

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Karakteristik beton harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Pendekatan praktis yang paling baik untuk mengusahakan perbaikan sifat beton, akan berarti suatu pemberosan bila ditinjau dari segi ekonomi. Yang paling diharapkan dari suatu konstruksi adalah dapat memenuhi harapan secara maksimal, dan tidak hanya terpancang pada satu tinjauan saja, misalnya kekuatannya harus semaksimal mungkin.

Meskipun usaha untuk mendapatkan beton dengan kekuatan yang maksimum bukan satu-satunya tujuan, sifat beton yang kurang menguntungkan perlu dimengerti oleh para perencana dan konstruktor, agar dikemudian hari dapat terhindar dari kesulitan-kesulitan dalam segi pembiayaan bangunan, dan juga terhadap retak-retak maupun kelemahan konstruksi lain yang mengganggu pemandangan, perawatan dan umur dari bangunan itu sendiri. (L.J. Murdock, dkk, 1986)

Kekurangan-kekurangan dan hal-hal yang harus diperhatikan adalah :

##### 1. Kekuatan tarik yang rendah.

Kuat tarik beton berkisar  $1/18$  kuat desak pada waktu umur beton muda, dan berkisar  $1/20$  sesudahnya. Karena

rendahnya kuat tarik beton tersebut, maka pada perencanaan bangunan beton biasanya kuat tarik tidak diperhitungkan, bahkan dalam perkembangan rekayasa beton gaya tarik tersebut justru dihilangkan, contohnya pada beton prategang. Dan pada konstruksi beton yang bukan prategang, untuk menahan kuat tarik tersebut beton diperkuat dengan tulangan baja, sebagai pengganti tegangan tarik beton yang dianggap nol.

## 2. Rambatan suhu.

Selama terjadinya proses pengikatan dan pengerasan suhu beton akan naik. Naik dan turunnya suhu tidak selalu seragam pada seluruh masa beton. Kombinasi kimiawi dari semen dan air diikuti dengan pelepasan sejumlah panas yang cukup banyak, dan panas tersebut hanya dapat dilepas dengan cara konduksi pada permukaan luar beton. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin besar masa beton maka semakin besar suhu dalam beton yang masih muda umurnya, dibandingkan dengan suhu pada permukaan luar. Satu hal yang menjadi perhatian adalah bilamana masa beton itu menjadi dingin, sehingga terjadi perbedaan penyusutan yang mendorong terjadinya tegangan tarik yang disertai retak-retak. Tindakan yang dilakukan adalah dengan membasahi permukaan luarbeton. Karena beton yang mengering secara perlahan-lahan lebih mampu mereduksi retak-retak dibandingkan dengan beton yang mengering dengan cepat.

## 3. Perubahan kadar air.

Beton menyusut bilamana kering dan bahkan ketika ter-

jadi pengerasan. Penyusutan terjadi karena proses hidrasi air pada beton. Untuk mengurangi efek ini, yang perlu diperhatikan adalah gradasi bahan penyusun beton dan menghindarkan penguapan air pada waktu proses pengerasan beton secara cepat.

#### 4. Rayapan.

Beton akan mengalami perubahan bentuk secara berangsur-angsur apabila mengalami pembebanan. Perubahan bentuk yang terjadi akibat rayapan beton ini tidak dapat kembali seperti semula apabila beban tersebut dihilangkan.

#### 5. Kerapatan terhadap air.

Beton yang paling baik sekalipun tidak dapat secara sempurna kedap terhadap air dan kelembaban. Hal ini disebabkan adanya retak rambut yang terjadi karena terjadinya perbedaan penyusutan pada waktu beton mulai mengeras. Retak-retak ini perlu mendapatkan perhatian secara khusus apabila digunakan pada konstruksi-konstruksi yang banyak berhubungan dengan air dan kelembaban berkaitan dengan perlindungan terhadap karat pada baja tulangan.

Dengan memperhatikan uraian diatas, maka perlu diadakan suatu tindakan untuk memperbaiki atau paling tidak dapat mengurangi kelemahan-kelemahan tersebut. Salah satu tindakan yang dimungkinkan adalah dengan memberikan suatu bahan tambahan yang berupa serat atau fiber ke dalam adukan beton. Pemberian tambahan fiber ini dimaksudkan untuk

mengurangi efek dari proses pengeringan yang berupa retak-retak rambut. Dengan anggapan bahwa fiber mempunyai kelen-turan yang lebih besar dibandingkan bahan pengikat beton yang berupa semen, sehingga retak-retak kecil yang terjadi diharapkan dapat ditahan oleh bahan fiber sebelum retak-retak yang cukup besar terjadi.

