

### BAB III

## LANDASAN TEORI

### 3.1 Beton Serat

Menurut *ACI Committee 544*, beton serat (*Fiber Reinforced Concrete*) adalah beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus dan agregat kasar, air, serta sejumlah kecil serat (*fiber*).

Menurut Kardiyono (1992), beton serat (*Fiber Concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat.

Penambahan serat pada adukan beton akan mengakibatkan berkurangnya sifat mudah dikerjakan dan mempersulit terjadinya segregasi. Serat dalam beton itu berguna untuk mencegah terjadinya retak-retak pada beton, sehingga menjadikan beton serat lebih *ductile* (liat) bila dibandingkan dengan beton normal. Jika serat yang dipakai mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi dari beton, misalnya serat baja (*steel fiber*), maka beton serat akan bersifat lebih tahan benturan dan lenturan, sedangkan jika modulus elastisitasnya lebih rendah, misalnya serat *polypropylene* berupa plastik, hanya membuat beton akan lebih tahan benturan saja. Karena sifatnya yang lebih tahan benturan, maka beton serat sering dipakai pada bangunan hidrolis, landasan pesawat udara, jalan raya, lantai jembatan, dan lain-lain (Kardiono Tjokrodinuljo, 1992).

Penambahan serat pada beton diharapkan dapat mencegah terjadinya retak-retak rambut yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi ataupun akibat beban. Tertundanya retak-retak yang terlalu dini, mengakibatkan kemampuan beton untuk mendukung tegangan-tegangan (aksial, lentur dan geser) yang terjadi menjadi semakin meningkat (Bambang Suhendro, 2000).

Hai-hal yang perlu mendapat perhatian khusus pada beton *fiber* (baja) adalah (Bambang Suhendro, 2000):

1. Masalah *fiber dispersion*, yang menyangkut teknik pencampuran fiber ke dalam adukan agar dapat tersebar merata dengan orientasi yang random,
2. Masalah *Workability* (kelecekan adukan), yang menyangkut kemudahan dalam proses pengerjaan/pemadatan, termasuk indikatornya, dan
3. Masalah *mix design/proportion* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kelecekan yang memadai.

Pendekatan yang dapat digunakan untuk menjelaskan mekanisme serat dalam memperbaiki sifat dan perilaku beton (Soroushian dkk, 1987):

#### 1. *Spacing Concept*

Menurut konsep ini, dengan mendekatkan jarak antar serat dan semakin teraturnya serat dalam beton, dapat mengatasi ukuran retak menjadi lebih besar. Serat akan efektif bila serat berjajar secara urut dan seragam tanpa adanya overlapping. Dalam keadaan sebenarnya, serat dalam beton tidak teratur serta terjadi overlapping.

## 2. Composite Material Concept.

Konsep material komposit adalah suatu teori yang banyak digunakan untuk memperkirakan kuat tarik dan lentur beton serat terjadi retak pertama (*first crack strength*). Menurut konsep ini bahan penyusun beton serat (beton dan serat) diasumsikan saling melekat sempurna dan bentuk serat menerus.

Berdasarkan pendekatan tersebut, kekuatan komposit pada saat retak pertama dinyatakan dengan persamaan (Balaguru, Perumalsamy, dan Surendra P. Shah, 1992):

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \dots\dots\dots(3.1)$$

atau 
$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m (1 - V_f) \dots\dots\dots(3.2)$$

karena 
$$V_f + V_m = 1 \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana:

$\sigma_c$  : kekuatan komposit saat retak pertama

$\sigma_f$  : tegangan tarik serat saat beton hancur

$\sigma_m$  : kuat tarik beton

$V_f$  : prosentase volume serat

$V_m$  : prosentase volume beton

Persamaan (3.1 dan 3.2) perlu dikoreksi karena beberapa hal, yaitu serat yang digunakan adalah serat dengan ukuran pendek (*short fiber*) dan bukan *contunius fiber*, orientasi penyebaran serat yang random, tidak sempurnanya lekatan antara serat dan beton, panjang lekat serat pada bidang retak yang tidak sama, dan kurang efektif beton dalam menahan tarik.

