisi pada saat pengerasan.

### 3.1.1 Bahan Penyusun Beton

#### 1. Semen *Portland* (*Portland Cement*)

Semen *portland* disebut juga semen hidraulis karena kemampuannya mengikat atau bereaksi dengan air dan mengeras di dalam air secara kimiawi. Semen berfungsi untuk merekatkan butiran-butiran agregat kasar maupun halus, selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga antar agregat kasar dan halus sehingga menjadi suatu masa padat atau kompak, walaupun jumlah berkisar 10% dari volume beton (Tjokrodimuljo, 1996). Sedangkan Satmoko dan Akbar (2006) menyatakan *Portland cement* (PC) atau lebih dikenal dengan semen merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat hidrolis, semen membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut. Adapun komposisi utama semen *Portland* dapat dilihat pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1 Komposisi utama semen *Portland***

Nama Kimia	Rumus Kimia	Singkatan	% Berat
<i>Tricalcium Silicate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C <sub>3</sub> S	50
<i>Dicalcium Silicate</i>	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C <sub>2</sub> S	25
<i>Tricalcium Aluminate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C <sub>3</sub> A	12
<i>Tetracalcium Aluminoferrite</i>	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C <sub>4</sub> AF	8
<i>Gypsum</i>	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	CSH <sub>2</sub>	3,5

Sumber : Mulyono (2004)

Jenis semen yang beredar dipasaran meliputi semen portland putih, semen portland mengacu pada SNI 15-2049-2004, semen portland komposit mengacu pada SNI 15-7064-2004 dan semen portland pozolan mengacu pada SNI 15-0302-2004 (Mulyono, 2004). Didalam SNI 15-2049-2004 membagi semen Portland menjadi 5 kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya yaitu sebagai berikut.

- a. Jenis I, adalah semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- b. Jenis II, adalah semen *portland* yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III, adalah *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV, adalah *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V, adalah semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Berdasarkan persentase kandungan penyusunnya, semen *portland* terdiri dari 5 tipe yaitu sebagai berikut.

- a. Semen *portland* tipe I yaitu perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 55% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO3); 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO
- b. Semen *portland* tipe II digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, contohnya bangunan untuk rumah tinggal ataupun gedung-gedung bertingkat. Komposisi senyawa yang ada pada tipe ini adalah: 51% (C3S); 24% (C2S); 6% (C3A); 11% (C4AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO3); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
- c. Semen *Portland* tipe III digunakan untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, contohnya dari bangunan yang memerlukan semen tipe III adalah saluran irigasi, dam, bangunan pinggir laut dan bangunan bekas rawa. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 57% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO.
- d. Semen *portland* tipe IV dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, contohnya adalah pembuatan bangunan-bangunan bertingkat

banyak, bangunan yang berada didalam air serta pembuatan jalan dari beton. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 28% (C3S); 49% (C2S); 4% (C3A); 12% (C4AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

- e. Semen *portland* tipe V dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 38% (C3S); 43% (C2S); 4% (C3A); 9% (C4AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

## 2. Agregat Kasar

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah dan belah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci) sesuai SNI. Berdasarkan ASTM C33 Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah atau belah dengan partikel butir lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Batas-Batas Gradasi Agregat Kasar Untuk Maksimal Nominal 19 mm**

Ukuran ayakan (mm)	Pemisahan ukuran
	Persen (%) berat yang lewat masing-masing ayakan
25	100
19	90 – 100
9,5	20 – 55
4,75	0 – 10
2,36	0 – 5

Sumber : SNI 7656-2012

## 3. Agregat Halus

Agregat Halus merupakan bahan pengisi diantara agregat kasar sehingga menjadikan ikatan lebih kuat sebagai pengisi pori dari agregat kasar yang mempunyai Bj 1400 kg/m. Agregat halus yang baik tidak mengandung lumpur lebih besar 5 % dari berat, tidak mengandung bahan organis lebih banyak benar benar murni agregat halus, terdiri dari butiran yang tajam dan keras, dan

bervariasi. Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi. Berdasarkan ASTM C33 agregat halus umumnya berupa pasir dengan partikel butir lebih kecil dari 5 mm atau lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200 dapat dilihat di Tabel 3.3.