Menurut ACI Committee 544 (1982), "fiber reinforced concrete" didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus (yang digunakan adalah pasir alam), agregat kasar, dan sejumlah kecil fiber.

Teori yang dipakai sebagai pendekatan untuk dapat menjelaskan mekanisme kerja fiber sehingga dapat memperbaiki sifat beton, ada dua (Soroushian, dkk, 1987) yaitu : spacing concept dan composite material concept.

#### **2.1.1. Spacing concept**

Dalam teori pertama ini, cara penempatan fiber adalah berjajar secara urut dan seragam. Karena dengan berjajar secara urut dan seragam tanpa adanya overlapping, fiber dapat bekerja lebih efektif. Dan dengan mendekatkan jarak antar fiber dalam campuran beton, maka beton akan dapat lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar.

Jika fiber diatur dalam penempatannya, seragam, tanpa ada yang saling menindih atau overlapping, maka jarak rata-rata dari titik tengah antar fiber ( $S_c$ ) adalah (Parvis Soroushian, dkk. 1986) :

$$s_c = \sqrt[3]{\frac{V}{N}} \quad (2.1)$$

$$= \sqrt[3]{\frac{V_1}{V_f}} \quad (2.2)$$

dengan :  $V$  = Volume total dari beton fiber

$V_1$  = Volume sebuah fiber

$V_f$  = Volume pecahan fiber dalam acuan

$N$  = Jumlah total fiber.

Pada kondisi yang sebenarnya penyebaran fiber tidak beraturan, dan saling menindih atau overlap. Mengingat kondisi ini, dapat diambil satu asumsi bahwa perbandingan rata-rata dari panjang proyeksi pada satu arah terhadap panjang total ( $\theta$ ) adalah suatu koreksi yang layak untuk orientasi random pada fiber.

$$\eta_\theta = \frac{N \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \cos\theta \cos\phi \, d\theta \, d\phi}{N (\pi/2)^2 l_f} \quad (2.3)$$

$$= 0,41$$

Oleh karena itu volume efektif dari potongan fiber hanya 41% dari volume yang sebenarnya, dan rata-rata jarak fiber setelah dikoreksi didapatkan :

$$s_{ce} = \sqrt[3]{\frac{V}{0,41 N}} \quad (2.4)$$

$$= \sqrt[3]{\frac{V_1}{0,41 V_f}} \quad (2.5)$$

### 2.1.2. Composite material concept

Konsep material komposit merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer untuk memperkirakan kuat tarik ataupun lentur dari fiber reinforced concrete. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama. Dalam konsep ini diasumsikan bahwa bahan penyusun saling melekat sempurna, bentuk fiber adalah menerus dan angka poisson dari material dianggap nol.

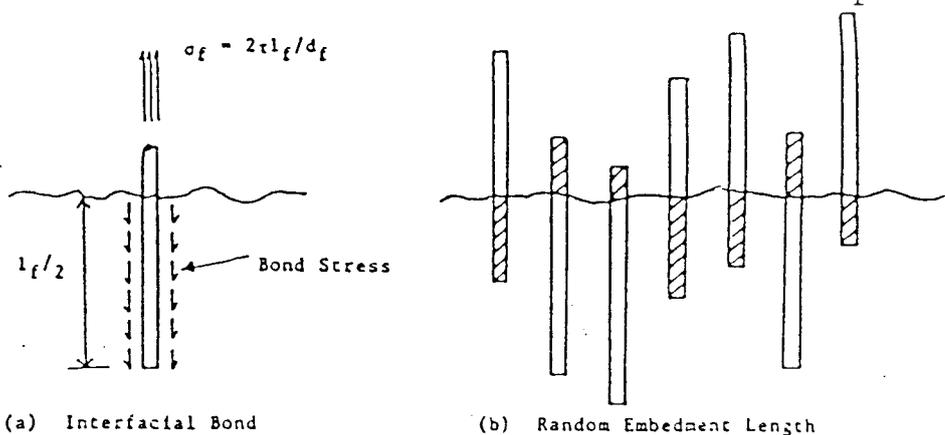
Dengan asumsi tersebut diatas, maka kekuatan bahan komposit pada saat retak pertama dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad (2.6)$$

dengan  $\sigma_c$  : kekuatan komposit saat retak pertama  
 $\sigma_f$  : tegangan tarik fiber saat beton hancur  
 $\sigma_m$  : kuat tarik beton  
 $V_f$  : persentase volume fiber

$$\text{dengan, } \sigma_f = 2 \Gamma l_f / d_f \quad (2.7)$$

dan,  $\Gamma$  : tegangan lekat pada panjang lekatan fiber yang diperhitungkan ( $l_f/2$ ).