Karena arah dan penyebaran serat dalam beton tidak teratur, maka kekuatan beton harus dikalikan dengan faktor efisiensi penyebaran serat ( $\eta_e$ ). Nilai lekatan serat dengan beton akibat lekatan yang tidak sempurna dan panjang lekat yang tidak sama, kemungkinan nilainya lebih kecil dari kuat tarik serat, maka kekuatan serat ditentukan berdasarkan kuat lekat serat (*bond stress*):

$$\sigma_f = 2 \cdot \tau \cdot (l_f / d_f) \dots \dots \dots (3.4)$$

dimana:

$\tau$  : tegangan lekat (*bound stress*) pada panjang lekat yang diperhitungkan ( $l_f / 2$ )

$l_f$  : panjang serat

$d_f$  : diameter serat

Selain itu kuat tekan beton serat juga harus dikoreksi dengan faktor efisiensi panjang serat ( $\eta_l$ ) sebagai koreksi karena panjang serat yang tercabut dari

beton tidak seragam panjangnya sebagai akibat penyebaran yang acak (random). Dengan demikian persamaan (3.1 dan 3.2) menjadi:

$$\sigma_c = 2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_e \cdot \tau \cdot V_f \cdot (l_f / d_f) + \lambda \cdot \sigma_m \cdot (1 - V_f) \dots \dots \dots (3.5)$$

dimana:

$\eta_1$  : faktor efisiensi orientasi penyebaran serat

$$= 0,5, \text{ jika } l_f \leq l_e \text{ atau } = 1 - \frac{l_e}{2 \cdot l_f}, \text{ jika } l_f > l_e$$

$\eta_e$  : faktor efisiensi panjang serat tertanam

$$= 0,41$$

$\lambda$  : koefisien tarik beton ( $0 \leq \lambda \leq 1$ )

$l_e$  : panjang efektif serat

Bila dilihat pada persamaan (3.5), maka terdapat 2 faktor yang mempengaruhi kekuatan beton serat, yaitu :

#### 1. *Fiber Aspect Rasio* ( $l_f/d_f$ )

Rasio panjang ( $l_f$ ) terhadap diameter ( $d_f$ ) serat berpengaruh terhadap penggumpalan (*balling effect*). Brigg, dkk (1974) meneliti bahwa serat yang mempunyai rasio tinggi ( $l_f/d_f > 100$ ) akan menyebabkan serat

menggumpal sehingga sangat sulit disebar merata pada adukan beton, sedang untuk serat beraspek rasio rendah ( $l_f/d_f < 50$ ) tidak akan terjadi ikatan yang baik dengan beton. Untuk memperbaiki lekatan dapat digunakan serat dengan berbagai bentuk, seperti kedua ujungnya berkait), spiral, dll.

## 2. Volume Fraksi Serat ( $V_f$ )

Volume Fraksi Serat adalah prosentase volume serat yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. Penelitian yang dilakukan Edgington, dkk (1974) menunjukkan bahwa kelecakan adukan akan menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi dan aspek rasio serat. Dengan menggunakan *fiber* beraspek rasio 100, didapatkan hasil kelecakan adukan *fiber* yang cukup meningkat akibat penurunan diameter dari 20 mm ke 10 mm. Penurunan diameter agregat dari 10 mm ke 5 mm juga menghasilkan peningkatan kelecakan adukan. Adukan beton serat dengan diameter agregat maksimum 5 mm dan pasta semen serat menghasilkan nilai kelecakan yang tidak jauh berbeda. Perkiraan konsentrasi serat yang mengakibatkan adukan beton serat menjadi sulit diaduk :

$$PW_{\text{crit}} = 75 \frac{\pi \cdot \gamma_f \cdot d}{\gamma_c \cdot l} K \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan,  $PW_{\text{crit}}$  : konsentrasi kritis serat (persen berat adukan)

$\gamma_c$  : berat jenis adukan

$\gamma_f$  : berat jenis serat

$\frac{d}{l}$  : nilai banding diameter dan panjang serat

dimana,

$$K = \frac{W_m}{W_m + W_a} \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan,  $W_m$  : berat fraksi mortar, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel kurang dari 5 mm

$W_a$  : berat fraksi agregat, yaitu bagian adukan dengan ukuran partikel lebih dari 5 mm

### 3.2 Beton Pasir (mikro beton)

Beton pasir (mikro beton) merupakan campuran semen *portland* atau semen *hidraulik* lainnya, agregat halus (lolos saringan no.4 ukuran lubang 4,80 mm) yang dikelompokkan atas dua atau tiga fraksi, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan, dengan perbandingan tertentu yang menyebabkan hubungan yang erat antara bahan-bahan tersebut setelah mengeras. Pengerasann terjadi

karena proses kimia antara semen dan air, proses pengerasannya bertambah sejalan dengan umur campuran (Tesis, A. Kadir Aboe, 1993).

