

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan bahan campuran yang terdiri dari agregat kasar dan halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai bahan pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan halus, dan kadang-kadang ditambah dengan bahan tambahan bila diperlukan (Neville, 1975). Beton mempunyai kuat desak yang besar, tetapi kuat tariknya rendah, sehingga beton mudah retak (Park dan Paulay, 1975). Salah satu usaha untuk memecahkan masalah tersebut adalah dengan menambahkan serat ke dalam adukan beton (Susilorini dan Suwarno, 2001).

Beton serat (*fiber concrete*) adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa : serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja (Tjokrodimuljo 1996).

Penelitian dalam beberapa tahun terakhir ini, beton serat makin banyak diminati, dan saat ada banyak penelitian tentang beton yang sedang dilakukan. Bahan serat yang digunakan dari baja, plastik, kaca, dan lain-lain. Berbagai eksperimen telah menunjukkan bahwa penambahan serat seperti ini dalam jumlah yang memadai yakni sekitar 1-5% ke dalam beton konvensional (Balaguru dan Shah, 1992), sehingga dapat meningkatkan kuat tarik beton secara signifikan (Sudarmoko, 1993).

Beton ringan merupakan beton dengan berat kurang dari  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Pembuatan beton ringan biasanya dibuat dengan cara pemberian gelembung udara kedalam campuran betonnya, dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung dan sebagainya (Tjokrodimuljo, 1996).

Beton *foam* adalah campuran antara semen, air, agregat dengan bahan tambah (*admixture*) tertentu yaitu dengan membuat gelembung-gelembung atau udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya (Husin, dan Setiaji, Pusat Litbang Permukiman Bandung 2008).

Beton ringan *foam* menggunakan serat kawat bendrat dan meniadakan agregat kasarnya, setelah diberi serat kawat bendrat kekuatan beton meningkat secara signifikan menjadi berturut-turut : kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas sebesar : 23,58 MPa, 3,4 MPa, dan 18383 MPa atau jika dilihat prosentasenya meningkat 55,26%, 61,90%, dan 22,63% dari beton ringan *foam* tanpa serat (Surya, 2013).

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Material Dasar Pembentuk Beton

Material dasar pembentuk beton terdiri atas semen, agregat, air, dan bahan tambah bila diperlukan (SKSNI T 15-1990-03). Perbandingan tersebut mengacu pada standar *American concrete Institute* (ACI), atau *Road Note No.4* yang diperbarui dengan *The British Mix Design Method* atau yang lebih dikenal dengan *Department Of Environment* (DOE), atau campuran coba-coba (Tjokrodimuljo, 1996). Kajian mengenai material dasar pembentuk beton akan disajikan sebagai berikut:

### 2.2.1.1. Semen Portland

Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga mengisi rongga-rongga diantara butiran-butiran agregat. Salah satu jenis semen yang biasa dipakai dalam pembuatan beton ialah semen portland. Bahan dasar pembentuk semen portland terdiri dari kapur, silika, alumina dan oksida besi. Oksida tersebut bereaksi membentuk suatu produk akibat peleburan. Unsur-unsur pembentuk semen dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Susunan Unsur Semen Portland

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	17 - 25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3 - 8
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5 - 6
Magnesium (MgO)	0,5 - 4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1 - 2
Soda/potash (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)	0,5 - 1

Sumber : Kardiyono Tjokrodinuljo (1996)

Pada umumnya semen portland diklasifikasikan menjadi 5 jenis, seperti yang tercantum pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Jenis-jenis Semen Portland

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis I	Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
Jenis II	Semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
Jenis III	Semen Portland yang penggunaannya memerlukan persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan.
Jenis IV	Semen Portland yang penggunaannya menuntut panas hidrasi rendah.

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis V	Semen Portland yang penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Sumber : Kardiyono Tjokrodinuljo (1996 : 11)

Dalam pedoman beton 1989 disyaratkan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat SNI 0013-18 “Mutu dan Cara Uji Semen”. Dalam penelitian ini digunakan semen jenis II yang digunakan untuk tujuan umum.

