

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Umum

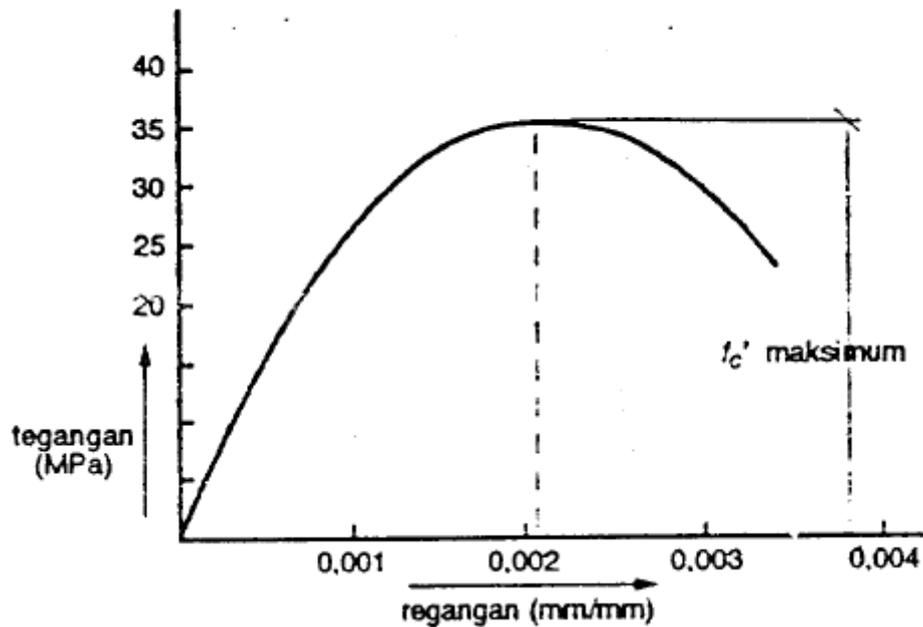
Dalam pembangunan infrastruktur beton merupakan suatu material pokok. Beton sendiri telah digunakan sejak zaman Yunani dan Romawi. Pada zaman tersebut penggunaan beton menggunakan bahan-bahan vulkanik sebagai bahan pembentuknya. Seiring berkembangnya waktu berbagai inovasi telah diciptakan ilmuwan untuk mengembangkan beton. Dimulai dari penggunaan beton bertulang, kemudian pada tahun 1906 C.A.P. Turner mengenalkan pelat pada pertama kalinya. Dengan semakin banyaknya penggunaan beton dalam bidang struktural maka keluarlah peraturan-peraturan yang dibuat sebagai spesifikasi maupun tata cara pembuatan beton.

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002). Dalam perkembangan teknologi beton, campuran beton sering dilakukan substitusi menggunakan bahan alami lain ataupun penambahan bahan lain (admixture) untuk mendapatkan kekuatan beton yang tinggi atau untuk mendapatkan berat yang ringan agar mengurangi beban ke permukaan tanah.

Beton dapat diklasifikasikan dengan berdasarkan beberapa cara. Beton diklasifikasikan berdasarkan volumenya menurut SNI 03-2847-2002 yaitu:

1. Beton normal : beton yang mempunyai berat satuan  $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$ .
2. Beton ringan : beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ .
3. Beton berat : beton yang mempunyai berat satuan lebih dari  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

Beton memiliki kuat tekan yang sangat tinggi, namun kuat tariknya rendah. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya. Sehingga pada penggunaan sebagai komponen struktural, beton diperkuat dengan menggunakan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat membantu kelemahannya untuk memperkuat dan menahan gaya tarik, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik (Dipohusodo, 1993). Pada Gambar 2.1 memperlihatkan bagaimana hubungan tegangan-regangan beton.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton

(Sumber: Struktur Beton Bertulang, 1993)

Kuat tekan beton dituliskan tegangan maksimum  $f'_c$  dengan satuan MPa. Biasanya beton bertulang menggunakan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan beton prategang berkisar antara 30-45 MPa. Kuat tekan beton dicapai pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Nilai  $f'_c$  timbul pada saat benda uji mencapai tegangan maksimum pada saat regangan beton mencapai nilai kurang lebih 0,002.

## 2.2 Semen

Semen yang biasa dipakai adalah semen portland. Semen portland merupakan 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).