Karena beton pasir merupakan beton dengan ukuran agregat maksimum 4,80 mm, maka beton pasir harus memenuhi spesifikasi yang berlaku pada beton umumnya. Dengan maksud, agar beton pasir tersebut dapat dipergunakan sebagai bahan konstruksi.

Mutu dan kualitas dari beton dapat dilihat /didasarkan pada (Murdock L.J, Brook K.M, 1986):

1. Kekuatan tekannya.
2. Workabilitas (sifat mudah dikerjakan, yang berkaitan dengan plastitas, mobilitas dan monolitas campuran).
3. Durabilitas (keawetan/ketahanan).
4. Permeabilitas (kerapatan terhadap air).
5. Penyelesaian akhir.

Mutu dan kualitas beton diatas , secara umum dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan campuran, cara pelaksanaan dan perawatannya. Secara lebih rinci, mutu dan kualitas beton dipengaruhi oleh (Tesis, A. Kadir Aboe, 1993):

1. Tipe dan mutu semen.
2. Sifat, bentuk dan kualitas agregat.



3. Ukuran dan gradasi agregat.
4. Rasio perbandingan antara air dan semen.
5. Kandungan bahan organis dan kotoran dalam agregat dan air.
6. Cara pelaksanaan (pencampuran, pengangkutan, penuangan dan pemadatan) dan perawatannya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton (Tri Mulyono, 2004):

1. Proporsi bahan-bahan penyusun,
2. Metode perancangan,
3. Perawatan, dan
4. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan.

Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat yang penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), segregasi, dan *bleeding* (Tri Mulyono, 2004).

### 3.2.1 Material Penyusun Beton Pasir

#### 3.2.1.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah bahan berupa bubuk halus yang mengandung Kapur ( $\text{CaO}$ ), Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Komponen terbesar penyusun semen adalah kapur (60%-65%). Semen *Portland*

dibuat dengan cara membakar bahan dasar semen menjadi klinker yang kemudian digiling halus menjadi semen dan ditambahkan gypsum.

Semen merupakan unsur terpenting dalam pembuatan beton, karena semen berfungsi sebagai bahan pengikat untuk mempersatukan bahan agregat kasar dan agregat halus menjadi satu massa yang kompak dan padat. Semen akan berfungsi sebagai pengikat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis.

Reaksi kimia antara semen *Portland* dengan air menghasilkan senyawa yang disertai dengan pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan beton yang berakibat pada keretakan beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi dua, yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis menuju keadaan keras. Sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai.

Ketika semen dicampur dengan air, akan timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi ini menghasilkan senyawa – senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Menurut Murdock dan Brook (1986), ada empat oksida utama pada semen yang membentuk senyawa -senyawa kimia, yaitu:

1. *trikalsium silikat* ( $C_3S$ )                       $3CaO.SiO_2$ ,
2. *dikalsium silikat* ( $C_2S$ )                       $2CaO.SiO_2$ ,

3. *trikalsium aluminat* ( $C_3A$ )       $3CaO \cdot Al_2O_3$ , dan
4. *tetrakalsium aluminat* ( $C_4A$ )       $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ .

Menurut tipenya, semen *Portland* dapat dibedakan menjadi lima macam, yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Tipe I      : Semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II      : Semen *Portland* yang penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III     : Semen *Portland* yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV     : Semen *Portland* dengan panas hidrasi rendah
5. Tipe V     : Semen *Portland* dengan ketahanan sulfat tinggi.

Jika semen *Portland* dicampur dengan air, maka komponen kapur dilepaskan dari senyawa, yang banyaknya mencapai sekitar 20% dari berat semen. Kondisi tersebut yang bisa terjadi adalah lepasnya kapur dari semen yang dapat menyebabkan terjadinya pemisahan struktur. Situasi ini harus dicegah dengan menambahkan pada semen suatu mineral silika. Mineral yang ditambahkan ini akan bereaksi dengan kapur bila ada uap air membentuk bahan yang kuat yaitu kalsium silikat.

### 3.2.1.2 Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan beton, karena air diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Air juga diperlukan untuk menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan. Menurut Kole dan Kusuma (1993), semen dapat mengikat air sekitar 40% dari beratnya. Dengan kata lain, air sebanyak 0,4 dari berat semen sudah cukup untuk membuat seluruh semen berhidrasi. Campuran air yang berlebihan dapat menurunkan kualitas beton. Pada beton, semen dan air yang berupa pasta akan mengikat agregat. Ruang yang tidak ditempati butiran semen maupun agregat akan berupa rongga yang berisi air dan udara. Rongga – rongga yang terbentuk akan tetap tinggal ketika beton telah mengeras, yang berakibat pada penurunan kualitas beton.