#### 2.2.1.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 70% sampai 80 % volume agregat terhadap volume keseluruhan beton, karena itu agregat mempunyai peranan yang penting dalam propertis suatu beton (Mindess et al., 2003) Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat, dan variasi dalam perilaku (Nawy, 1998).

Sifat yang paling penting dari suatu agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas, dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan pada musim dingin, dan ketahanan terhadap penyusutan. Berdasarkan ukuran butiran, agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125 – 06). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir

yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (SK SNI T-15-1991-03).

Pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pekerjaan (*Workability*), kekuatan (*Strength*), dan tingkat keawetan (*Durability*) dari beton yang dihasilkan. Persyaratan gradasi agregat halus dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Persyaratan Gradasi Agregat Halus ASTM C 33-74a

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos (%)
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	55 – 85
0,60	25 – 60
0,3	10 – 30
0,15	2 – 10

Sumber : Murdock & Brook (1979)

### 2.2.1.3. Air

Dalam pelaksanaan suatu proyek, air adalah bahan yang sangat penting dan vital yang berfungsi antara lain:

- Pembuatan adukan beton.
- Pembuatan adukan untuk spesi.
- Perawatan beton dan kegiatan penunjang lainnya.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, hanya sekitar 25%-30% dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai lebih dari 30%. Kelebihan air itu digunakan untuk pelumasan agar adukan beton mudah

dikerjakan. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak, dan bebas dari material organik (*Mindess et al., 2003*).

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (*PUBI-1982*), antara lain:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- c. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/ liter.
- d. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO<sub>3</sub>.
- e. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi.

### 2.2.2. Perawatan Beton (*Curing*)

Proses pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada ketersediaan air untuk reaksi kimia antara air dan semen. Air yang tersedia cukup untuk hidrasi selama proses pencampuran namun perlu adanya jaminan bahwa masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk memungkinkan kelanjutan reaksi kimia itu. Kehilangan air akibat proses penguapan akan menyebabkan proses hidrasi berhenti dan kekuatan beton yang dihasilkan juga menurun. Penguapan juga menyebabkan penyusutan kering yang terlalu dini dan cepat sehingga timbul tegangan tarik yang menyebabkan retak, kecuali bila beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan kekuatan.

Perlu dilakukan perawatan untuk mempertahankan kelembaban beton, sejak adukan dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras, dalam hal ini agar beton berada dalam suhu yang dikehendaki pada waktu yang ditentukan dan diperhatikan agar



terhindar dari perbedaan suhu yang besar baik dalam betonnya sendiri maupun dalam hubungannya dengan keadaan sekelilingnya. Perawatan yang baik akan memperbaiki kualitas beton. Disamping lebih kuat dan lebih awet terhadap agresi kimia, beton yang dirawat dengan baik akan lebih tahan terhadap aus dan lebih kedap air.

### 2.2.3. *Slump Flow Test*

Pengukuran *slump flow* beton pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan meja getar (*flow table*) sesuai dengan standar ASTM C124-39. *Slump flow* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton. Peralatan dalam uji *slump flow* adalah kerucut versi miniatur dan plat beserta dengan dudukannya, sebagaimana yang di tampilkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Alat Uji *Slump Flow*

Plat landasan berukuran 25 cm, sedang untuk kerucutnya memiliki diameter atas 7 cm, diameter bawah 10 cm dan tinggi kerucut 6 cm. Pengujian dilakukan dengan memutar tuas pada alat uji *slump flow* sebanyak 15 kali sentakan selama 15 detik, kemudian rata-rata diameter diukur dalam dua arah tegak lurus dari sampel. Tes ini bernama uji aliran, berdasarkan ASTM *Standard* C124-39. Kemudian dihitung nilai konsistensinya atau alirannya.