Bahan pokok pembentuk campuran semen yaitu kapur ( $\text{CaO}$ ) dari kandungan batu kapur, silika ( $\text{SiO}_2$ ) dari kandungan lempung dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari kandungan lempung, (dengan sedikit persentase magnesia,  $\text{MgO}$ , dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

Dalam penggunaan sebagai bahan pembentuk beton (ASTM-C150) mengklasifikasikan semen menurut jenis dan penggunaannya, yaitu:

1. Tipe I : Semen portland biasa atau umum. Tidak diperlukansifat spesifik. Biasanya digunakan untuk membuat beton yang tidak ada kontak dengan tanah ataupun air seperti beton pratekan dan pratarik.
2. Tipe II : Untuk konstruksi biasa seperti tipe I, namun harus tahan terhadap panas hidrasi sedang dan perlawanan terhadap sulfat.
3. Tipe III : Dibutuhkan untuk kekuatan awal tinggi dan cepat mengeras
4. Tipe IV : Semen portland yang digunakan pada konstruksi untuk panas hidrasi rendah.
5. Tipe V : Digunakan dimana ketahanan tinggi terhadap sulfat sangat penting.

Semen dan air saling berinteraksi, persenyawaan ini dinamakan hidrasi sedangkan hasil interaksi ini disebut hidrasi-semen. Proses reaksi berjalan sangat cepat.

### 2.3 Air

Pada campuran air diperlukan agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen. Hal ini untuk membasahi agregat dan melumasi campuran agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang berlebih akan menimbulkan gelembung air setelah proses hidrasi, sedangkan bila kekurangan air mengakibatkan proses hidrasi tidak sepenuhnya selesai (Nawi, 1998). Menurut SNI 03-2847-2002 air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air untuk pembuatan campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan perusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, ataupun bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air yang digunakan pada beton prategang atau beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah tertentu yang membahayakan.
3. Bila air tidak dapat diminum maka pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama. Selain itu dilakukan perbandingan antara kekuatan tekan mortar semen + pasir dengan memakai air yang tidak dapat diminum dan dengan memakai air suling. Air tersebut dianggap dapat dipakai, apabila kekuatan tekan mortar dengan memakai air yang tidak dapat diminum pada umur 7 dan 28 hari paling sedikit adalah 90% dari kekuatan tekan mortar dengan memakai air suling pada umur yang sama.

## 2.4 Agregat

Agregat (yang tidak bereaksi) adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat semen. Agregat yang umum dipakai adalah pasir, kerikil, dan batu-batu pecah. Pemilihan agregat tergantung dari syarat-syarat yang ditentukan beton, persediaan lokasi pembuatan beton, serta perbandingan yang telah ditentukan antara biaya dan mutu.

Agregat dibagi menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Biasanya agregat halus yang digunakan adalah pasir. Sedangkan agregat kasar menggunakan batu pecah.

## 2.5 Beton Ringan

Beton merupakan material yang mempunyai sifat kekuatan mekanis yang bagus namun berat. Untuk itu diperlukan sebuah inovasi untuk membuat beton tersebut menjadi ringan. Beton ringan bukanlah hal yang baru dalam teknologi beton. Masyarakat zaman Yunani dan Romawi sudah menggunakan beton ringan sebagai konstruksi bangunan.

Agregat dari beton ringan pun macam-macam, ada yang alami maupun buatan manusia. Agregat ringan alami biasanya berasal dari batuan vulkanik. Batu apung (*pumice*) dan scoria adalah agregat ringan yang sudah ada sejak dahulu (Chandra, 2002). Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar menjadi beton ringan struktural dapat dilihat pada Tabel 2.1, Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

Ukuran	Prosentase yang lulus angka (% berat)								
	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3
Agregat halus:									
(4,75 - 0) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar:									
(25,0 - 4,75) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0 - 4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5 - 4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5-2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat halus dan kasar:									
(12,5 - 8,0) mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9,5 - 8,0) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

(Sumber: SNI 03-2461-2008)

Tabel 2.2 Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis	1,0-1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum:	
	- gembur kering (kg/cm)	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9-14
5	Nilai 10% kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16-18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

**CATATAN :**

Nilai keremukan ditentukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayakan 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100 %

(Sumber: SNI 03-2461-2008)

Tabel 2.3 Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata Untuk Beton Ringan Struktural ( $\text{kg/cm}^3$ )

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum ( $\text{kg/cm}^3$ )	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
Semua agregat ringan		
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2	17
Agregat ringan dan pasir		
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2	17

CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata tiga buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari enam benda uji,

CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat dengan penambahan atau interpolasi,

CATATAN 3 Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah,

CATATAN 41 MPa  $\approx$  10  $\text{kg/cm}^2$

(Sumber: SNI 03-2461-2008)

## 2.6 Batu Pumice

Batu *pumice* terbentuk ketika lava cair yang kaya  $\text{SiO}_2$  dari letusan gunung berapi mendingin. Densitas dari batu apung yang rendah disebabkan adanya gelembung gas di

lava cair yang terjebak saat pendinginan terjadi. Rongga-rongganya sangat kecil dan saling terhubung (Chandra, 2002).