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya, umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton (Nawy, 1998).

Selain air dibutuhkan untuk reaksi pengikat, dipakai pula sebagai perawatan-sesudah beton dituang, dan keasaman tidak boleh pHnya  $> 6$ , juga tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur (Gideon, Kole dan Sagel, 1993).

Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan kualitas air sebagai berikut (Kardiyono, 1992):

1. Tidak mengandung Lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

3. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

### 3.2.1.3 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang merupakan bahan pengisi dalam campuran beton. Untuk mendapatkan beton yang mempunyai mutu tinggi, maka sifat-sifat agregat tidak dapat diabaikan, karena agregat menempati proporsi 70-75% pada beton (Nilson dan Winter,1991). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, seperti dijelaskan sebagai berikut:

1. Agregat normal.

Agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7

2. Agregat berat.

Agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8.

3. Agregat ringan.

Agregat yang berat jenisnya kurang dari 2.

Agregat juga dibedakan menurut ukuran butirnya, sebagai berikut ini:

1. Agregat halus.

Agregat yang berukuran lebih kecil dari 4,8 mm, yang sering juga disebut sebagai pasir.

2. Agregat kasar.

Agregat yang berukuran lebih dari 4,8 mm atau sering juga disebut kerikil, batu pecah atau *split*.

Menurut sumbernya, agregat juga dapat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat alami dan agregat buatan.

Pemilihan dan penentuan agregat yang akan digunakan (komposisi, spesifikasi, dan gradasi) merupakan hal terpenting dalam pembuatan beton. Dalam pembuatan beton normal berkualitas baik agregat yang digunakan sedikitnya memiliki dua kelompok ukuran, yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Begitu juga halnya dalam pembuatan beton pasir, agregatnya dikelompokkan paling sedikit dalam dua fraksi.

Bila dalam pembuatan beton pasir digunakan agregat yang dikelompokkan dalam dua fraksi, maka fraksi tersebut adalah:

1. Agregat ukuran 0 – 2,40 mm sebagai agregat halus
2. Agregat ukuran 2,40 – 4,80 mm sebagai agregat kasar

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton terhadap agregat (Tri Mulyono, 2004):

1. Perbandingan agregat dan semen campuran
2. Kekuatan agregat
3. Bentuk dan ukuran
4. Tekstur permukaan
5. Gradasi
6. Reaksi kimia, dan
7. Ketahanan terhadap panas.

Karakteristik penting dari agregat adalah bentuk dan tekstur permukaan. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuk partikel diantaranya adalah bulat contohnya kerikil sungai, kerikil pantai, pasir pantai, pasir padang pasir dan tak beraturan contohnya kerikil-kerikil lain, batu tanah atau batu galian. Klasifikasi tekstur permukaan didasarkan pada derajat kekasaran permukaan partikel dan macam kekasarannya. Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran butir, dan karakteristik pori bahan asal. Klasifikasi tekstur permukaan menurut B.S 612 : 1967 yaitu: sangat halus, halus/licin, agak kasar/berbutir, kasar, berkilat, berpori, dan berlubang-lubang (Tesis, A. Kadir Aboe, 1993). Bentuk dan tekstur permukaan agregat sangat mempengaruhi kekuatan beton, kekuatan lenturnya lebih terpengaruh dari pada kekuatan tekannya. Ikatan antara agregat dan pasta semen adalah faktor yang menentukan terhadap kekuatan beton, terutama kekuatan lentur. Ikatan ini disebabkan antara lain oleh interlocking

agregat dengan pasta semen akibat kekasaran permukaan agregat. Permukaan yang lebih kasar menghasilkan gaya adhesif yang lebih besar antara partikel dengan semen. Ikatan yang lebih baik juga diperoleh bila digunakan partikel yang lebih lembut, porous dan yang mineralnya heterogen (Tesis, A. Kadir Aboe, 1993).

Agregat yang baik adalah harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no. 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton (Nawy, 1985).

Pada agregat mungkin terdapat bahan-bahan yang merugikan yang dapat dikelompokkan dalam tiga kategori, yaitu: ketidak murnian organik yang dapat mempengaruhi proses hidrasi semen; lapisan permukaan yang mengganggu pembentukan ikatan yang baik antara agregat dengan pasta semen; dan beberapa partikel agregat sendiri yang lemah.

Agregat yang cukup kuat dan tahan aus dapat saja mengalami ketidak murnian organik, yang berakibat tidak memuaskan sebagai bahan pembentuk beton, karena bahan organik dapat mengganggu reaksi kimia hidrasi. Bahan organik yang terdapat pada agregat biasanya berupa humus, bahan ini lebih sering terdapat pada pasir dibanding pada agregat kasar.

