

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton Serat

Ide dasar penambahan serat pada beton adalah beton diberi tulangan serat yang ditambahkan pada saat membuat adukan, serat dimasukan dengan cara ditaburkan, dengan adanya serat yang tertanam dalam beton tersebut dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton didaerah tarik yang terlalu awal akibat pembebanan (Soroshian & Bayasi, 1987 dalam Situmorang, 2003).

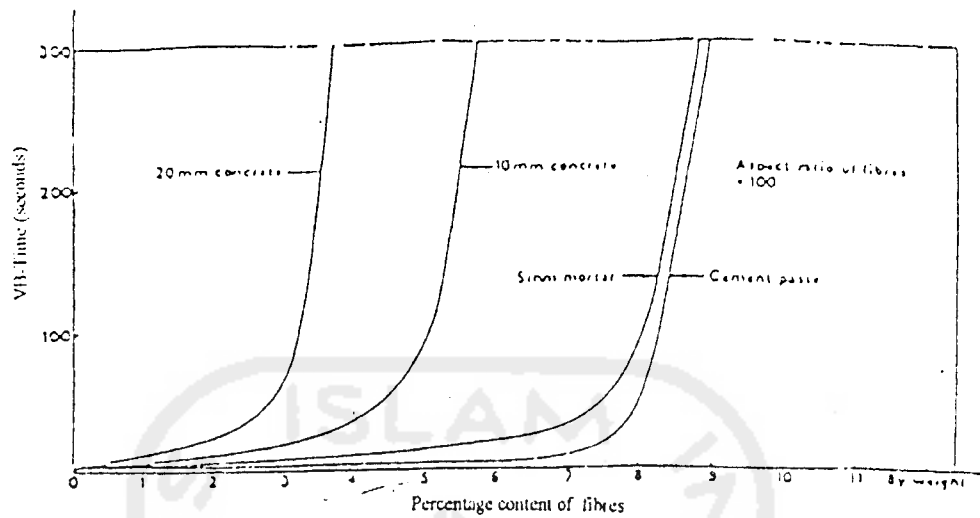
Beberapa peneliti diluar negri telah membuktikan bahwa dengan penambahan serat kedalam adukan beton dapat memperbaiki sifat-sifat sebagai berikut: (a) lebih daktail, (b) meningkatkan kuat desak, (c) meningkatkan kuat tarik, (d) meningkatkan kuat lentur, (e) menambah ketahanan terhadap kejut. Hal-hal tersebut sesuai hasil penelitian beton yang dilakukan oleh Soroshian & Bayasi, 1987 dan penelitian beton dengan serat bendrat oleh Suhendro, 1991 (dalam Situmorang, 2003).

Swamy dan Al-Noori, 1994 (dalam suryanto, 2000) mengamati bahwa bentuk serat akan berpengaruh pada kuat lekat. Pada beton serat berkait kuat lekatnya akan 40% lebih besar dibanding kuat lekat beton serat polos. Perbedaan peranan kedua jenis serat ini terutama adalah dalam menahan retakan dan runtuhannya benda uji. Karena retakan dan lenturan balok struktur beton sebagian besar tergantung pada interaksi antara baja tulangan dan beton, maka peningkatan

pada beton serat ini akan memperkecil kemungkinan terjadinya retak dan lentur yang berlebihan dan akan meningkatkan kekakuan balok secara keseluruhan.

Pengaruh penambahan serat terhadap kuat tekan beton telah lama diteliti oleh para peneliti untuk mengetahui seberapa besar penambahan serat yang akan menyebabkan naiknya kuat tekan beton. Hussin, 1979 (dalam Munir, 1996) dari hasil penelitiannya mengungkapkan bahwa kuat tekan beton serat meningkat sampai 40% untuk benda uji berbentuk silinder, sedangkan untuk benda uji berbentuk kubus tidak terlalu banyak variasi dalam kuat tekan beton serat. Hal ini mungkin disebabkan oleh kenyataan bahwa benda uji yang lebih besar ukurannya akan menghilangkan pengaruh gesakan muka antar serat. Sedangkan Pratomo, 1991 (dalam Suryanto, 2000) mendapatkan hasil bahwa kuat tekan beton serat kawat bendrat meningkat pada kandungan serat 1,25% sebesar 6,6% untuk kubus beton dan 27,90% untuk silinder beton.