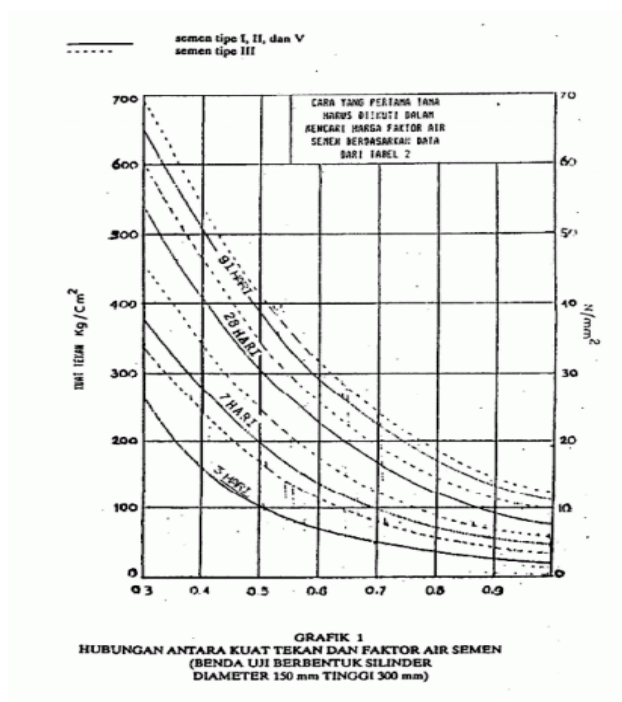
**Tabel 3.3 Batasan Gradasi Untuk Agregat Halus**

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9,5 mm	100
4,76 mm	95 – 100
2,36 mm	80 – 100
1,19 mm	50 – 85
0,595 mm	25 – 60
0,300 mm	10 – 30
0,150 mm	2 – 10

Sumber : ASTM C-33

#### 4. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton yang memiliki harga paling murah diantara bahan yang lain. Penggunaan air digunakan untuk mereaksikan semen sehingga menghasilkan pasta semen yang berfungsi untuk mengikat agregat. Selain itu, fungsi air untuk membasahi agregat dan memberi kemudahan dalam pengerjaan. Namun penggunaan air juga sangat berpengaruh pada kuat tekan beton. Penggunaan fas yang terlalu tinggi mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air sehingga mengakibatkan pada saat kering beton mengandung banyak pori yang nantinya berdampak pada kuat tekan beton yang rendah. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa penggunaan fas yang terlalu tinggi menurunkan kuat tekan beton, sebaliknya penggunaan fas yang rendah justru meningkatkan kuat tekan beton namun kemudahan pekerjaan akan semakin sulit sehingga dibutuhkan bahan tambah kimia.



**Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen  
(Benda Uji Silinder D 150 mm dan H 300 mm)**

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

### 3.2 Bahan Tambah

Bahan tambah adalah suatu komponen lain dari factor atau penyusun utama dari beton, bahan tambah biasanya berasal dari inovasi untuk menemukan terobosan baru guna menjembatani terobosan atau inovasi terbaru untuk mendapatkan mutu ataupun nilai ekonomis pada beton. Dalam percobaan atau penelitian ini digunakan 2 bahan tambah yaitu *fly ash* dan *bestmittel*, adapun penjabaran dari masing masing bahan tambah adalah sebagai berikut:

#### 1. *Fly Ash*

Limbah abu terbang atau yang sering kita dengar (*fly ash*) merupakan limbah padat yang terdiri dari partikel-partikel halus yang muncul dengan gas buang pembakaran dan diangkut dari ruang batubara pada pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) melakukan proses pembakaran batubara dengan cara ditumbuk dan ditiup dengan udara ke ruang bakar boiler di mana ia segera menyatu, menghasilkan panas dan memproduksi residu

mineral cair. Tabung boiler mengekstrak panas dari boiler pendinginan gas buang dan menyebabkan residu mineral cair yang mengeras dengan membentuk abu. Partikel abu kasar disebut sebagai bottom ash atau slag jatuh ke bagian bawah ruang pembakaran, sementara ringan partikel abu halus disebut *fly ash* tetap tersuspensi dalam gas buang. Sebelum melelehkan gas buang *fly ash* dihapus oleh perangkat kontrol emisi partikulat seperti debu elektrostatis atau rumah kantong kain filter. Jadi sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*. Mulai banyaknya penelitian yang memanfaatkan abu terbang ini untuk bahan tambah pada beton, namun abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat dan dengan partikelnya yang kecil *fly ash* dapat mengisi celah celah pada campuran agregat yang nantinya akan meningkatkan mutu beton. *Fly-ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan N0. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan *specific gravity* antara 2,15-2,8 dan memiliki warna abu-abu pekat (*ACI Committee 226*). Sifat proses *pozzolanic* dari *fly ash* mirip dengan bahan pozzolan lainnya. Abu terbang (*fly ash*) memiliki 3 jenis (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 parts 1 226.3R-3*), yaitu:

a. Kelas C

*Fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). Senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO<sub>2</sub> (30-50%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (17-20%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O dan sedikit K<sub>2</sub>O. mempunyai *specific gravity* 2,31-2,86. Mempunyai sifat *pozzolan*, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH (CaO.SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O). kalsium hidroksida dan *Ettringite* yang mengeras seperti semen.

b. Kelas F

*Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara. senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO<sub>2</sub> (30- 50%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (45-60%), MgO, K<sub>2</sub>O dan sedikit Na<sub>2</sub>O. mempunyai *specific gravity* 2,15-2,45. bersifat seperti *pozzolan*, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.

c. Kelas N

*Pozzolan* alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, tuff dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. selain itu, juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

2. *Bestmittel*

*Bestmittel* merupakan bahan tambah kimia (zat *additive*) berbahan dasar *Lignin Sulfonic Acid* yang sesuai dengan ASTM–C 494-81 “*Standart Specification For Chemical Admixture For Concrete*”. *Bestmittel* termasuk jenis bahan tambah kimia Tipe E, *Water Reducing* dan *Accelerating Admixture* adalah bahan tambah yang memiliki 2 fungsi yaitu mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan unsur unsur pengikat pada beton. *Bestmittel* merupakan formula khusus yang sangat ekonomis dalam proses pengecoran sehingga menjadikan beton lebih cepat keras pada saat umur beton masih dibawah umur normal serta mengurangi penggunaan air pada saat proses pengecoran sehingga meningkatkan mutu/kekuatan beton (Rahmat, Hendriyani dan Anwar 2016). *Bestmittel* sangat membantu untuk pengecoran dengan jadwal waktu yang sangat ketat karena beton cepat mengeras pada usia awal (7 – 10 hari) serta meningkatkan mutu / kekuatan beton 5 % - 10 %. *Bestmittel* juga berguna untuk mempersingkat proses pembetonan, sehingga cetakan beton dapat dilepas lebih cepat dan dapat mengurangi pemakaian air 5 % - 20 % sehingga menjadikan beton lebih solid dan lebih plastis.



### **3.3 Perencanaan Campuran Adukan Beton**

Percobaan atau penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standart SNI-03-2834-2000. Salah satu tujuan penelitian memakai perencanaan campuran pada beton dengan standar SNI-03-2834-2000 adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standart pengerjaan pencampuran beton yang ada di Indonesia. Ukuran derajat kekentalan, keenceran dan kemudahan pengerjaan dapat dilihat pada saat pengujian *slump*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tata acara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut SNI-03-2834-2000.

### **3.4 Silinder Sebagai Benda Uji Tekan**

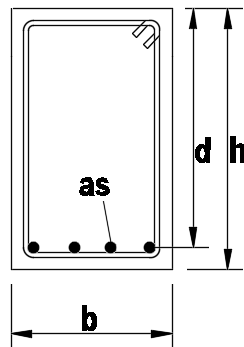
Silinder beton adalah benda uji yang kegunaannya berfungsi untuk mendapatkan nilai kuat tekan. Menurut SNI-1974-2011 ada beberapa ukuran dan factor koreksi. Untuk pengujian TA ini digunakan ukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm dan faktor koreksi 1,0

### **3.5 Balok Sebagai Benda Uji Lentur**

Balok beton merupakan adalah penyusun atau salah satu komponen pada suatu konstruksi yang memiliki dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan beton dengan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah karena tidak memiliki kuat lentur dari tulangan baja, sedangkan beton dengan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan yang biasanya di gunakan pada konstruksi bangunan.