Dalam PBI 1971 Pasal 3.3 ayat 3 disebutkan bahwa: "Agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering) yang dapat diartikan bahwa lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui



ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat harus diurai/dicuci”.

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran agregat. Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase berat butir yang tertahan atau lolos saringan standar. Gradasi agregat untuk campuran beton akan mempengaruhi (Tesis, A.Kadir aboe,1993):

1. Jumlah semen yang dibutuhkan
2. Jumlah air yang diperlukan
3. Pengecoran, pematangan beton (workabilitas dan segregasi)
4. Penyelesaian akhir beton.
5. Sifat-sifat beton setelah mengeras

Batas-batas gradasi agregat halus (pasir) untuk campuran beton telah ditetapkan oleh *British Standard* untuk agregat dengan ukuran diameter maksimum 40 mm, 30 mm, 20 mm, dan 10 mm. Karena agregat maksimum yang digunakan untuk campuran beton pasir adalah 4,80 mm, maka digunakan batasan gradasi agregat halus. Batasan gradasi agregat halus (pasir) dikelompokkan dalam empat zone (daerah) seperti pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1** Batas Gradasi Pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	1	2	3	4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono, 1996)

Keterangan : Daerah I = pasir kasar  
 Daerah II = pasir agak kasar  
 Daerah III = pasir agak halus  
 Daerah IV = pasir halus

Kekuatan beton yang telah dipadatkan dengan perbandingan air semen tertentu tidak tergantung dari gradasi agregat, tetapi penting pengaruhnya terhadap *workability*. Namun demikian, karena pertumbuhan kekuatan beton dengan perbandingan air semen tertentu dipengaruhi oleh kepadatannya, kepadatan yang baik hanya dapat dicapai dengan campuran yang *workable*. Salah satu faktor utama yang menentukan pada gradasi agregat yang diinginkan adalah luas permukaan agregat, yang menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk membasahi keseluruhan luas permukaan agregat. Jadi dapat disimpulkan bahwa dengan memperluas gradasi agregat ke arah ukuran maksimum yang lebih besar akan menurunkan kebutuhan air. Sehingga untuk *workability* yang ditentukan,

perbandingan air semen dapat di turunkan, dengan demikian kekuatan beton akan naik.

#### 3.2.1.4 Serat

Pada penelitian ini, penambahan bahan yang diberikan atau ditambahkan pada campuran adukan beton pasir yaitu berupa serat kawat bendrat. Serat kawat bendrat yang diberikan atau ditambahkan pada campuran adukan beton pasir tersebut disebarkan secara merata dengan perbandingan tertentu. Maksud dari penggunaan serat adalah untuk meningkatkan kualitas beton akibat sifat-sifat kurang baik dari beton. Tujuan dasarnya adalah untuk menulangi beton, agar dapat mencegah terjadinya retakan-retakan mikro dalam beton. Jenis serat yang dipakai adalah serat kawat bendrat. Kawat bendrat termasuk kelompok *steel fiber* yang biasa digunakan sebagai pengikat rangkaian baja tulangan, mempunyai diameter  $\pm 1$  mm dan terbuat dari campuran besi baja tanpa pelapis aluminium atau seng.

#### 3.3 Modulus Kehalusan Butir

Modulus kehalusan butir adalah jumlah persentase kumulatif dari butir-butir agregat yang tertahan pada saringan 0,15 – 4,80 mm, hingga ukuran saringan terbesar yang ada, dibagi seratus. Makin tinggi nilai modulus kehalusan butir, menunjukkan makin kasar /makin besar butir-butir agregatnya. Nilai modulus kehalusan butir pasir sekitar 1,5 – 3,8 sedangkan kerikil /batu pecah sekitar 5-8

### 3.4 Faktor Air Semen

Faktor air semen (*fas*) merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen. Abrams telah menyimpulkan bahwa pada bahan-bahan beton dan keadaan pengujian tertentu, jumlah air campuran gradasi dari agregat yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan

Dapat disimpulkan bahwa hampir untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air-semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik (Murdock dan Brook, 1986).

Semakin tinggi nilai *fas*, maka semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai *fas* yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi, dalam hal ini ada batas-batas tertentu. Nilai *fas* yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun (Tri Mulyono, 2004).

