

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 BETON DAN BAHAN PEMBENTUK BETON**

Beton merupakan suatu komposit partikulat dengan semen sebagai bagian pengikat dan agregat di bagian dalam beton sebagai bagian partikel yang diikat.<sup>1</sup>

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen portland, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan air.

Beton adalah campuran antara semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat.<sup>2</sup>

Bahan-bahan pembentuk beton adalah :

- Semen (*Portland Cement*)
- Agregat (agregat kasar dan agregat halus)
- Air

##### **2.1.1 Semen**

Semen merupakan salah satu bahan penyusun utama dari beton. Semen biasanya digunakan untuk mengikat bahan-bahan penyusun lainnya dari beton serta mengeras seiring dengan waktu. Semen yang dimaksud adalah semen hidrolis, yaitu bahan pengikat yang akan mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air.

###### *2.1.1.1 Sejarah Singkat Semen Portland*

Semenjak dahulu, bahan sejenis semen telah digunakan untuk mengikat bahan bangunan serta mengeraskannya dalam mendirikan suatu bangunan. Sebagai contohnya adalah bangsa Assyria dan Babylonia yang menggunakan tanah liat sebagai bahan sejenis semen. Lalu kemudian bangsa Mesir menggunakan kapur dan

---

<sup>1</sup> Somayaji, Shan, *Civil Engineering Materials*, 2001, hal. 79

<sup>2</sup> RSNI (Rancangan Standar Nasional Indonesia), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, 2002, hal. 6

campuran gips sebagai semen yang digunakan untuk membangun bangunan bersejarah sepanjang masa yaitu pyramid dan sphinx. Bangsa Roma atau bangsa Italia menghasilkan suatu kemajuan yang cukup pesat dengan memformulasikan suatu semen dengan ketahanan yang cukup baik. Dapat dilihat dimana bangunan bangsa Roma atau Italia masih banyak yang merupakan bangunan-bangunan tua yang masih kokoh berdiri walaupun umurnya telah lebih dari ratusan bahkan ribuan tahun.

Tahun 1756 seorang insinyur berkebangsaan Inggris melakukan suatu eksperimen dimana menghasilkan kesimpulan bahwa semen yang terbuat dari batu kapur (*limestone*) dengan kandungan tanah liat akan mengalami proses pengerasan apabila dicampurkan dengan air. Semen inilah yang kelak dikenal dengan *Portland Cement* (PC).

#### 2.1.1.2 Oksida Pembentuk Semen Portland

Oksida utama pembentuk semen portland :

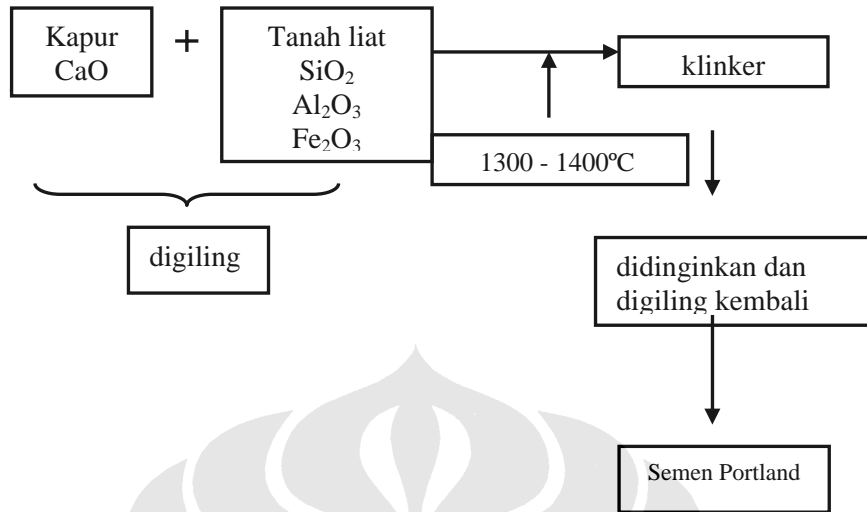
- Kapur ( $\text{CaO}$ ) → dari  $\text{CaCO}_3$
- Silika ( $\text{SiO}_2$ )
- Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) } dari tanah liat
- Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Oksida lain pembentuk semen portland:

- Magnesia ( $\text{MgO}$ )
- Alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ )

### 2.1.1.3 Proses Pembentukan Semen Portland

Proses pembentukan semen dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Bagan proses pembentukan semen portland

### 2.1.1.4 Sifat-sifat Senyawa Semen Portland

Senyawa gabungan yang terbentuk beserta sifat-sifatnya dalam proses pembentukan semen dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Reaksi kimia dan sifat-sifat senyawa kimia akibat bereaksi dengan air

Reaksi kimia	Hasil reaksi kimia	Senyawa yang dihasilkan akibat bereaksi dengan air	Sifat senyawa kimia akibat bereaksi dengan air
$\text{CaO} + \text{SiO}_2$	$3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$ (trikalsium silikat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bersifat perekat</li> <li>▪ Mengeras dengan cepat</li> </ul>
$\text{CaO} + \text{SiO}_2$	$3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$ (dikalsium silikat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bersifat perekat</li> <li>▪ Mengeras dengan lambat</li> </ul>
$\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$	$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$ (trikalsium aluminat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tidak mempunyai sifat perekat</li> <li>▪ Menimbulkan panas hidrasi yang tinggi</li> </ul>
$\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$ (tetrakalsium alumina Fe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tidak mempunyai sifat perekat</li> <li>▪ Berpengaruh terhadap warna semen</li> </ul>

#### 2.1.1.5 Proses Hidrasi

Semen portland kering tidak mempunyai kemampuan untuk mengikat, oleh sebab itu semen portland tergolong ke dalam kelompok semen hidrolis. Reaksi kimia antara semen dengan air menghasilkan produk yang saling mengikat setelah mengeras. Proses tersebut, reaksi antara semen dengan air, dinamakan proses hidrasi.

#### 2.1.1.6 Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah proses dimana terjadinya pelepasan panas akibat pencampuran antara semen dan air yang ditandai dengan gejala mengerasnya pasta dan mempunyai kekuatan tertentu.

#### 2.1.1.7 Tipe-tipe Semen

Semen terbagi ke dalam beberapa tipe diantaranya:

- Tipe I  
Tipe ini biasa juga disebut dengan semen portland normal atau tipe standar. Contoh penggunaan semen portland tipe ini adalah pada trotoar jalan, bangunan beton seperti rumah, jembatan kecil, struktur rel kereta api, got atau saluran air dan lain-lain.
- Tipe II  
Tipe ini disebut dengan semen portland modifikasi. Semen portland tipe II telah memiliki daya tahan terhadap sulfat walaupun tidak terlalu besar. Selain itu sifat tipe II lainnya adalah panas hidrasi yang berada pada tingkat medium. Penggunaan tipe semen portland ini adalah pada pembangunan dermaga, pangkal jembatan (*abutment*) serta bangunan dinding penahan (*retaining wall*).
- Tipe III  
Tipe ini adalah semen yang digunakan untuk memproduksi beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras) dengan panas hidrasi yang tinggi. Biasanya beton dengan semen tipe ini akan mendapatkan kekuatan penuh hanya dalam 7 hari dibandingkan dengan semen biasa yang memerlukan waktu mencapai kekuatan penuh dalam 28 hari. Penggunaan semen portland tipe ini adalah pada pembangunan bangunan di daerah bertemperatur rendah.
- Tipe IV  
Semen portland dengan tipe ini disebut semen dengan panas hidrasi rendah. Tipe semen ini memiliki pencapaian kekuatan kuat tekan beton yang lebih lama

dibandingkan tipe I, tetapi keistimewaannya adalah semen tipe ini mencegah peningkatan temperatur yang berlebihan pada beton sehingga mencegah keretakan. Tipe ini sangat berguna dalam pembuatan beton ataupun pengecoran yang bersifat massal seperti pembangunan dam ataupun bendungan.