Gambar 2.1. Posisi fiber yang tidak teratur dalam beton

Karena fiber yang digunakan dalam fiber reinforced concrete adalah ukuran pendek dan bukan continuous fiber, maka perlu dikoreksi berdasarkan pertimbangan :

1. Orientasi dari short fiber yang random akan mengurangi efisiensi penulangan fiber terhadap material komposit.
2. Lekatan yang tidak sempurna serta ukuran fiber yang pendek dapat menyebabkan adanya alur retakan yang tidak melewati fiber.
3. Distribusi alur retak yang sembarang menyebabkan alur retak tidak selalu memotong fiber tepat di tengah-tengah.
4. Efektifitas beton dalam menahan tarik pada saat timbul retak.

Dengan demikian persamaan (2.6) menjadi :

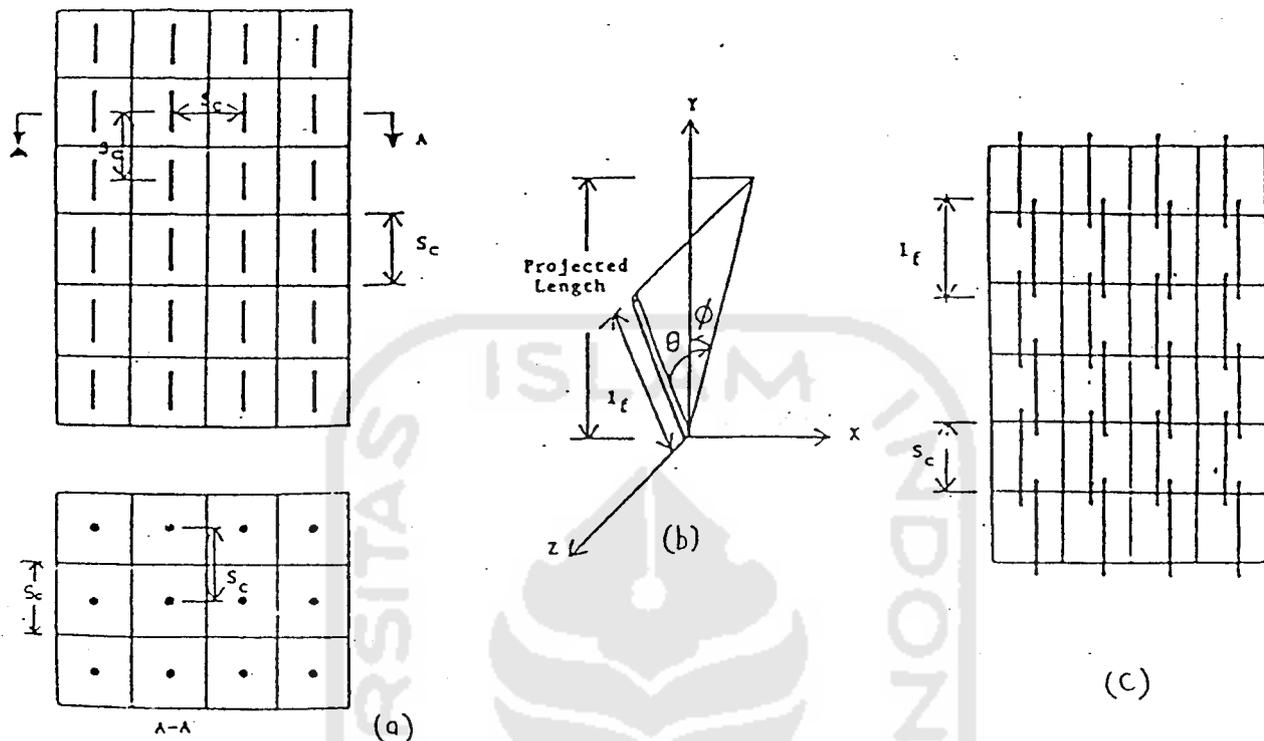
$$\sigma_c = 2 \eta_1 \eta_\theta \Gamma V_f l_f / d_f + \tau \sigma_m (1 - V_1) \quad (2.8)$$

dengan  $\eta_1$  : faktor efisiensi orientasi random dari fiber

$\eta_\theta$  : faktor efisiensi panjang fiber tertanam

$\tau$  : koefisien tarik beton

Sebagai ilustrasi dari kedua konsep diatas dapat dilihat pada gambar 2.2. di bawah ini :