Menurut metoda *Dreux*, dalam perencanaan adukan beton untuk memberikan tingkat workabilitas beton didasarkan pada perbandingan antara berat semen dengan berat air. Setelah didapat jumlah semen dan jumlah air yang dibutuhkan, maka dapat ditentukan nilai faktor air semen yang dipakai dalam perencanaan campuran beton.

### 3.5 Slump

*Slump* merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecekan suatu adukan beton., yaitu kecairan/kepadatan adukan yang berguna dalam pengerjaan beton, hal ini berkaitan dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin tinggi nilai slump berarti semakin cair adukan beton tersebut, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan.

Nilai *slump* lebih ditentukan oleh jumlah air dalam adukan, sehingga variasi hanya terjadi pada jumlah semen dan agregat saja, bila nilai slump sama akan tetapi nilai fasnya berubah maka beton akan mempunyai kekuatan lebih tinggi (Kardiono Tjokrodimulyo, 1992).

**Tabel 3.4 Nilai *Slump* (cm)**

Pemakaian jenis elemen	Max (cm)	Min (cm)
Dinding pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur bawah pondasi	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono, 1996

### 3.6 *Workability*

Newman (1964) dalam Susetiarto dan Priyatna (2003) mendefinisikan *workability* sekurang-kurangnya menjadi 3 sifat yang terpisah, yaitu:

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir ke dalam cetakan di sekitar baja dan dituang kembali.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen dan stabil selama dikerjakan tanpa terjadi pemisahan butiran atau bahan-bahan utamanya.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serat pada adukan beton akan menurunkan kelecakan (*workability*) adukan secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi dan aspek rasio serat.

Kemudahan pengerjaan (*workability*) dapat dilihat dari nilai slump yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain (Tri Mulyono, 2004):

1. Jumlah air pencampur  
Semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.
2. Kandungan semen,  
Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannyapun akan lebih tinggi,
3. Gradasi campuran pasir-kerikil

Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.

4. Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan,

5. Butir maksimum

6. Cara pemadatan dan alat pemadat.

Untuk mengetahui tingkat *workability* suatu adukan dapat diperiksa dengan pengujian *slump*. Pengujian *slump* dilaksanakan dengan menggunakan kerucut Abrams, berupa kerucut terpancung dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm. Cara kerjanya adalah adukan beton dimasukkan kedalam kerucut sebanyak tiga lapis dengan perbandingan setiap sepertiga dari tinggi kerucut. Setiap lapis dilakukan pemadatan dengan cara ditusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat baja diameter 16 mm dan panjang 60 cm. nilai *slump* diperoleh dari mengukur tinggi penurunan puncak kerucut dari tinggi semula kerucut tersebut, setelah cetakan kerucut ditarik keatas.

Jackson dan Dhir (1983) dalam Lutfhi Zamroni dan Yefta (2004) mengemukakan bahwa tingkat *Workability* berdasarkan nilai *slump* terdiri atas *Medium Workability*, *Low Workability*, dan *Very Low Workability*. Tingkat *Workability* dapat dilihat pada Tabel 3.5

**Tabel 3.5** Tingkat *Workability* Berdasarkan Nilai *Slump*

<i>Slump</i> (mm)	<i>Workability</i>
25-100	<i>Medium</i>
10-50	<i>Low</i>
-	<i>Very Low</i>

Sumber : Jackson dan Dhir (1983)

### 3.7 Segregasi

Segregasi adalah kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan beton tersebut keropos. Segregasi disebabkan oleh beberapa hal (Tri Mulyono, 2004):

1. Campuran kurus atau kurang semen
2. Terlalu banyak air
3. Besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm
4. Permukaan butir agregat kasar, semakin kasar permukaan butir agregat, maka semakin mudah terjadi segregasi.

### 3.8 *Bleeding*

*Bleeding* adalah kecenderungan air untuk naik kepermukaan pada beton yang baru dipadatkan. Air yang naik pada permukaan akan membawa semen dan butir-butir halus, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*). *Bleeding* dipengaruhi oleh (Tri Mulyono, 2004):

1. Susunan butir agregat

Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bleeding* kecil.



## 2. Banyaknya air

Semakin banyaknya air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.

## 3. Kecepatan hidrasi

Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.