Nilai konsistensi atau aliran didefinisikan sebagai peningkatan diameter penyebaran mortar segar (da, dalam satuan cm) dikurangi diameter sebelumnya (10 cm). Konsistensi atau aliran ditentukan dengan menggunakan rumus pada Persamaan 2.1.

$$\text{Consistency} = [(d_s - 10)/10] \times 100 \dots\dots\dots(2.1)$$

Murdock (1986) membuat suatu hubungan antara tingkat *workability* dengan nilai *slump*, sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Hubungan Tingkat *Workability* dengan Nilai *Slump*

Tingkat <i>Workabilitas</i>	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Faktor Kepadatan
Sangat rendah	0 – 25	0.8 – 0.87
Rendah sampai sedang	25 – 50	0.87 – 0.93
Sedang sampai tinggi	50 – 100	0.93 – 0.95
Tinggi	100 – 175	> 0.95

#### 2.2.4. Beton Ringan (*Lightweight Concrete*)

Beton ringan menurut Tjokrodinuljo (1996) adalah beton yang mempunyai berat jenis kurang dari 1800 Kg/m<sup>3</sup>, sedangkan pada beton biasa 2400 Kg/m<sup>3</sup>. Menurut Neville (1975), beton diklasifikasikan sebagai beton ringan jika berat jenisnya kurang dari 2000 Kg/m<sup>3</sup>. Mac Gregor (1999), mendefinisikan beton ringan sebagai beton mempunyai berat jenis (densitas beton) antara 1400 Kg/m<sup>3</sup> sampai 1900 Kg/m<sup>3</sup>, yang menggunakan agregat ringan seperti *pumice*, agregat buatan yang berasal dari lempung yang mengembang akibat proses pemanasan, dan slag dari tungku pembakaran.



Berdasarkan pernyataan-pernyataan diatas maka peneltian ini menggunakan batasan beton ringan dengan berat jenis dibawah  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Beton ringan digunakan terutama untuk mengurangi berat struktur dan mengurangi sifat penghantaran panasnya.

Beton yang mempunyai berat jenis rendah sering disebut dengan beton ringan. Beton ringan pada dasarnya memiliki campuran sama dengan beton normal pada umumnya namun agregat kasar yang menempati 60% dari seluruh komponen, direduksi berat jenisnya. Menurut Gambhir (1986) beton ringan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Ringan, berat jenis beton biasa sekitar  $2400 \text{ kg/m}^3$ , adapun berat jenis beton ringan dari  $800\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$ . Beton yang sangat ringan biasanya baik dipakai untuk bahan isolasi adapun yang tidak begitu ringan dapat digunakan untuk struktur ringan.
- b. Tidak menghantarkan panas, beton ringan mempunyai nilai isolasi sebesar 3-6 kali bata dan sekitar 10 kali beton biasa. Dinding tembok tebal 200 mm yang terbuat dari beton ringan dengan berat jenis  $1800 \text{ kg/m}^3$  mempunyai tingkat isolasi sama dengan dinding bata tebal 400 mm yang berat jenisnya  $1600 \text{ kg/m}^3$ .
- c. Tahan api, beton ringan mempunyai sifat yang baik sekali dalam menahan kebakaran, sifatnya yang tidak baik dalam menghantarkan panas membuat beton ringan itu amat baik untuk melindungi bagian struktur dari pengaruh api.
- d. Mudah dikerjakan, beton ringan dapat dengan mudah digergaji, dipotong atau dipaku, oleh karena itu beton ringan mudah dibuat, perbaikan setempat juga mudah dilakukan tanpa merusak bagian lain yang tidak diperbaiki.
- e. Keawetan, karena beton ringan biasanya bersifat tidak kedap air maka beton ini tidak dapat mencegah terjadinya karat pada baja tulangannya.
- f. Kecepatan pembuatan beton ringan ini dapat mudah dibuat, diperbaiki, maka sangat mungkin merancang struktur dengan lebih cepat pembuatannya.
- g. Harga murah karena beratnya ringan dan nilai banding antara kuat tekan dan berat jenisnya kecil, pemakaian beton jenis ini akan membuat pemakaian baja tulangan yang sedikit.