#### **3.5.1 Balok Beton Bertulang Persegi**

Balok beton bertulang adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari pelat ke kolom penyangga yang vertikal. Dalam kontruksi gedung / rumah bertingkat biasanya balok dibagi menjadi tiga penampang yaitu balok persegi, L dan T. Dalam penelitian ini balok yang akan diuji adalah balok persegi seperti Gambar 3.2 berikut.



**Gambar 3.2 Penampang Balok Persegi Dengan Menggunakan Tulangan Tunggal**

Keterangan :

$h$  = tinggi pada balok,

$b$  = lebar pada balok,

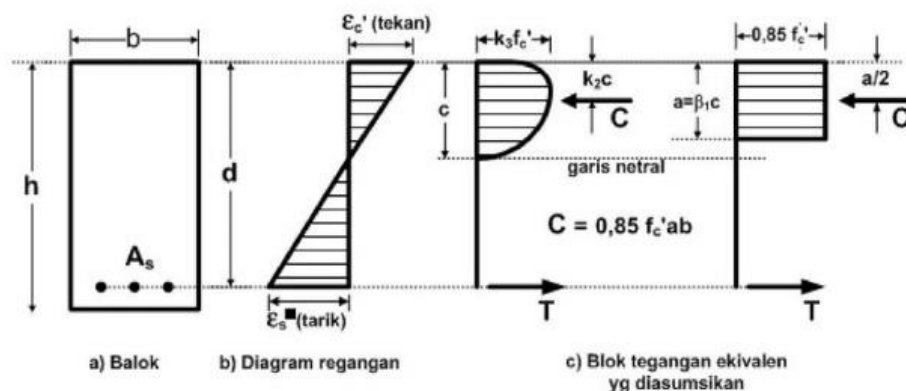
$d$  = tinggi pada balok dari tepi serat yang tertekan ke pusat tulangan tarik,

$A_s$  = luas pada tulangan tarik

### 3.5.2 Penulangan Pada Balok Beton Bertulang

Penulangan pada balok adalah salah satu langkah yang harus diperhatikan karena pada nantinya nilai kuat pada baja tulangan yang akan mempengaruhi nilai pada balok itu sendiri

#### 1. Kuat Lentur Balok



**Gambar 3.3 Regangan Dan Tegangan Balok Tulangan Tunggal**

Berdasarkan (Park & Pauly, 1976) dan gambar 3.3 maka dapat dijelaskan bahwa

$$a = \beta \cdot c \quad (3.1)$$

Gambar 3.3 juga menjelaskan apabila tegangan tekan beton mencapai regangan maksimum (0,003) maka regangan baja tarik dengan menggunakan perbandingan segitiga maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \quad (3.2)$$

Dengan menganggap tulangan Tarik mengalami leleh maka regangan baja tarik dapat dituliskan

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{a-\beta d}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (3.3)$$

Bila kondisi persamaan regangan tersebut dipenuhi tegangan pada baja tulangan menjadi

$$f_s = f_y \quad (3.4)$$

Resultan gaya pada daerah tekan beton

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.5)$$

Resultan pada daerah Tarik baja tulangan

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.6)$$

Resultan ini harus memenuhi keseimbangan horizontal sehingga

$$T - C_s - C_c = 0 \quad (3.7)$$

$$A_s f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.8)$$

$$a = \frac{(A_s) f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.9)$$

Momen lentur nominal dapat dirumuskan

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.10)$$

Bila persamaan 3.3 tidak terpenuhi maka tegangan tulangan tarik tidak leleh, sehingga dalam hal ini persamaan 3.10 tidak berlaku. Untuk mendapatkan momen ketahanan penampang yaitu dengan persamaan

$$f'_s = \epsilon_s \cdot E_s = 0,003 E_s \left( \frac{a-\beta d}{a} \right) \quad (3.11)$$

Karena baja tulangan tarik tidak luluh maka persamaan 3.9 menjadi

$$a = \frac{A_s f_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.12)$$

Sehingga momen tahanan penampang menjadi

$$Mn = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.13)$$

## 2. Kuat Geser Balok

Suatu perencanaan struktur balok beton bertulang bertujuan untuk menghasilkan batang daktail yang dapat memberikan peringatan apabila keruntuhan terjadi. Untuk mencapai tujuan ini, maka nilai geser rencana memiliki faktor keamanan yang lebih besar terhadap keruntuhan geser dibandingkan dengan yang diberikan untuk keruntuhan lentur. Keruntuhan balok beton bertulang dalam geser akan terjadi secara tiba-tiba dengan peringatan kecil, atau tanpa peringatan sebelumnya. Oleh karena itu, balok direncanakan runtuh dalam lentur akibat beban yang lebih kecil dari beban yang menyebabkan keruntuhan geser. Batang tersebut dapat retak dan melendut cukup besar jika mendapat beban lebih, tetapi tidak akan patah seperti halnya jika terjadi keruntuhan geser (McCormac, 2004).