## 4. Proses pemadatan

Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*

### 3.9 Modulus Elastisitas

Menurut Murdock dan Brook (1991), tolok ukur yang umum dari sifat suatu bahan adalah modulus elastis, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan tersebut. Beton merupakan bahan yang bukan benar-benar elastis. Kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga modulus elastis yang lebih tinggi pula. Modulus elastisitas dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{f}{\epsilon} \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana :  $E$  : modulus elastisitas

$f$  : tegangan

$\varepsilon$  : regangan atau perubahan bentuk per satuan panjang

SK SNI 03-2847-2002 menetapkan untuk nilai berat satuan beton ( $w_c$ ) diantara  $1500 \text{ kg/m}^3$  dan  $2500 \text{ kg/m}^3$ , nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) dapat diambil sebesar:

$$E_c = (w_c)^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (\text{dalam MPa}) \dots \dots \dots (3.9)$$

Untuk beton normal ( $w_c \pm 23 \text{ kN/m}^3$ ), dapat digunakan nilai  $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$

#### 4.0 Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan beton adalah besarnya beban per-satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton umur 28 hari hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain dari perbandingan air-semen dan tingkat pematatannya (Murdock dan Brook, 1986), diantara faktor penting lainnya sebagai berikut :

1. *Jenis semen dan kualitasnya*, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. *Jenis dan lekuk-lekuk bidang permukaan agregat*. bahwa agregat akan menghasilkan beton, dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar daripada penggunaan krikil halus dari sungai.

3. *Efisiensi dari perawatan (curing)*. kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.
4. *Suhu*, pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. *Umur*, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya, selain itu kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen.

Benda uji berupa silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, benda uji ini kemudian ditekan dengan mesin penekan sampai pecah. Beban tekan maksimum yang memecahkan itu dibagi dengan luas penampang silinder maka diperoleh nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan dinyatakan dalam MPa atau kg/cm<sup>2</sup> dihitung dengan rumus sebagai berikut (Kardiyono, 1992)

$$\text{Kuat desak beton} \quad f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.10)$$

dengan :  $f_c$  = kuat tekan benda uji (MPa)

$P$  = beban maksimum (N)

$A$  = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Nilai uji yang diperoleh dari setiap benda uji akan berbeda, karena beton merupakan material yang heterogen, yang kekuatannya dipengaruhi oleh proporsi campuran, bentuk dan ukuran, kecepatan pembebanan, dan oleh kondisi lingkungan pada saat pengujian. Dari kuat tekan masing-masing benda uji

kemudian dihitung kuat tekan beton rata-rata ( $f_{cr}'$ ) pada umur 28 hari, dengan kuat desak yang disyaratkan ( $f_c'$ ) adalah 25 MPa

$$f_{cr}' = \frac{\sum_{i=1}^{N=1} fc(i)}{N} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan :  $f_{cr}'$  = kuat tekan beton rata-rata

$fc$  = kuat tekan masing-masing benda uji (MPa)

N = jumlah semua benda uji yang diperiksa

#### 4.1 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton berkisar seperdelapan belas kuat tekan pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar seper dua puluh sesudahnya (Murdock dan Brook, 1986)

Kelebihan beton yang paling utama adalah kemampuannya mendukung tegangan tekan yang cukup tinggi. Meskipun demikian, beton merupakan bahan yang memiliki sifat getas (*brittle*) dan praktis tidak mampu menahan tegangan tarik. Kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994).

Menurut SNI 03-2491-2002, nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan, yang dikenal sebagai uji belah silinder.

Kuat tarik didapatkan dari hasil pengujian pembelahan silinder oleh suatu desakan kearah diameternya sesuai SNI 03-2491-2002. Secara terperinci cara ini diuraikan pada SNI 03-2491-2002 kekuatan tarik dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_1 = \frac{2P}{\pi d} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana,  $f_1$  = Kuat tarik (MPa)

$P$  = beban maksimal yang diberikan dalam (N)

$l$  = panjang dari silinder dalam (mm)

$d$  = diameter dalam (mm).

#### 4.2 Kuat Lentur Beton

Menurut SNI 03-4431-1997, kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan

Lentur murni adalah suatu lenturan yang berhubungan dengan sebuah balok dibawah suatu momen lentur ("*bending moment*") konstan, yang berarti bahwa suatu momen dimana gaya lintang pada titik tersebut sama dengan nol. Definisi dari lentur dapat di ilustrasikan sebagai berikut :

1. Sebuah balok sederhana yang dibebani secara sistematis oleh dua buah gaya

$$\frac{F}{2} \text{ (Gambar 3.1 a)}$$

2. Gaya lintang ( $V$ ) yang bersangkutan (Gambar 3.1 b)

3. Diagram momen lentur (Gambar 3.1 c)

Kuat tarik didapatkan dari hasil pengujian pembelahan silinder oleh suatu desakan kearah diameternya sesuai SNI 03-2491-2002. Secara terperinci cara ini diuraikan pada SNI 03-2491-2002 kekuatan tarik dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_1 = \frac{2P}{\pi d} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana,  $f_1$  = Kuat tarik (MPa)

$P$  = beban maksimal yang diberikan dalam (N)

$l$  = panjang dari silinder dalam (mm)

$d$  = diameter dalam (mm).