Gambar 2.2. Susunan fiber dalam beton menurut Spacing Concept  
 (a) susunan fiber yang berurutan  
 (b) proyeksi arah fiber yang random  
 (c) susunan fiber yang saling overlap

## 2.2. Kuat tekan

Beton relatif kuat menahan desak, dan keruntuhan atau kegagalan beton sebagian besar disebabkan oleh rusaknya ikatan pasta dan agregat. Besarnya kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh kekerasan dan bentuk batuan. Batuan yang berbentuk tajam mempunyai kemampuan saling mengunci sehingga memberi ikatan yang lebih kompak. Oleh karena fungsi fiber terutama adalah untuk menahan retak yang timbul akibat tarikan, serta luas penampang fiber yang tidak begitu besar maka penambahan fiber pada adukan beton hanya memberi pengaruh yang kecil pada kuat tekan beton.

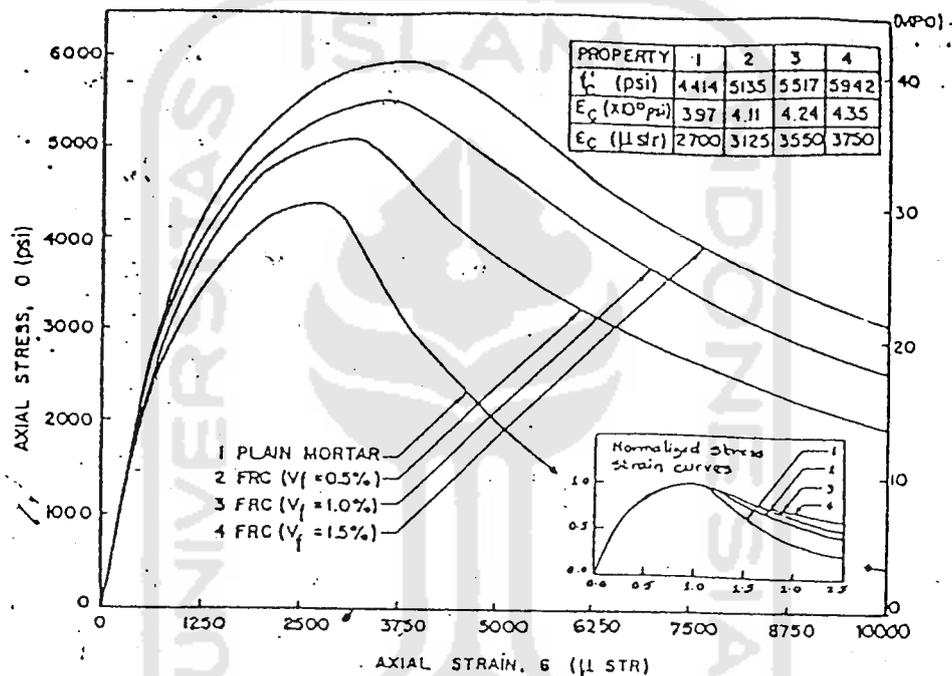
Hussin (1977) menyelidiki pengaruh fiber terhadap kuat tekan beton dengan benda uji khusus sisi 100 mm dan silinder berdiameter 100 mm serta panjangnya 200 mm. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa tidak banyak perbedaan pengaruh fiber terhadap kuat tekan pada benda uji kubus.

Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh Ramakrishnan, dkk (1981), kuat tekan beton fiber agak lebih kecil dibanding kuat tekan beton non-fiber. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena campuran beton fiber memerlukan lebih banyak air pada proses shortcreting untuk mencapai workability yang sama seperti beton non-fiber, dan bahan fiber sendiri mudah slip karena permukaannya yang halus.