Briggs dkk, 1974 (dalam Situmorang, 2003) meneliti bahwa batas maksimum aspek rasio serat yang masih memungkinkan pengadukan dilakukan dengan mudah adalah  $l/d < 100$  seperti pada gambar 2.1 dibawah ini. Serat dengan  $l/d > 100$  jika dicampurkan kedalam adukan beton akan menggumpal (*Balling Effect*) sehingga menyebabkan kesulitan dalam adukan, sedangkan apabila  $l/d < 50$ , lekatan antara serat antara adukan kurang baik dan mudah berpecah oleh getaran. Karena nilai  $l/d$  sangat terbatas, dengan melihat faktor lain yang membentuk tegangan tambah didalam beton (kekuatan geser lekat), maka dibuat serat dengan bentuk fisik yang bermacam-macam antara lain: spiral, berkait, dan lain-lain.



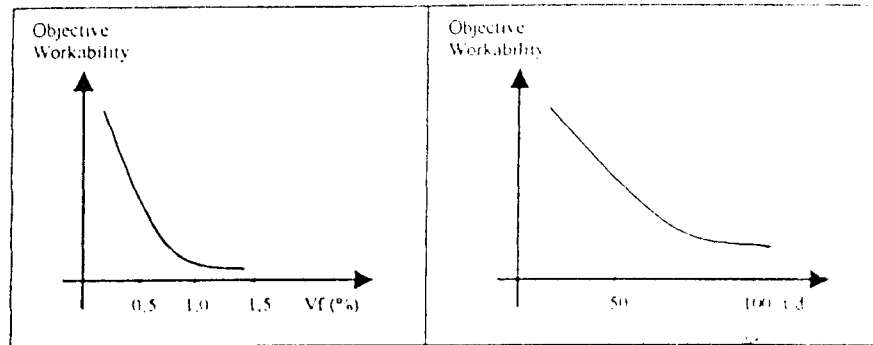
Gambar 2.1 Hubungan konsentrasi serat dengan diameter agregat

(Kerr, 1984 dalam Suhendro, 1991)

Dari gambar 2.1 menunjukkan bahwa konsentrasi serat dapat ditingkatkan dengan penurunan diameter maksimum agregat, penurunan diameter agregat mempengaruhi penyebaran serat dalam adukan.

Hannant, 1986 (dalam Situmorang, 2003) mengemukakan penggunaan serat dengan modulus yang rendah (biasanya dari bahan alami) juga dapat dipakai untuk memperbesar daktilitas dan penyerapan energi pada beton, disamping harga yang murah dan sesuai untuk penggunaan pada bangunan tingkat rendah. ACI Comimittee 544, 1993 (dalam Rokman, 1998) mengisyaratkan ukuran agregat maksimum yang digunakan pada beton serat adalah  $\frac{3}{4}$ " (19 mm) untuk kemudahan adukan dan tersedia ruang bagi serat.

Dari gambar 2.2 dapat dilihat pengaruh prosentasi serat dan aspek rasio terhadap kelecakan adukan beton.



Sumber: *Scroushian & Bayasi, 1987*

Gambar 2.2. Pengaruh prosentase serat dan aspek rasio terhadap kelecakan adukan beton.