Penelitian-penelitian tentang beton ringan yang pernah dilakukan diantaranya :

- a. Beton batako. Kuat desak sekitar 7-14 MPa untuk silinder berumur 28 hari mempunyai berat jenis 500-800 Kg/m<sup>3</sup>
- b. Beton untuk isolasi suhu. Syarat kuat desak silinder berumur 28 hari 0,7-7 MPa dengan berat jenis di bawah 800 Kg/m<sup>3</sup>
- b. Vincent (2003) menguji campuran beton *lightweight high strength* dengan kekuatan maksimum mencapai 55 MPa
- c. Mediyanto dkk (2004) menguji beton ringan silinder dan balok bertulang dengan kuat tekan mencapai 1,8 t/m<sup>3</sup>, beton ringan yang diberi serat aluminium adalah berturut-turut; kuat tarik belah, MOR kapasitas momen, daktilitas, dan beban retak pertama karena penambahan serat aluminium berturut-turut sebesar: 16,2%; 22,7%; 21,00%; 72,40% dan 55,60%
- d. Ravindrarajah dan Tam (1984) menambahkan serat kedalam campuran beton ringan. Dihasilkan adanya peningkatan kekuatan tekan dan sekaligus kuat lentur dari beton ringan
- e. Mukafi (2004) menambah serat aluminium ke dalam campuran beton ringan. Dihasilkan adanya peningkatan *poisson ratio* dan modulus geser pada penambahan serat 0,7%
- f. Surya (2013) menguji beton ringan *foam* silinder pada kondisi normal dengan kuat tekan mencapai 15,19 MPa, diberi serat kawat bendrat adalah berturut-turut; kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas karena penambahan serat kawat bendrat pada kadar 1% berturut-turut sebesar : 55,26%, 61,90%, dan 22,63%.

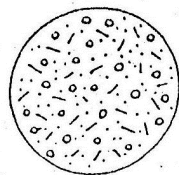
Pembuatan beton ringan menurut Tjokrodimulyo(1996) dapat dilakukan dengan cara :

- a. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Bubuk aluminium ditambahkan ke dalam semen dan akan timbul gelembung-gelembung udara.

- b. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung. Dengan demikian beton yang terjadipun akan lebih ringan daripada beton biasa.
- c. Pembuatan beton dengan tanpa butir-butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut “beton non-pasir” dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimum agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm). Beton demikian mempunyai pori-pori yang hampir seragam. Sebagai bahan batuan kasar yang dipakai antara lain : kerikil alami (batu apung), “terak tungku tinggi”, tanah liat bakar.

#### 2.2.5. Beton Serat (*Fiber Concrete*)

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan sejumlah serat yang disebar secara random seperti terlihat pada Gambar 2.2. Prinsip penambahan serat adalah memberi tulangan pada beton yang disebar merata ke dalam adukan beton dengan orientasi random untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan (Soroushian dan Bayasi, 1987). Penambahan serat pada beton ringan diharapkan penambahan tulangan untuk memikul beban yang sama pada suatu konstruksi yang dipikul oleh beton normal dapat tergantikan (oleh serat tersebut). Penyebaran serat dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Serat tersebar merata dalam beton

Zollo (1997) menyatakan bahwa penggunaan serat pada beton bertulang dapat meningkatkan penyerapan energi, daktilitas, mengendalikan retak, dan meningkatkan sifat deformasi.

Ada beberapa jenis serat yang sudah dikenal saat ini, antara lain:

- a. *Naturally occuring fibers* atau serat alami yang berasal dari alam, seperti serat tebu, serat kelapa, dan serat kayu.
- b. *Steel fibers* atau serat baja, seperti kawat bendrat, seng, galvalum.
- c. *Fiberglass* atau serat kaca
- d. *Polimeric fiber* atau serat polimer, yakni serat yang berasal dari serat sintetis. Serat polimer terdiri dari *polypropylene*, *polyethylene*, *polyester*, *nylon*, *carbon*, dan *acrylic*.

Penambahan serat pada adukan dapat menimbulkan masalah pada penyebaran serat (*fiber dispersion*) dan kelecakan (*workability*) adukan. Masalah yang timbul pada penambahan serat disebut "*balling efect*" yaitu sesama serat yang membentuk satu kumpulan, kumpulan tersebut seperti bola yang mengganggu ikatan matrik. *Fiber dispersion* dapat diatasi dengan memberikan bahan tambahan berupa *superplastizer* ataupun dengan meminimalkan diameter agregat maksimum, sedangkan pada *workability* adukan beton dapat dilakukan dengan modifikasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kelecakan adukan beton yaitu nilai f.a.s, jumlah kehalusan butiran semen, gradasi campuran pasir dan kerikil, tipe butiran agregat, diameter agregat maksimum serta bahan tambah.