- **Tipe V**

Tipe ini disebut juga dengan semen tahan sulfat. Dimana didalamnya terdapat kandungan tahan asam. Penggunaan semen tipe ini adalah pada pembangunan reaktor nuklir, bangunan yang terdapat pada daerah yang mengandung kadar sulfat tinggi, pembangunan bangunan lepas pantai dan lain-lain.

## **2.1.2 Agregat**

Agregat adalah material dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi yang dipergunakan dalam pembuatan beton semen dan beton aspal.<sup>3</sup>

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, dan batu pecah, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton.<sup>4</sup>

Agregat digunakan sebagai pengisi bersama-sama dengan pasta semen membentuk massa yang padat dan keras yang dikenal dengan "beton". Agregat berjumlah sekitar 60 – 75 % dari total volume beton.

### *2.1.2.1 Peranan Agregat*

Peranan agregat dalam beton semen adalah :

- Agregat dapat berfungsi sebagai bahan pengisi yang ekonomis. Biaya daripada suatu semen beton yakni semen mempunyai harga yang jauh lebih mahal daripada agregat.
- Modulus elastisitas agregat lebih tinggi dibandingkan dengan semen. Hal ini sangat penting untuk menjaga kekuatan pada campuran beton semen.

Kondisi yang seharusnya dipenuhi untuk mendapatkan beton dengan kualitas baik terkait dengan peranan agregat, yaitu:

- Cukupnya air dan semen untuk merekatkan agregat serta mengisi bagian yang kosong antara agregat-agregat tersebut.
- Baiknya gradasi atau perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar.

---

<sup>3</sup> Somayaji, Shan, *Civil Engineering Materials*, 2001, hal. 35

<sup>4</sup> RSNi (Rancangan Standar Nasional Indonesia), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, 2002, hal. 4

- Bentuk dan permukaan partikel agregat yang baik.
- Kebersihan agregat (agregat tidak boleh mengandung kandungan lumpur).

#### 2.1.2.2 Klasifikasi Agregat

Agregat dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor diantaranya:

- Menurut asal kejadian

##### i. Batuan beku

Batuan beku atau *igneous rock* (dari Bahasa Latin: *ignis* yang berarti "api") adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras. Contoh : batu granit.



**Gambar 2.2** Contoh batuan beku

##### ii. Batuan sedimen

Batuan endapan atau batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk melalui tiga cara utama: pelapukan batuan lain (*clastic*), pengendapan (*deposition*) karena aktivitas *biogenic*, dan pengendapan (*precipitation*) dari larutan. Batuan endapan meliputi 75% dari permukaan bumi.



**Gambar 2.3** Batu kapur sebagai salah satu contoh dari batuan sedimen

iii. Batuan metamorf

Batuan metamorf adalah salah satu kelompok utama batuan yang merupakan hasil transformasi, *protolith*, atau ubahan dari suatu tipe batuan yang telah ada sebelumnya, oleh suatu proses yang disebut metamorfisme, yang berarti "perubahan bentuk". *Protolith* yang dikenai panas (lebih besar dari 150 °C) dan tekanan ekstrim akan mengalami perubahan fisika dan/atau kimia yang besar. *Protolith* dapat berupa batuan sedimen, batuan beku, atau batuan metamorf lain yang lebih tua.



**Gambar 2.4** Batu kuarsit sebagai salah satu contoh dari batuan metamorf

▪ Menurut ukuran

i. Agregat halus (pasir)

Dalam konstruksi beton, agregat halus didefinisikan sebagai partikel dengan ukuran butirannya antara 0,074 mm (saringan No. 200) sampai dengan 4,75 mm (saringan No. 4). Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm.<sup>5</sup>

ii. Agregat kasar (batu pecah)

Agregat kasar adalah kerikil sebagai disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> RSNI (Rancangan Standar Nasional Indonesia), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, 2002, hal. 4

<sup>6</sup> RSNI (Rancangan Standar Nasional Indonesia), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, 2002, hal. 4

- Menurut bentuk

- i. Agregat bulat (*rounded*)

Agregat bulat terbentuk karena proses erosi dan sangat licin.