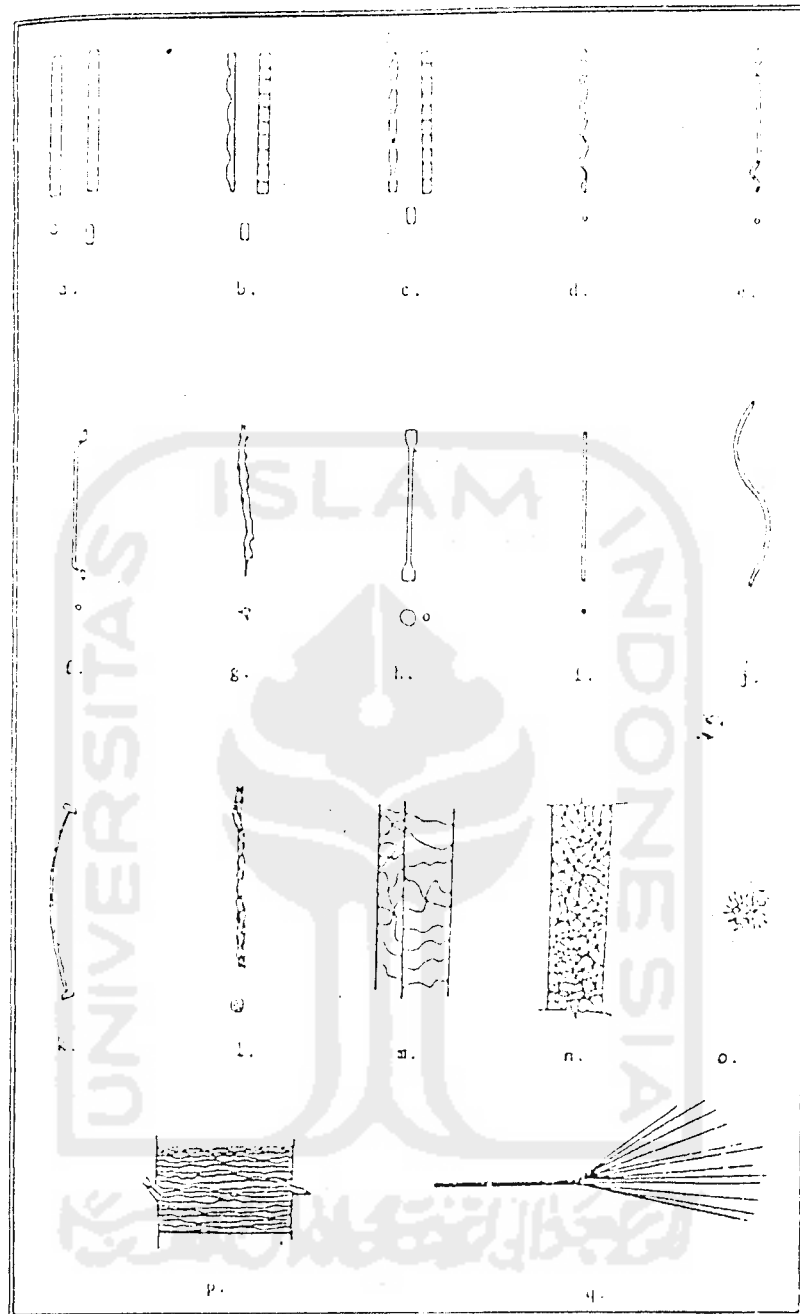
Pada gambar 2.3 terdapat beberapa macam serat dan bentuknya yaitu:

Gambar (a) – (h) : *steel fibers*

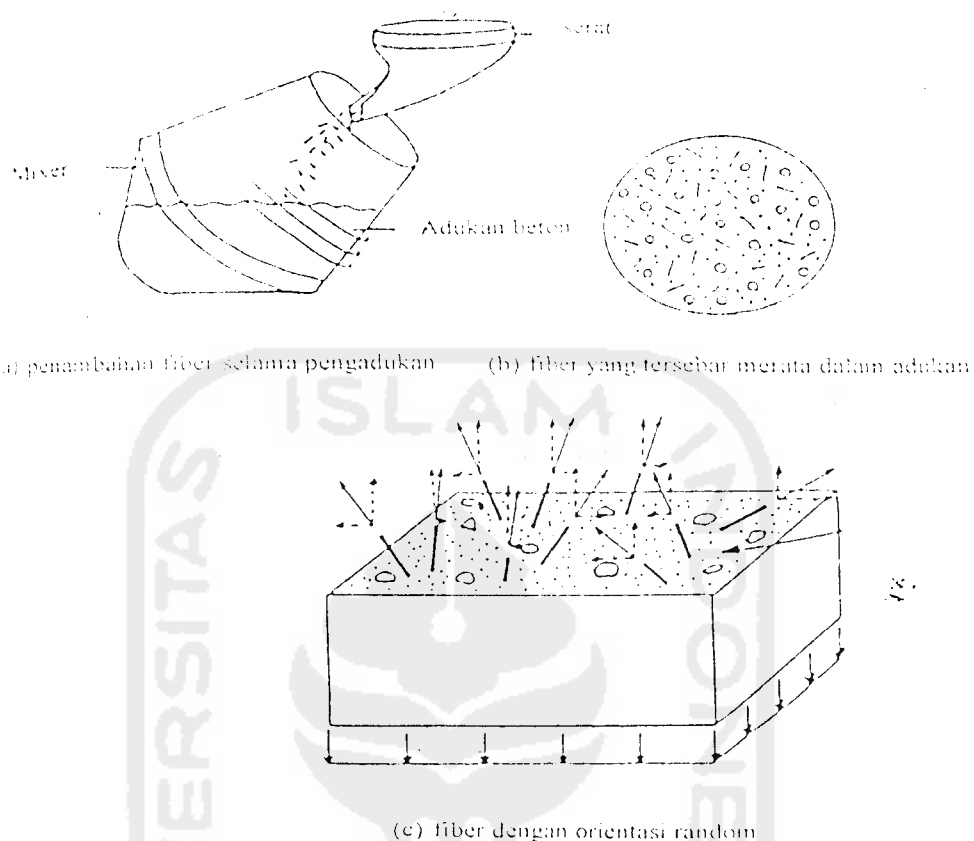
Gambar (i) : *glass fibers*

Gambar (j) – (n) : *Plastic fibers*

Gambar (o) – (q) : *Carbon fiber*



Gambar 2.3. Beberapa macam serat dan bentuknya (Soroushian & Bayasi, 1987)



Gambar 2.4 Penambahan serat dengan orientasi random pada adukan beton

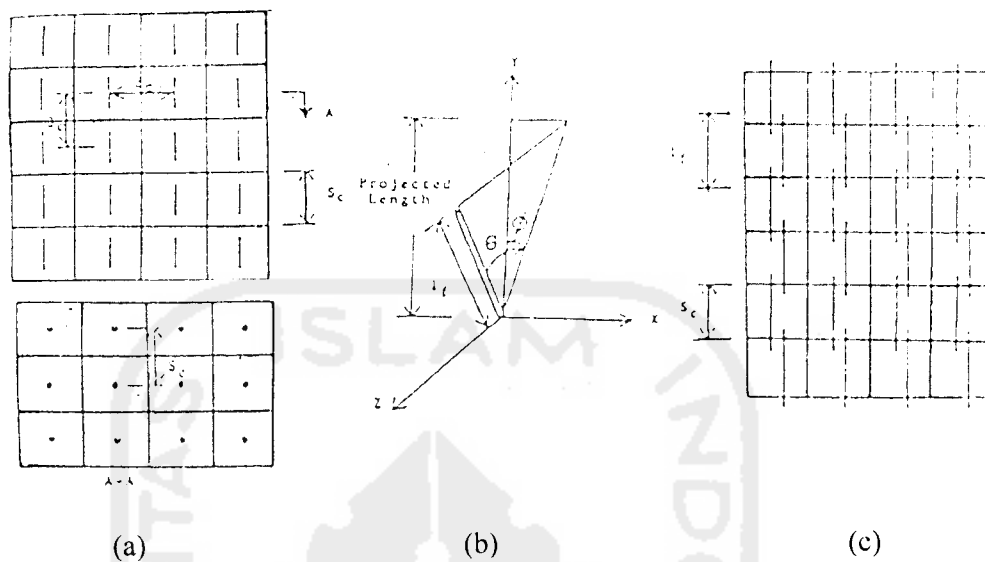
(Soroushian & Bayasi, 1987)