Kekuatan geser pada balok beton bertulang diberikan oleh kekuatan geser beton dan tulangan gesernya, sehingga dapat ditentukan dengan rumus seperti pada Persamaan 3.14.

$$Vn = Vc + Vs \quad (3.14)$$

Kekuatan geser batang yang diijinkan  $\phi Vn$ , sama dengan  $\phi Vc$  ditambah  $\phi Vs$  (dimana menurut SNI 03-2847-2013 nilai  $\phi$  adalah 0.75) yang harus sama dengan atau lebih besar dari gaya geser maksimum ( $Vu$ ) seperti pada Persamaan 3.15.

$$Vu = \phi(Vc + Vs) \quad (3.15)$$

Kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat ditentukan dengan rumus pada Persamaan 3.15

$$Vc = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (3.16)$$

Kekuatan geser yang diberikan oleh tulangan geser dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.17.

$$Vs \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (3.17)$$

Jika  $Vu > Vc$  maka di perlukan tulangan geser

Jika  $Vu < Vc$  maka tidak perlukan tulangan geser

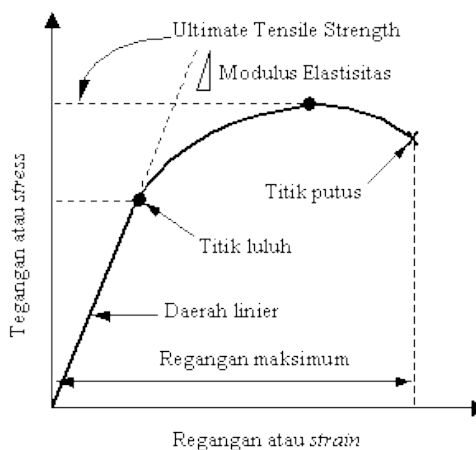


**Tabel 3.4 Sifat Mekanis Baja Struktural**

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber :SNI 03- 1729- 2002

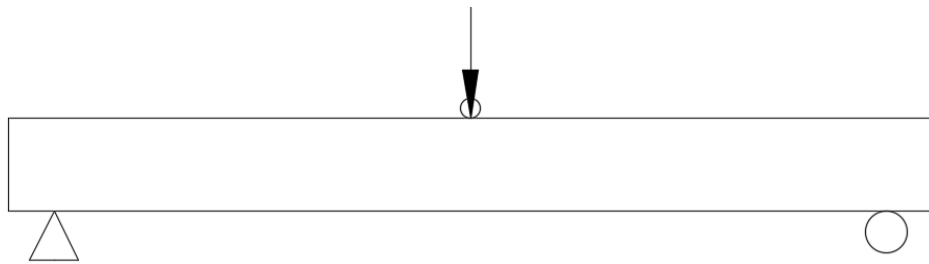
Pada uji coba penarikan atau uji tarik baja juga dapat digambarkan dengan kurva seperti digambarkan pada gambar.3.4 kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.