Kekuatan agregat berkisar dari sangat lemah dan berpori, hingga kuat dan kurang berpori. Absorpsi pada batu *pumice* umumnya tinggi tergantung porositas dan ukurannya. Salah satu hal yang membuat batu *pumice* digunakan dalam beton ringan struktural yaitu densitas rendah dan kekuatan yang relatif tinggi (Carryer, 1995; P.J. Moss, 1970 dalam *Pumice Aggregates for Structural Lightweight and Internally Cured Concretes*). Sifat fisik batu *pumice* ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Fisik Batu *Pumice*

Unsur	Kapasitas
Bobot isi ruang	480-960 kg/cm <sup>3</sup>
Peresapan air	16,67%
Berat Jenis	0,8 gr/cm <sup>3</sup>
Hantaran Suara	Rendah
Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
Konduktivitas terhadap api	Rendah
Ketahanan terhadap api	s/d 6 jam

(Sumber: Batuan dan Mineral, 1987)

### 2.7 Pelapisan Agregat (*Aggregates Coating*)

Pelapisan agregat merupakan salah satu metode yang digunakan untuk tujuan tertentu. Pelapisan agregat biasanya menggunakan tanah liat, kalsium karbonat dan debu atau lumpur. Ada beberapa teknik dalam pelapisan yaitu dengan melapisi semua permukaan agregat atau melapisi sebagian agregat tergantung dari tujuannya (Munoz, 2005). Penelitian tentang pelapisan agregat menggunakan bahan polimer juga telah dilakukan dengan tujuan mengurangi penyerapan air pada *pumice* sebagai agregat kasar. Dalam penelitian yang dilakukan Ozlem Salli Bideci, Alper Bideci, Ali Haydar G., Sabit Oymael, Hasan Yildirim pada tahun 2013, agregat *pumice* dilapisi oleh cat jenis polimer. Dengan menggunakan beberapa jenis cat polimer sebagai variabel bebas. Hasilnya *pumice* dengan

pelapisan menggunakan polimer peyerapan airnya lebih kecil (2-10)% dibandingkan *pumice* yang tidak dilapisi bahan polimer (30-40)% seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Hasil Tes Batu Pumice

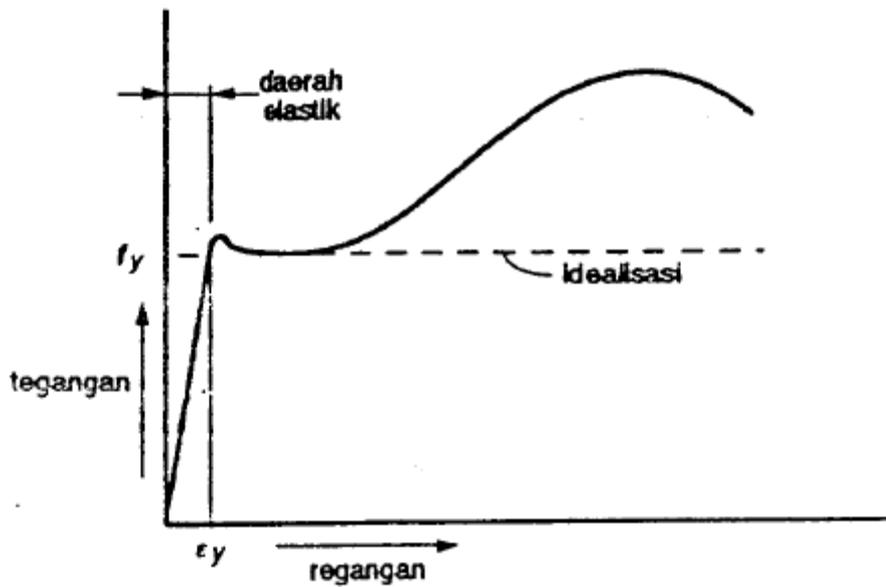
Mixtures	Specific weight (g/cm <sup>3</sup> )			Loose bulk density (g/cm <sup>3</sup> )			Water absorption rates (%)		
	0-4 (mm)	4-8 (mm)	8-16 (mm)	0-4 (mm)	4-8 (mm)	8-16 (mm)	0-4 (mm)	4-8 (mm)	8-16 (mm)
Control	1,57	1,03	0,98	225	272	221	48,2	43,1	34
SNMC	1,57	1,25	1,2	225	282	230	48,2	10,2	7,6
KBP	1,57	1,37	1,28	225	315	290	48,2	2,1	4,8
PLP	1,57	1,51	1,45	225	330	245	48,2	8,5	8,1