**Gambar 2.5** Agregat bulat

- ii. Agregat tidak beraturan (*irregular*)

Agregat tidak beraturan yang terbentuk secara alamiah atau sebagian secara erosi dan memiliki ujung-ujung yang bulat.



**Gambar 2.6** Agregat tidak beraturan

- iii. Agregat bersudut (*angular*)

Agregat bersudut memiliki sudut-sudut yang berbentuk pada bekas pecahan dari bentuk yang besar.



**Gambar 2.7** Agregat bersudut

- iv. Agregat pipih (*flakky*)

Agregat pipih adalah agregat dengan perbandingan ketebalan jauh lebih tipis dibandingkan dengan panjang dan lebarnya.



**Gambar 2.8** Agregat pipih

- v. Agregat memanjang (*elongated*)

Agregat memanjang biasanya bersudut dimana ukuran panjangnya lebih besar daripada lebar dan tebalnya.





**Gambar 2.9** Agregat memanjang

### 2.1.2.3 Pengaruh Bentuk Agregat dalam Beton Semen

Setiap bentuk agregat memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya sebagai agregat beton semen. Agregat dengan bentuk persegi lebih kuat apabila dibandingkan dengan agregat yang berbentuk bulat. Tetapi kekurangannya adalah bagian luar beton yang dihasilkan akan kasar karena segi-segi yang dimiliki oleh agregat di dalamnya. Sehingga untuk menghasilkan beton yang halus, diperlukan pasir dan semen dengan kuantitas yang lebih banyak lagi.

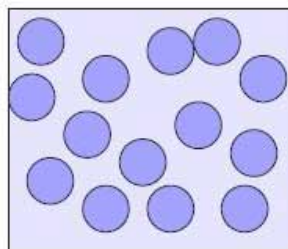
Bentuk agregat sangat erat hubungannya dengan bentuk permukaannya. Kekasaran permukaan agregat memiliki peranan dalam mendapatkan beton semen dengan kuat tekan beton yang lebih besar. Agregat dengan permukaan yang kasar seperti batu pecah memiliki kuat tekan beton yang lebih besar dibandingkan dengan kerikil yang memiliki permukaan yang lebih halus.

### 2.1.2.4 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah perubahan ukuran suatu kelompok batuan. Sehingga apabila dilakukan proses penyaringan pada suatu kelompok batuan akan didapatkan ukuran-ukuran fisik dan jumlah batu dengan ukuran fisik tertentu yang berbeda antara batuan dalam satu kelompok. Untuk batuan yang digunakan sebagai agregat beton, dibagi atas tiga gradasi, yaitu :

- *Uniform gradation* (gradasi seragam)

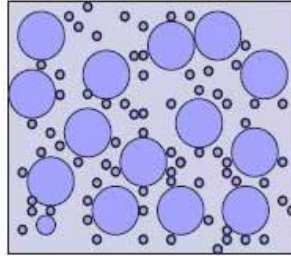
Dimana agregatnya hanya mengandung partikel-partikel dari satu ukuran fraksi.



**Gambar 2.10** *Uniform gradation*

- *Gap gradation*

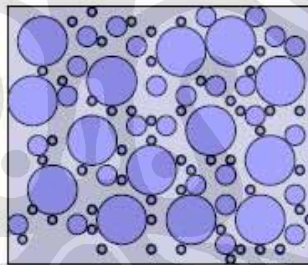
Pada gradasi batuan ini terdapat perbedaan ukuran batuan, tetapi perbedaan ukuran tersebut cukup besar antara ukuran batu yang satu dengan yang lainnya.



**Gambar 2.11** *Gap gradation*

- *Continous gradation* (gradasi menerus)

Gradasi batuan ini diisi oleh ukuran batuan yang beragam, dimana ukuran batuan tersebut tidak memiliki perbedaan yang besar sehingga terdapat ukuran agregat dari yang terbesar sampai terkecil.