#### **2.2.6. Foam Agent/Cairan Busa**

*Foam agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen, dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya.

Penelitian ini menggunakan *foam agent* yaitu (*Foaming Agent*) *Spectafoam*, *polymer*, dan HDM. Cara membuat gelembung gelembung gas/udara dalam skala besar adalah dengan memasukkan *spectafoam* yang dicampur air kedalam tabung foam generator, kemudian memberikan tekanan angin dengan *air compressor* kedalam tabung maka akan terbentuk busa-busa foam (*Prefomed Foam*). Timbul reaksi kimia yang melepas sejumlah gas, dan setelah adukan beton ini mengeras maka terbentuk struktur berpori serta beton menjadi lebih ringan (Scheffler dan Colombo, 2005).

### 2.2.7. Pengertian Serat

Serat merupakan bahan tambah yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat beton (Tjrodimuljo 1992). Serat memiliki peranan yang penting dalam komposit karena menentukan kinerja komposit secara keseluruhan (Balaguru dan Shah, 1992). Kinerja antar muka (*Interface*) antara serat dan matrik sangat ditentukan oleh kinerja serat, karena istilah lain untuk mempresentasikan antar muka adalah zona transisi antar muka, ZTA (*Interfacial Transition Zona*) (Bentur, et. al, 1996).

Perkembangan serat dimulai pada tahun 1960-an, dengan diterapkannya aplikasi serat anorganik sebagai tambahan pada beton, yaitu serat baja lurus (Balaguru dan Shah, 1992). Sejak tahun 1970-an, serat polimer sintesis mulai digunakan secara komersial dengan tujuan antara lain sebagai kontrol retak awal. Inovasi ini diikuti aplikasi serat kaca yang tahan terhadap alkali, pada tahun 1980-an sampai dengan tahun 1990-an serat karbon mulai digunakan karena memiliki kuat tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan serat polimer sintesis (Balaguru dan Shah, 1992).

### 2.2.8. Serat Polimer Sintesis

Serat polimer sintesis (*synthetic polymeric fiber*) atau biasa disebut serat sintesis adalah serat yang dibuat oleh manusia dari hasil riset dan pengembangan dalam



industri petrokimia dan tekstil (Balaguru dan Shah, 1992). Terdapat dua bentuk serat fisik, yaitu : serat filamen tunggal dan serat yang dihasilkan dari pita filamen. Saat ini terdapat dua volume serat sintetis yang berbeda yang digunakan dalam aplikasi yaitu: prosentase volume rendah (0,1% sampai 0,3%) dan prosentase volume tinggi (0,4% sampai 0,8%) (Cement and Concrete Institute, 2001). Sebagian besar aplikasi serat sintetis memiliki volume 0,1%. Pada tingkat ini, kekuatan beton dan karakteristiknya tidak berpengaruh karena retakan bisa dikendalikan (Cement and Concrete Institute, 2001). Serat sintetis telah banyak digunakan sebagai perkuatan dalam struktur beton. Serat yang termasuk dalam golongan serat sintetis antara lain: *Polypropylene*, *polyethylene*, *polyester*, *nylon*, *aramid*, *acrylic* dan *carbon* (Balaguru dan Shah, 1992).

#### 2.2.9. Serat *Polyethylene*

Serat *polyethylene* dalam kehidupan sehari-hari dikenal sebagai kantong plastik. Pada umumnya *polyethylene* adalah material yang berwarna putih dan mengkilap, mempunyai density sebesar 0,96. Jika densitynya meningkat maka kekakuan, kekerasan, dan kekuatan, distorsi panas dan kemampuan untuk mentransmisikan gas juga meningkat. Jika densitynya diturunkan maka kekuatan impact dan stress cracked resistance akan meningkat. Stress cracked resistance adalah perubahan permukaan yang dialami *polyethylene* dan beberapa jenis plastik lainnya pada saat diselubungi minyak dan hidrokarbon lainnya. Serat *polyethylene* mempunyai titik leleh yang bervariasi antara 105°C sampai 115°C pada serat *polyethylene* berdensitas rendah sedangkan yang berdensitas menengah hingga tinggi mencapai 120°C sampai 135°C. Sifat-sifat dari material *polyethylene* adalah:

- a. Sangat kuat pada temperatur rendah,
- b. Ketahanan kimia yang sangat baik,
- c. Permeabilitas terhadap gas dan udara,
- d. Fleksibilitas yang baik pada suhu rendah,
- e. Ketahanan elektrik yang baik.