(Sumber: Polymer Coated Pumice Aggregates And Their Properties, 2013)

## 2.8 Beton Bertulang

Beton memang kuat terhadap gaya tekan namun tidak kuat terhadap gaya tarik. Bila sebuah balok diberi beban maka akan timbul momen lentur, dan akan terjadi deformasi lentur pada balok tersebut. Pada saat momen lentur positif, regangan tekan terjadi dibagian atas dan regangan tarik terjadi di bawah penampang. Untuk mencapai stabilitas, balok harus dapat menahan tegangan tekan dan tegangan tarik tersebut. Dengan cara memperkuat dengan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja akan didapat apa yang dinamakan beton bertulang (Dipohusodo, 1993). Baja dan beton dapat bekerja sama atas dasar beberapa alasan (Nurlina, 2008), yaitu:

1. Lekatan atau interaksi antara beton dan baja yang mencegah selip dari baja relatif terhadap beton
2. Sifat anti resap pada campuran beton cukup untuk mencegah karat pada tulangan baja
3. Angka kecepatan muai yang hampir sama, yaitu 0,0000055 sampai 0,0000075 untuk beton dan 0,0000065 untuk baja per derajat Fahrenheit atau 0,00001 sampai 0,000013 untuk beton dan 0,000012 untuk baja per derajat Celcius, sehingga menimbulkan tegangan antara baja dan beton yang dapat diabaikan dibawah perubahan suhu udara.



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Baja

(Sumber: Struktur Beton Bertulang, 1993)

Sifat fisik tulangan baja yang paling penting digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan luluh ( $f_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E_s$ ). Pada Gambar 2.2 menunjukkan hubungan tegangan-regangan batang baja tulangan. Di dalam mendesain atau analisis beton bertulang biasanya tegangan luluh baja tulangan sudah diketahui. Tegangan luluh merupakan tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak diikuti oleh peningkatan regangannya.

### 2.10 Lendutan

Bila sebuah balok diberi beban akan tercatat bahwa deformasi yang terkait dengan lenturan balok menghasilkan sebuah pencekungan (*sag*) ke arah bawah yang disebut lendutan (defleksi). Bila lendutan yang terjadi terlalu besar meskipun tegangan berada dalam kondisi aman balok tersebut tidaklah cukup kaku. Lendutan yang besar akan menyebabkan beberapa kerugian dalam konstruksi sebuah bangunan. Untuk itu lendutan pada struktur balok sangat penting dalam analisis kolom dan struktur statis tak tentu (Dishongh, 2003).

Tabel 2.6 Tebal Minimum Balok Non-Prategang Atau Pelat Satu Arah Bila  
Lendutan Tak Dihitung

Komponen Struktur	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

#### CATATAN

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ( $w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ ) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara **1500 kg/m<sup>3</sup>** sampai **2000 kg/m<sup>3</sup>**, nilai tadi harus dikalikan dengan **(1,65 - 0,0003w<sub>c</sub>)** tetapi tidak kurang dari **1,09** dimana **w<sub>c</sub>** adalah berat jenis dalam kg/m<sup>3</sup>.
- (b) Untuk **f<sub>y</sub>** selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan **(0,4 + f<sub>y</sub>/700)**

(Sumber: (SNI-03-2847-2002))

Sebuah komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi adanya lendutan/deformasi yang terjadi sehingga memperlemah kekuatan atau mengurangi kemampuan layan pada beban kerja. Untuk konstruksi satu arah (non-prategang) tebal minimum ditentukan dalam Tabel 2.6 untuk konstruksi yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan besar kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan kerugian.