Gopalaratman dan Shah (1985) juga menguji pengaruh penambahan beberapa persentase kandungan smooth brass coated steel fibers ke dalam campuran beton. Disimpulkan bahwa penambahan fiber akan mempertinggi kuat tekan bersamaan dengan peregangannya (gambar 2.3.). Beton biasa (non fiber) mempunyai kuat tekan 4414 psi (30,4 MPa) sementara 1,5% fiber reinforced concrete, kuat tekannya 5942 psi (40,98 MPa). Dengan aspek rasio (nilai banding panjang dan diameter fiber) yang sama, yaitu 62,5. Peningkatan kuat tekan ditunjukkan dengan hubungan linear terhadap kandungan fibernya. Batas peregangan pada beban maximal 3750  $\mu$ str dicapai oleh 1,5% fiber reinforced concrete, sedang untuk beton non-fiber hanya 2700  $\mu$ str.

Adanya rongga akan mempengaruhi kuat tekan beton. Begitu pula dengan ukuran agregat, bahan tambah (ad-mixture) dan aspek rasio fiber dapat berpengaruh pada

tingkat pencapaian kepadatan. Akibat lebih lanjut berpengaruh pula terhadap kuat tekan betonnya. Oleh karena itu metode pemadatan pada fiber composite mempunyai pengaruh penting terhadap sifat-sifat struktural.



Gambar 2.3.

Hasil static uniaxial compression test untuk benda uji mortar dan fiber reinforced concrete

### 2.3. Kuat lentur

Penambahan fiber dengan orientasi random diharapkan akan meningkatkan kuat lentur beton fiber dibandingkan dengan beton non-fiber. Sifat getas dari beton akan dapat diatasi oleh adanya fiber sehingga beton fiber akan men-

jadi lebih liat. Oleh karena itu beton fiber dapat digunakan pada perencanaan bagian-bagian penting dari struktur.

Sudarmoko (1989) mengamati bahwa pada kandungan 1,5 % plain steel fibers (PSF) kuat lentur beton fiber akan mencapai kira-kira dua kali dari kuat lentur yang dihasilkan oleh beton biasa.

Naiknya kuat lentur ini disebabkan oleh susunan fiber yang saling menindih atau overlaping, sehingga bila ada suatu gaya lentur yang bekerja, fiber akan ikut menahan gaya tersebut. Dan karena susunan yang overlaping itu bila satu fiber belum sampai batas kekuatan maksimal dalam menahan gaya tersebut, fiber yang lainpun mulai menahan gaya tersebut demikian seterusnya.

Besar gaya yang mampu ditahan oleh sebuah fiber tergantung pada bentuk fiber, permukaan fiber, panjang fiber, daya serap terhadap air, keliatan fiber, dan jenis fiber itu sendiri.

#### **2.4. Workability**

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan fiber ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan adukan (workability) secara cepat sejalan dengan penambahan konsentrasi fiber (Ramakrishnan, 1988).

Penurunan kelecakan adukan dapat diatasi dengan penurunan diameter maksimal agregat, peninggian faktor air semen, penambahan semen ataupun pemakaian bahan tambah. Meskipun demikian jika konsentrasi fiber melampaui suatu batas tertentu, tetap akan didapat suatu adukan dengan

kelecekan yang sangat rendah sehingga sulit diaduk dan dituang dengan cara-cara biasa.

Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Edgington, dkk (1974), kelecekan adukan beton akan menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi fiber, namun konsentrasi fiber akan dapat ditingkatkan dengan cara penurunan diameter maksimum agregat.

## **2.5. Landasan Teori**

Teori dasar yang digunakan untuk mengolah data yang diperoleh dari hasil pengujian adalah seperti yang tercantum dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 yang meliputi :

- mutu pelaksanaan dan kuat tekan karakteristik, dan
- Uji lentur.

### **2.5.1. Mutu pelaksanaan dan kuat tekan karakteristik**

Beton adalah suatu bahan konstruksi yang mempunyai sifat kekuatan tekan yang khas, yaitu bila diperiksa dengan sejumlah besar benda uji, nilainya akan menyebar sekitar suatu nilai rata-rata tertentu. Penyebaran dari hasil-hasil pemeriksaan ini akan kecil atau besar tergantung pada tingkat kualitas pelaksanaannya. Dengan menganggap nilai-nilai hasil pemeriksaan tersebut menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss), maka ukuran besar kecilnya penyebaran dari nilai-nilai hasil pemeriksaan kuat tekan beton didapatkan berdasarkan rumus deviasi standar (PBI 1971) :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{1}^N (\sigma'_b - \sigma'_{bm})^2}{N - 1}} \quad (2.9)$$

keterangan :

$s$  = deviasi standar ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma'_b$  = kuat tekan beton masing-masing benda uji ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma'_{bm}$  = kuat tekan beton rata-rata ( $\text{kg/cm}^2$ ) menurut rumus :

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_{1}^N \sigma'_b}{N} \quad (2.10)$$

$N$  = jumlah seluruh nilai hasil pemeriksaan, jadi jumlah seluruh benda uji minimum 20 buah.