Mekanisme kerja serat sehingga dapat memperbaiki sifat beton dijelaskan dengan teori pendekatan dari Soroushian dan Bayasi, 1987 (dalam Siumorang, 2003) yaitu:

a). *Spacing Concept*

Dalam teori ini, dengan mendekatkan jarak antar serat dalam campuran beton, maka beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar. Serat dapat bekerja lebih efektif jika

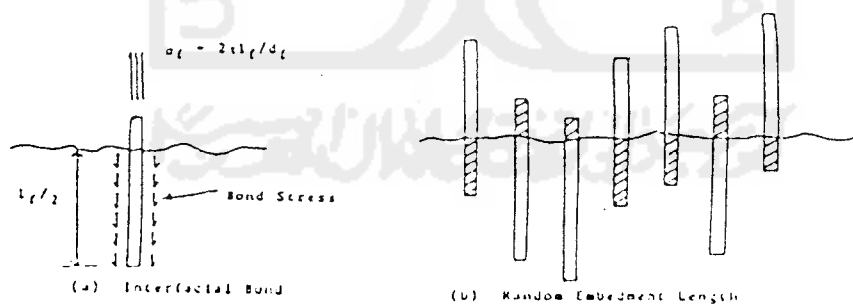
sejajar secara urut dan seragam tanpa adanya *overlapping*. Padahal keadaan sesungguhnya susunan serat adalah tidak teratur serta saling *overlapping*.



Gambar 2.5 Susunan serat dalam beton menurut *spacing concept*

Soroushian & Bayasi, 1987 (dalam Situmorang, 2003)

- Susunan serat yang berurutan
- Proyeksi arah serat yang random
- Susunan serat yang saling *overlap*



Gambar 2.6 posisi serat yang tidak teratur dalam beton

Soroushian & Bayasi, 1987 (dalam Situmorang, 2003)

b). *Composite material concept*

Konsep material komposit merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer untuk memperkirakan kuat tarik ataupun lentur dari *fibres reinforced concrete*. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama (*First Crack Strength*). Konsep ini diasumsikan bahwa bahan penyusun saling melekat sempurna, bentuk serat menerus (*Continous Fibre*) dan angka poisson material komposit dianggap nol. Dengan asumsi tersebut diatas, maka kekuatan bahan komposit pada saat retak pertama dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m(1 - V_f) \dots\dots\dots(2.1)$$

$\sigma_c$  = tegangan tarik komposit saat retak pertama

$\sigma_f$  = kuat tarik serat saat beton hancur

$\sigma_m$  = kuat tarik beton

$V_f$  = prosentase volume fraksi serat

Sedang modulus elastis komposit dapat dinyatakan:

$$E_c = E_f V_f + E_m(1 - V_f) \dots\dots\dots(2.2)$$

$E_c$  = Modulus elastisitas komposit

$E_m$  = Modulus elastisitas beton

$E_f$  = Modulus elastisitas serat

Karena serat yang digunakan dalam *fibre reinforced concrete* adalah serat ukuran pendek dan bukan *continous fibre*, maka dari persamaan tersebut diatas perlu dikoreksi berdasarkan pertimbangan-pertimbangan:



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

Jadi dalam *composite material concept*, serat memberikan kontribusi kekuatan pada beton dengan mengerahkan tahanan lekat antara serat dengan beton. Dengan demikian jelaslah bahwa penambahan serat pada beton menambah daktilitasnya. Bertambahnya daktilitas pada beton serat menyebabkan beton dapat berperilaku baik terhadap beton dinamis. Hal ini disebabkan beton serat mampu menyerap energi yang lebih besar, makanya redaman yang dihasilkan juga besar. Sehingga apabila struktur beton serat menderita beban dinamis, serat akan menunda terjadinya retakan awal dan menghambat perambatan retak yang terjadi. Selain itu jika sudah terjadi retak, beton serat tidak langsung hancur karena ditahan *pull out resistance* seratnya.