**Gambar 3.4 Grafik Hubungan antara Tegangan-Regangan Baja**

Sumber <http://www.infometrik.com>

### 3.6.3 Uji Kuat Lentur

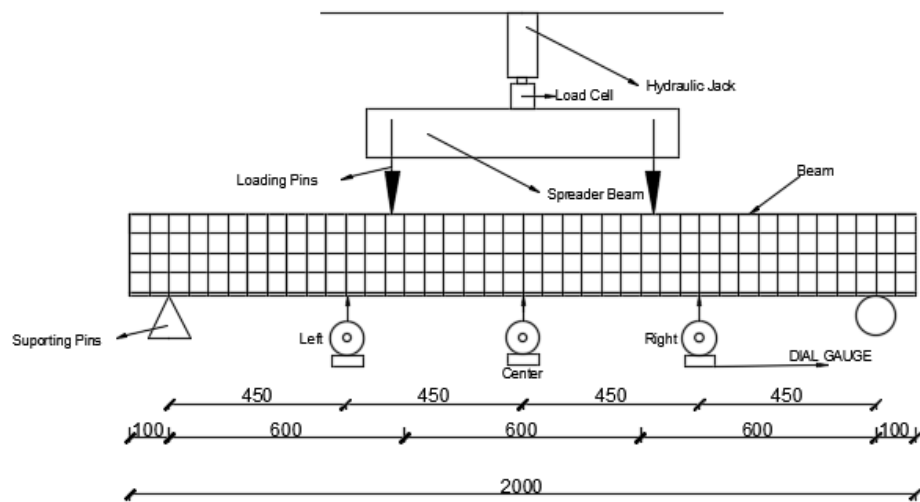
Kuat lentur pada beton merupakan nilai lentur maksimum dari suatu benda uji. Ada 2 metode pengujian pada uji ini yaitu metode dengan sistem satu titik pembebanan (SNI 03-4145-1996) pada Gambar 3.5, pembebanan dua titik (SNI 03-4431-1997) pada Gambar 3.6 dan yang nantinya dari uji kuat lentur akan menghasilkan beban maksimum, besar lendutan dan pola retak pada balok.



**Gambar 3.5 Model Pembebanan Balok Dengan System Satu Titik**



**Gambar 3.6 Model Pembebanan Balok Dengan Sistem Dua Titik**

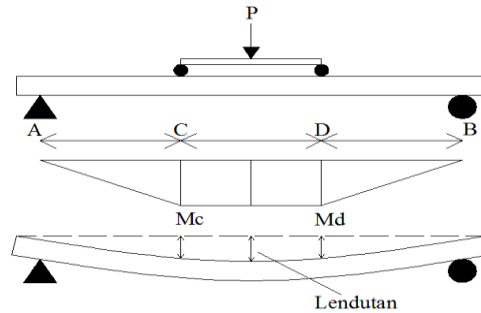


**Gambar 3.7 Seketsa Pengujian Lentur Pada Balok Bertulang**

#### 1. Hubungan Beban dan Lendutan

Menurut Spiegel dan Limbrunner (1991) dalam Septian (2010), apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti akan mengalami defleksi atau lendutan seperti pada Gambar 3.8. Meskipun sudah terkontrol dan aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila terlalu

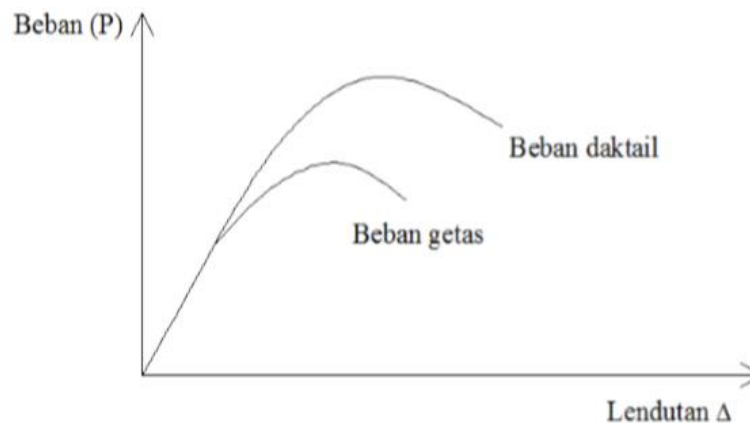
fleksibel. Dengan demikian, tinjauan defleksi balok merupakan salah satu bagian dari proses desain, seperti Gambar 3.8 berikut.



**Gambar 3.8 Momen dan Lendutan pada Tampang Memanjang balok**

Sumber: Sipigel dan Limbrumer (1991)

Park dan Paulay (1975) dalam Septian (2010) mengemukakan hubungan beban dan lendutan akibat beban seperti pada Gambar 3.9.