### 2.2.10. Konsep Beton Serat

Pemakaian beton serat ada dua istilah yang sering digunakan untuk memudahkan perencanaan dan pengenalan kuantitas dan kualitas yang dihasilkan oleh penambahan serat, yaitu:

a. *Fiber Volume* ( $V_f$ )

*Fiber Volume* adalah prosentase volume serat (*fiber*) yang ditambahkan pada setiap volume beton. Dalam kenyataan, prosentase yang digunakan adalah berat seratnya yang dapat diketahui dari berat jenis serat. Umumnya semakin besar *fiber volume* ( $V_f$ ) akan meninggikan kualitas beton. Selain itu  $V_f$  juga mempengaruhi workabilitas adukan beton serat.

b. *Fiber Aspect Ratio* ( $l/d$ )

*Fiber Aspect Ratio* merupakan rasio antara panjang serat ( $l$ ) dan diameter serat ( $d$ ). Rasio perbandingan panjang dan diameter juga mempengaruhi kekuatan beton serat dan workabilitasnya.

### 2.2.11. Mekanisme Kerja Serat

Teori yang dipakai sebagai pendekatan untuk menjelaskan mekanisme kerja serat yaitu:

a. *Spacing Concept*

*Spacing concept* dalam teori ini diartikan dengan mendekatkan jarak antar serat dalam campuran beton sehingga beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar.

b. *Composite Material Concept*

*Composite material concept* atau konsep material komposit merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer yang memperkirakan kuat tarik maupun kuat lentur dari beton serat. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama/*first crack strength*. Dalam

konsep ini diasumsikan bahwa bahan penyusun saling melekat sempurna, bentuk serat menerus, dan angka poisson dari material dianggap nol.

Serat yang digunakan dalam beton serat adalah ukuran pendek/*short fiber* dan bukan *continous fiber*, maka perlu dikoreksi berdasarkan pertimbangan-pertimbangan berikut:

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

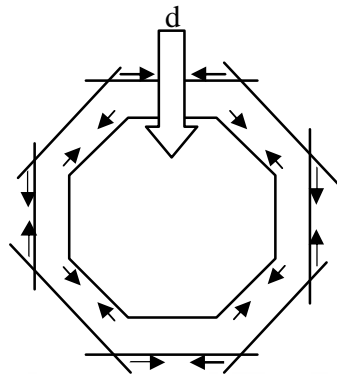
Mekanisme kerja serat dalam adukan beton secara bersama-sama dapat dilihat pada Gambar 2.3-2.5:

- Serat bersama pasta beton akan membentuk matriks komposit, dimana serat akan menahan beban yang ada sesuai dengan modulus elastisitasnya.



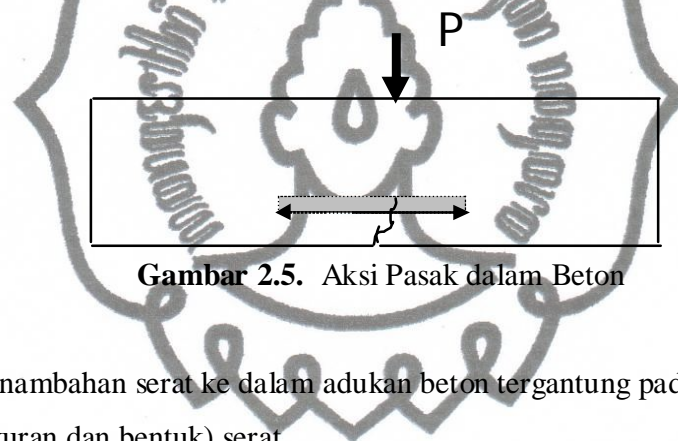
**Gambar 2.3.** Serat dalam Beton

- Pasta beton akan semakin kokoh/stabil dalam menahan beban karena aksi serat (*fiber bridging*) yang sangat mengikat di sekelilingnya.