Konsentrasi serat (*fibres volume faction*) adalah prosentase volume serat yang ditambahkan kedalam setiap satuan volume beton, dimana konsentrasi serat yang masih memungkinkan pengadukan dilakukan dengan mudah adalah 2% dari volume adukan. Jika konsentrasi serat melampaui nilai ini, adukan beton menjadi sulit dikerjakan (Sudarmoko, 1991 dalam Situmorang, 2003). Akan tetapi

peningkatan jumlah pasir (berarti penurunan jumlah kerikil) akan meningkatkan konsentrasi secara optimal.

Telah ditemukan bahwa perkiraan konsentrasi serat yang akan menyebabkan adukan mulai menjadi sulit dan tidak mungkin diadukan adalah:

$$PW_{crit} = 75 \frac{\pi \cdot SGf}{SGc} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

$PW_{crit}$  : konsentrasi kritis serat

$SGf$  : berat jenis serat

$SGc$  : berat jenis adukan

$d/l$  : nilai banding diameter ( $d$ ) dan panjang serat ( $l$ )

$$\text{dan : } K = \frac{Wm}{Wm + Wa} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :  $K$  : perbandingan dari berat mortar dengan berat adukan

$Wm$  : berat fraksi mortar, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel

Kurang dari 5 mm

$Wa$  : berat fraksi agregat, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel

lebih dari 5 mm

Pada beban kerja, tegangan-tegangan yang terjadi akan ditransfer dari bahan batuan yang relatif lunak ke serat oleh tegangan geser muka. Transfer tegangan ini terjadi baik sebelum maupun sesuatu batuan mengalami retak, sehingga mempunyai dua pengaruh penting, yaitu serat akan meningkatkan kekuatan batuan sebelum retak terjadi, retak yang terjadi akan ditahan oleh serat.

## 2.2 Serat Kulit Bambu

Di Indonesia terutama di pedesaan, bambu banyak digunakan sebagai bahan bangunan. Beberapa alasan yang menjadikan penggunaan bambu menjadi populer, antara lain: bambu mudah didapat, mempunyai batang yang lurus, harganya relatif murah, mempunyai kekuatan yang cukup untuk bangunan sederhana, keawetannya mudah ditingkatkan dengan cara yang sederhana.

Meskipun pemakaian bambu cukup merata dan meluas di Indonesia, namun penelitian tentang berbagai kekuatan bambu masih belum banyak, terutama mengenai penggunaan serat bambu untuk meningkatkan mutu beton.

Batang bambu pada umumnya berupa batang silinder dengan diameter bervariasi dari 1 cm hingga 25 cm dan ketinggian bervariasi dari 1 m hingga 40 m. diameter bambu berkurang sejalan dengan panjangnya, dari pangkal hingga ujung. Bambu secara keseluruhan dipisahkan pada nodia-nodia. Permukaan luar batang tertutup oleh kulit yang keras mencegah sebagian kehilangan air dari batang bambu (Ghavami, 1998 dalam Situmorang,2003). Bambu dengan nama botani *Dendrocalamus asper* ini di Indonesia terkenal dengan nama bambu petung. Di berbagai daerah, bambu yang termasuk jenis ini dikenal dengan nama: buluh petong, buluh suwanggi, bambu batucing, pering betung, betong, bulo lotung, awi bitung, jajang betung, pring petung, pereng petong, tiing petung, au petung, bulo patung dan awo petung (Morisco,1999). Bambu petung mempunyai rumpun yang agak sedikit rapat. Tinggi buluhnya sampai 20 m dan bergaris tengah sampai 20 cm, buku-bukunya sering mempunyai akar-akar pendek yang menggerombol, panjang ruas 40-60 cm, dinding buluh

cukup tebal yaitu 1-1,5 cm. cabang-cabang yang lagi hanya terdapat di buku-buku bagian atas, cabang primer lebih besar dari cabang-cabang yang lain, dan sering dominan. Pelepah buluh mudah jatuh, panjangnya 20-55 cm, daun pelepah buluh sempit dan melipat ke bawah.