Berbagai mutu pelaksanaan pada suatu volume pekerjaan dicantumkan dalam tabel 2.1. berikut ini.

Tabel 2.1. Mutu pelaksanaan diukur dengan deviasi standar.

isi pekerjaan		deviasi standar $s$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		
sebutan	jumlah beton ( $\text{m}^3$ )	baik sekali	baik	dapat diterima
kecil	<1000	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 65$	$65 < s \leq 85$
sedang	1000-3000	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 75$
besar	>3000	$25 < s \leq 35$	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 65$

Dengan menganggap nilai hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung Gauss), maka kuat tekan beton karakteristik  $\sigma'_{bk}$ , dengan 5% kemungkinan adanya kekuatan yang tidak memenuhi persyaratan ditentukan dengan rumus :

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,64 s \quad (2.11.)$$

s adalah deviasi standar

### 2.5.2. Uji lentur

Permasalahan yang mendasar berkaitan dengan sifat beton yang getas dan begitu rendahnya kuat lentur, baik oleh beban yang bekerja ataupun oleh berat sendiri yang harus dipikul, maka untuk mengatasinya perlu diberikan suatu bahan yang lebih kuat yaitu baja tulangan.

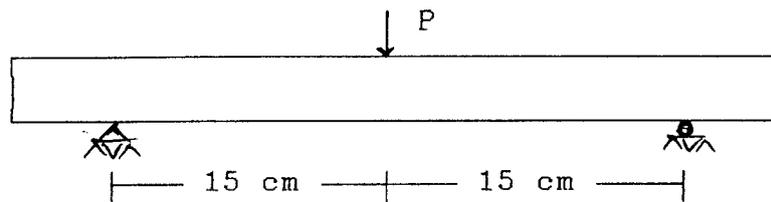
Pada dasarnya suatu balok yang mendapat beban yang arahnya memotong bentangan, maka akan terjadi lendutan yang mengakibatkan tertariknya sisi bawah dan tertekannya sisi atas dari balok tersebut. Pada sisi bawah inilah akan terjadi retakan yang lambat laun membesar dan bergerak ke atas yang pada akhirnya akan terjadi keruntuhan.

Penambahan bahan fiber pada balok dapat menghilangkan retak-retak rambut yang tidak diharapkan dikemudian hari, yang disebabkan oleh ketidakmampuan bahan pengikat (semen) menerima beban lentur, karena ikatan yang terjadi pada semen yang merupakan bahan pengikat pada campuran beton tidak sekuat ikatan yang ada pada bahan fiber. Dengan kata lain bahan fiber mempunyai kelenturan dan keliatan yang lebih besar dari pada semen.

Walaupun pada akhirnya terjadi pula retak pada konstruksi, pada beton fiber pertambahan besar dan panjang retakan lebih lambat. Dan retakan ini terjadi akibat beban yang bekerja, dan bukan retakan akibat penyusutan.

Sebagai ilustrasi dipakai suatu balok yang diletakkan

yang diletakkan tepat pada pertengahan bentang seperti pada gambar 2.4. dibawah ini.



Gambar 2.4. Model pengujian kuat lentur

Sebagai dasar perhitungan kuat lenturnya adalah beban maksimum dengan anggapan regangan pada daerah tarik dianggap sama dengan yang terjadi pada daerah desak. Rumus yang digunakan adalah :

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{w} \quad (2.12)$$

$$\text{dengan : } M = (1/4 \cdot P \cdot L) + (1/8 \cdot q \cdot L^2) \quad (2.13)$$

$$\text{dan } w = 1/8 \cdot b \cdot h^2 \quad (2.14)$$

dengan  $\sigma_{lt}$  : kuat lentur beton ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

P : beban maksimum (kg)

q : berat sendiri ( $\text{kg}/\text{m}$ )

b : lebar balok (cm)

h : tinggi balok (cm)

L : Jarak antar tumpuan (cm)

w : Tahanan momen ( $\text{cm}^3$ )