**Gambar 2.4.** Aksi Serat Bersama Pasta Semen

- c. Serat akan melakukan *dowel action* (aksi pasak) sehingga pasta yang sudah retak dapat stabil/kuat menahan beban yang ada.



**Gambar 2.5.** Aksi Pasak dalam Beton

Pengaruh penambahan serat ke dalam adukan beton tergantung pada hal-hal berikut:

- Jenis (ukuran dan bentuk) serat
- Aspek rasio serat
- Konsentrasi serat

#### 2.2.12. Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ )

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 2.2.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana,  $f'_c$  = Kuat tekan ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $P$  = beban (N)  
 $A$  = Luas tampang ( $\text{mm}^2$ )

Kuat tekan beton bertulang berkisar antara 17 MPa sampai 35 MPa pada umur 28 hari. Nilai kuat tekan didapatkan melalui pengujian standart berdasarkan ASTM C39-86 dengan benda uji berupa silinder beton. Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kuat tekan antara lain faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen dan sifat agregat.

### 2.2.13. Kuat Tarik Belah Beton ( $f_t$ )

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya (SK SNI-T-15-1991-03). Menurut Dipohusodo (1994), nilai kuat tarik dan kuat tekan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Secara kasar nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antar 9%-15% dari kuat tekannya. Tegangan tarik yang timbul saat benda uji beton terbelah disebut *split cilinder strength*, diperhitungkan dengan Persamaan 2.3.

$$T = \frac{3P}{\pi LD} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana,  $T$  = kuat tarik belah ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $P$  = beban pada waktu beton terbelah (N)  
 $L$  = Panjang benda uji silinder (mm)  
 $D$  = diameter benda uji silinder (mm)

### 2.2.14. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu

tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier pada Persamaan 2.4.

$$E = \sigma / \varepsilon \quad \text{atau} \quad E = \tan \alpha \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,  $\sigma$  = tegangan aksial searah sumbu benda uji  
 $\varepsilon$  = regangan aksial  
 $\alpha$  = sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan  
 $E$  = konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas bahan tersebut.

Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan rekomendasi ASTM C-459, yaitu Modulus Chord. Adapun modulus elastisitas chord ( $E_c$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris dari ASTM C-459 yang diberikan pada Persamaan 2.5.

Modulus elastisitas chord ( $E_c$ )

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana,  $S_2$  = tegangan sebesar  $0,4 f_c$   
 $S_1$  = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,0000531  
 $\varepsilon_2$  = regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

Dengan rumus untuk menghitung regangan ( $\varepsilon$ ) yang terjadi diperhitungkan dengan Persamaan 2.6.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 0.0254 \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana,  $\Delta L$  = penurunan arah longitudinal  
 $L$  = tinggi beton relatif (jarak antara dua strain gauge) (mm).

Tegangan ( $\sigma$ ) yang terjadi diperhitungkan dengan Persamaan 2.7.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana,            P        = beban yang diterima beton (N)  
                          A        = luas penampang beton (mm<sup>2</sup>)

Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*ultimate load*) (Gere & Timoshenko, 1997).

Modulus elastisitas pada beton sangat bervariasi. Ada beberapa hal yang mempengaruhi modulus elastisitas beton menurut Nawy, 1990 :

a. Kelembaban

Beton dengan kandungan air yang lebih tinggi memiliki modulus elastisitas yang juga lebih tinggi dari pada beton dengan spesifikasi yang sama.

b. Agregat

Nilai modulus dan proporsi volume agregat dalam campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton. Semakin tinggi modulus agregat dan semakin besar proporsi agregat dalam beton, semakin tinggi pula modulus elastisitas beton tersebut.

c. Umur Beton

Modulus elastisitas beton meningkat seiring pertambahan umur beton seperti halnya kuat tekannya, namun modulus elastisitas meningkat lebih cepat daripada kekuatannya.

d. *Mix Design* Beton

Jenis beton memberikan nilai E (modulus elastisitas) yang berbeda-beda pada umur dan kekuatan yang sama.