Triwiyono, 2000 (dalam Situmorang, 2003) dari berbagai jenis bambu yang telah diteliti ternyata bambu petung mempunyai kuat lekat paling tinggi yaitu sekitar 1,1 MPa (dipilin), kalau dilihat keterkaitan antara kuat lekat dengan sifat kembang susut bambu, ternyata kembang susut bambu petung paling rendah dibanding dengan bambu apus, ori dan wulung.

Menurut Fang dan Metha, 1978 (dalam Situmorang, 2003) interaksi yang saling mempengaruhi antara bambu dengan pasta semen pada beton dapat dibagi pada 2 tahapan yaitu:

1. Tahap pertama adalah tahap pengerasan awal pasta semen, bambu akan menyerap air dari pasta semen, proses ini menyebabkan terjadinya pembesaran dimensi dari bambu dan menyebabkan terdesaknya pasta semen yang belum mengeras.
2. Tahap kedua adalah tahap akhir, pasta semen sudah mengeras dan bambu tidak dapat menyerap air lagi sehingga bambu akan menyusut. Proses ini menimbulkan rongga-rongga udara di sekeliling tulangan bambu dan pasta semen yang berpengaruh terhadap daya lekat antar bambu dengan pasta semen.

Dalam penelitian Morisco (1999) seperti terlihat pada gambar 2.7, bagian sisi yang ada kulitnya mewakili bambu bagian luar, sedangkan sisanya mewakili

bambu bagian dalam. Dari hasil penelitian pada tabel 2.1 tampak bahwa bambu bagian luar mempunyai kuat tarik jauh lebih tinggi daripada bambu bagian dalam, kekuatan yang tinggi ini diperoleh dari kulit bambu. Liese, 1980 (dalam Situmorang, 2003) menyatakan batang bambu yang telah berumur lebih dari 3 tahun kandungan air pada bagian pangkal lebih tinggi daripada bagian batang. kandungan air menurun saat bambu berumur lebih dari 3 tahun. Nilai berat jenis terbesar diperoleh pada saat bambu berumur kira kira 3-5 tahun.

Tabel 2.1. Kuat tarik bambu tanpa nodia kering oven

Jenis Bambu	Kuat tarik (MPa)	
	Bagian dalam	Bagian luar
Petung	97	285
Ori	164	417
Hitam	96	237
Tutul	146	286

Sumber: Morisco dan Mardjono (1995)

Tabel 2.2. Kuat tarik bambu kering oven

Jenis bambu	Kuat tarik (MPa)	
	Tanpa nodia	Dengan nodia
Petung	190	116
Ori	291	128
Hitam	166	147
Tutul	216	74

Sumber: Morisco dan Mardjono (1995)

Tabel 2.3. Modulus elastis tarik serat bagian luar bambu petung

Posisi batang	Modulus elastis tarik (MPa)		
	Internodia (a)	Nodia/ruas (b)	(b)/(a)
Pangkal	17.800	10.758	0,60
Tengah	14.942	10.116	0,68
Ujung	14.815	6.232	0,42
Rata-rata	15.852	9.036	0,567

Sumber: Awaluddin (2000)

Menurut INBAR, 1995 (dalam Situmorang, 2003) kekuatan tarik bambu pada satu tampang melintang dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu:

1. Bagian luar, bagian ini kira-kira 30% dari tebal batang, bagian luar merupakan bagian yang lebih keras dan lebih rapat bagian luar ini lebih rapat sehingga pada bagian ini hanya menyerap air dalam jumlah yang sedikit.
2. Bagian dalam, bagian ini kira-kira 70% dari tebal batang, bagian dalam merupakan bagian yang lunak, pada bagian ini akan mengembang dan menyerap air beton.

Menurut Liese, 1980 (dalam Situmorang, 2003) berat jenis bambu berkisar antara  $0,5 \text{ gr/cm}^3$ - $0,9 \text{ gr/cm}^3$ . Variasi berat jenis terjadi baik pada arah vertikal maupun horizontal, batang bambu bagian luar mempunyai berat jenis lebih tinggi dari pada bambu bagian dalam.