#### 4.2 Kuat Lentur Beton

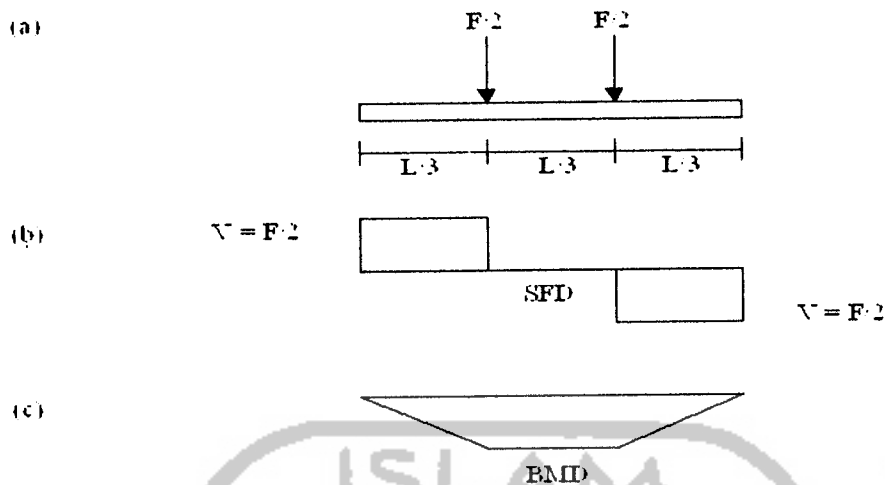
Menurut SNI 03-4431-1997, kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan

Lentur murni adalah suatu lenturan yang berhubungan dengan sebuah balok dibawah suatu momen lentur ("*bending moment*") konstan, yang berarti bahwa suatu momen dimana gaya lintang pada titik tersebut sama dengan nol. Definisi dari lentur dapat di ilustrasikan sebagai berikut :

1. Sebuah balok sederhana yang dibebani secara sistematis oleh dua buah gaya

$$\frac{F}{2} \text{ (Gambar 3.1 a)}$$

2. Gaya lintang ( $V$ ) yang bersangkutan (Gambar 3.1 b)
3. Diagram momen lentur (Gambar 3.1 c)



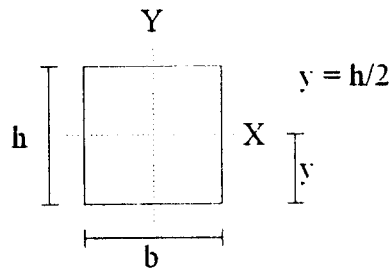
**Gambar 3.1** Balok dengan pusat berada dalam keadaan lentur murni  
 a. balok dengan dua buah gaya simetris , b. diagram gaya lintang,  
 c. diagram momen

Daerah diantara beban tidak memiliki gaya lintang dan hanya dikenakan suatu momen lentur konstan yang besarnya :

$$M = \frac{F L}{2 \cdot 3} \dots\dots\dots (3.13)$$

Daerah pusat dari balok berada dalam keadaan lentur murni. Daerah-daerah yang panjangnya  $L/3$  didekat ujung-ujung balok berada dalam keadaan lentur tidak merata dikarenakan momen ( $M$ ) tidaklah konstan dan terdapat gaya-gaya lintang.

Tegangan lentur dalam balok berhubungan dengan momen lentur ( $M$ ) dan momen inersia ( $I$ ) dari tampang balok.



**Gambar 3.2** Bentuk penampang balok

Dan nilai tegangan lentur dapat dinyatakan dalam rumus :

$$\sigma_{lt} = M \cdot y / I \dots \dots \dots (3.14)$$

dimana :  $I = (1/12) b \cdot h^3 \dots \dots \dots (3.15)$

dengan substitusi persamaan dan kedalam persamaan didapat :

$$\sigma_{lt} = \frac{M \cdot (h/2)}{(1/12) \cdot b \cdot h^3} \dots \dots \dots (3.16)$$

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{1/6 \cdot b \cdot h^2} \dots \dots \dots (3.17)$$

dengan :  $\sigma_{lt}$  = Kuat lentur (Kg/cm<sup>2</sup>)

F = beban (gaya) (Kg)

L = jarak antara tumpuan (Cm)

b = lebar tampang balok (Cm)

h = tinggi tampang balok (Cm)