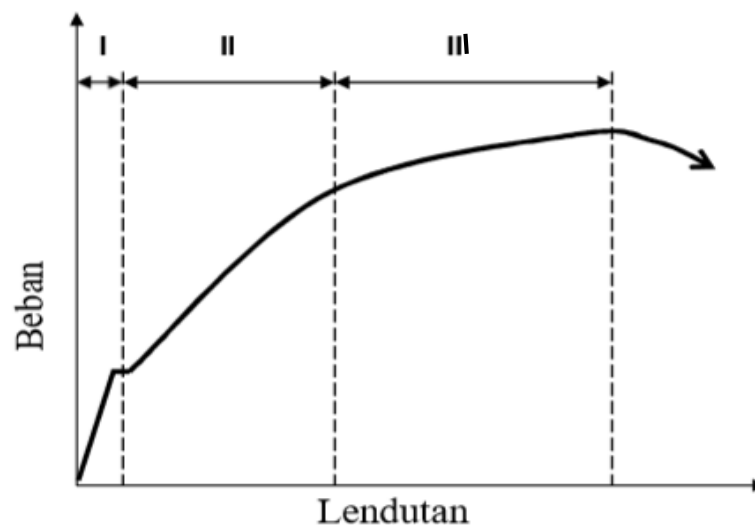


**Gambar 3.9 Hubungan Beban dan Lendutan**

(Sumber: Park dan Paulay, 1975)

Hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear sebelum terjadi rupture seperti pada diagram Gambar 3.10.





**Gambar 3.10 Grafik Hubungan antara Beban-Lendutan pada Balok**

(Sumber: Nawy,1998)

- a. Pada daerah I (taraf praretak) batang-batang strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban-defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari modulus of rupture ( $f_r$ ) beton.
- b. Pada daerah II (taraf beban pasca retak) batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retakan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur, maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur penampangnya telah berkurang, sehingga kurva beban-defleksi di daerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak. Momen inersia retak disebut  $I_{cr}$
- c. Pada daerah III (taraf retak *pasca serviceability*) tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh

hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus ditambah, maka regangan  $\epsilon_s$  pada tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya  $\epsilon_y$  tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka, sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan sekunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya *rupture*.

## 2. Kerusakan Balok

Jenis keruntuhan yang terjadi pada balok tergantung pada sifat-sifat penampang balok dan dapat dibedakan menjadi 3 jenis sebagai berikut ini.

### a. Keruntuhan tekan (*over reinforced concrete*)

Pada keruntuhan tekan ini, beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar, sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan belum mencapai regangan lelehnya sedangkan beton sudah mencapai regangan maksimumnya yaitu 0.003. Balok dengan kondisi keruntuhan tekan ini bersifat getas, sehingga pada saat beton mulai hancur baja tulangannya masih kuat, sehingga lendutan pada balok relatif tetap. Tetapi jika balok ditambahkan beban yang besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat menyebabkan keruntuhan secara tiba-tiba, tanpa adanya peringatan atau tanda-tanda tentang lendutan yang membesar pada balok.

### b. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang balok dengan keruntuhan seimbang, keadaan beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan, sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum baja tulangan dan beton hancur secara bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton telah mencapai regangan maksimum yaitu 0.03 dan regangan tarik baja tulangan telah mencapai leleh pada saat yang sama, atau  $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}'$  dan  $\epsilon_s = \epsilon_y$  terjadi pada saat

yang sama. Karena beton dan baja tulangan mengalami kerusakan pada saat yang sama, maka kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tulangan tersebut menjadi lebih efisien. Sistem perencanaan beton bertulang yang seperti ini merupakan sistem perencanaan beton bertulang yang ideal, tetapi sulit dipraktikan di lapangan.

c. Keruntuhan tarik (*under reinforced concrete*)

Pada keadaan penampang beton dengan kondisi keruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Jenis keruntuhan seperti ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil, sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum baja tulangan sudah mencapai regangan lelehnya sedangkan beton belum hancur (belum mencapai regangan maksimumnya yaitu sebesar 0.003). Karena kerusakan terjadi pada baja tulangan yang menahan beban tarik lebih dulu dan baja tulangan bersifat liat, maka keruntuhan beton seperti ini kadang disebut dengan keruntuhan liat. Keruntuhan jenis ini memberi keuntungan karena pada saat baja mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika balok ditambahkan beban yang lebih besar maka lendutan pada balok semakin besar dan pada akhirnya akan runtuh. Lendutan yang ditimbulkan oleh balok ini merupakan peringatan sebelum runtuh.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok di antaranya sebagai berikut.

- a. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai nilai momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok.
- b. Retak geser (*shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.
- c. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dengan gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.