Dengan menggunakan cara lain untuk mendapatkan hasil hitungan lendutan yang lebih realistik, dipakai salah satu nilai momen inersia  $I_{cr}$  atau  $I_g$ , sedangkan dalam SNI-03-2847-2002 menggunakan  $I_e$  dengan

$$I_{cr} < I_e < I_g$$

$$I_g = \frac{1}{12}bh^3 \quad (2-1)$$

dengan:

$I_g$  = momen inersia penampang bruto beton

$b$  = lebar penampang melintang beton

$h$  = tinggi penampang melintang beton

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (2-2)$$

dengan:

$I_e$  = momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$M_a$  = momen maksimum pada komponen struktur saat lendutan dihitung

dengan:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (2-3)$$

dengan:

$M_{cr}$  = momen retak

$y_t$  = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke serat tarik terluar

dengan:

$$f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \quad (2-4)$$

untuk beton normal

dengan:

$f_r$  = modulus keruntuhan lentur beton

Hubungan beban dengan defleksi balok beton berulang dapat digambarkan menjadi bentuk trilinear. Hubungan ini terdiri dari tiga daerah sebelum terjadi keruntuhan (Nawi, 1998).

1. Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.
2. Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya
3. Daerah III : Taraf pasca-kemampuan layan, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.

Perhitungan lendutan aktual umumnya menggunakan formula standar bagi struktur berperilaku elastik. Lendutan merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan dan kondisi ujung, jenis beban dan kekakuan lentur komponen. Dalam hal ini dapat dilihat persamaan berikut (Dipohusodo, 1993).

$$\Delta_{maks} = \frac{KW(l_n)^3}{48E_c I_{cr}} \quad (2-5)$$

dengan:

W = beban total di sepanjang bentang

$l_n$  = panjang bentang bersih

$E_c$  = modulus elastisitas beton

$I_{cr}$  = momen inersia penampang retak

K = faktor tingkat kekuatan tumpuan

## 2.10 Lendutan Balok Menerus

Balok beton bertulang menerus perilakunya menyerupai penampang bertulangan rangkap pada tumpuan bila tulangan terkekang cukup baik dan jangkarannya baik pula. Selain itu juga akan berupa penampang berflens pada lapangan. Bila suatu balok menerus diberi beban terpusat yang sangat besar, maka hanya momen inersia efektif  $I_e$  pada lapangan yang digunakan. Penggunaan besaran penampang rata-rata dengan penggunaan suatu faktor seperti disyaratkan oleh ACI merupakan prosedur sederhana yang digunakan yaitu (Nawi, 1998):

1. Balok yang kedua ujungnya menerus:

$$I_e \text{ rata - rata} = 0,7I_m + 0,15(I_{e1} + I_{e2}) \quad (2-6)$$

2. Balok yang satu ujungnya menerus:

$$I_e \text{ rata - rata} = 0,85I_m + 0,15(I_{ec}) \quad (2-7)$$

dengan:

$I_m$  =  $I_e$  pada penampang lapangan

$I_{e1}$  =  $I_e$  untuk masing-masing penampang ujung

$I_{ec}$  =  $I_e$  untuk ujung menerus

## 2.11 Kekakuan

Kekakuan (*stiffness*) adalah sifat yang didasarkan pada sejauh mana bahan mampu menahan perubahan bentuk. Ukuran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang diperoleh dengan membagi tegangan satuan dengan perubahan bentuk satuan-satuan

yang disebabkan oleh tegangan tersebut (Wahyono, 1996 dalam Kuat Lentur, *Toughness*, dan *Stiffness* Pada Beton Ringan Teknologi *Foam* Dengan Bahan Tambah Serat Aluminium). Kekakuan merupakan hasil bagi beban dan lendutan.

$$K = \frac{P}{\delta} \quad (2-8)$$

dengan:

K = Kekakuan

P = Beban

$\delta$  = Lendutan

## 2.12 Balok Tinggi

Balok tinggi merupakan elemen struktur seperti balok biasa yang perbandingan tinggi dengan lebar, dan perbandingan bentang geser dengan tinggi tidak melebihi 2 sampai 2,5. Bentang bersih untuk beban yang diterima balok terdistribusi merata adalah bentang geser. Contoh jenis elemen balok tinggi adalah dinding geser. Karena perilaku balok tinggi dua dimensi maka distribusi tegangan yang terjadi tidak lagi linier. Deformasi akibat geser pada balok tinggi sangat diperhatikan bila dibandingkan dengan lentur.

Dalam beberapa kasus, retak yang terjadi pada balok tinggi diakibatkan keadaan geser. Oleh karena itu, selain dibutuhkan penulangan geser vertikal di sepanjang bentang, diperlukan juga penulangan horizontal di seluruh tinggi balok (Nawi,1993).