**Gambar 2.12** *Continous gradation*

Gradasi agregat mempengaruhi sifat suatu beton. Agregat dengan ukuran besar lebih banyak daripada ukuran yang lebih kecil akan memberikan ruang antara partikel di bagian dalam beton, sehingga akan membentuk pori. Hampir semua agregat dapat digunakan sebagai agregat bagi campuran beton semen. Baik itu agregat dengan standar gradasi seragam (*uniform*), *gap gradation*, maupun menerus (*continous*). Tetapi tiap-tiap gradasi agregat memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing.

Berdasarkan studi literatur dalam buku “*Properties of Concrete*” karangan A.M. Neville, agregat yang cukup baik untuk digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton semen adalah agregat dengan *gap gradation*. *Gap gradation* adalah gradasi tanpa agregat medium, jadi hanya variasi antara agregat halus dan

agregat kasar sebagai bahan dasar penyusun beton. Dengan adanya perbedaan ukuran yang cukup signifikan, kedua tipe agregat tersebut, maka agregat halus dan agregat kasar dapat saling mengisi. Dimana bagian-bagian kosong antara agregat kasar dapat diisi oleh agregat yang halus, sehingga dapat mengurangi pori-pori dalam beton dan pada akhirnya dapat meningkatkan kuat tekan beton tersebut.

### 2.1.3 Air

Air memiliki fungsi untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia sehingga terjadi pengikatan dan pengerasan. Air dapat menguap dan meninggalkan gelembung udara yang mengakibatkan melemahnya beton.

Ketentuan penggunaan air dalam pembuatan beton diantaranya :

- Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan untuk beton atau tulangan.
- Air pencampur memenuhi syarat air bersih, yakni tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa.

## 2.2 SIFAT – SIFAT BETON

Pada sub-bab sebelumnya telah dibahas tentang material dari beton semen, dimana material tersebut sangat penting dalam menentukan kualitas dari beton itu sendiri. Tentunya kualitas akhir daripada suatu beton tidak hanya bergantung dari sifat dan proporsi material dari bahan beton itu sendiri. Namun, kualitas dari beton juga ditentukan oleh proses pembuatan atau produksi dari beton tersebut.

Dimana dalam pembahasan mengenai sifat-sifat beton akan dibagi ke dalam dua bagian utama, yaitu *fresh concrete* (beton segar) dan *hard concrete* (beton yang telah mengeras).

### 2.2.1 *Fresh Concrete*

*Fresh concrete*, atau beton segar merupakan suatu bentuk semen beton yang belum mengeras menyerupai cairan atau fluida. Beton segar merupakan campuran beton yang bertahan selama beberapa jam setelah campuran material diaduk (*mixing*).

Sifat-sifat terkait dengan beton segar berhubungan dengan *workability* yakni kemudahan dalam pengerjaan. *Workability* secara umum dapat diukur melalui karakteristik berikut :

- *Consistency*

*Consistency* merupakan suatu bentuk beton haruslah tidak terpisah antar tiap fasanya. Dimana telah diketahui bahwa beton merupakan campuran dari semen, agregat (agregat kasar dan agregat halus), air, dan bahan tambahan lainnya. Atau dapat dikatakan campuran dari fasa pengikat dan fasa tambahan. Pada proses pencampuran hendaknya selalu mempertahankan keseragaman dalam bentuknya (mencegah terjadinya segregasi).

- *Mobility*

*Mobility* terkait dengan proses transportasi beton segar. Dimana beton segar tidak boleh dibawa dalam jangka waktu yang terlalu lama, karena beton segar akan mengeras membentuk *hard concrete*.

### 2.2.2 *Hard Concrete*

Setelah beton segar mengeras akan terbentuk *hard concrete*. Sifat-sifat dari *hard concrete* diantaranya adalah :

#### 2.2.2.1 *Kuat Tekan*

Secara umum, kekuatan tekan beton merupakan salah satu sifat penting dari beton yang mengeras. Pada umumnya kekuatan tekan yang diperlukan pada suatu konstruksi struktur berkisar pada selang 20,7 – 41,4 MPa.

Hubungan antara kekuatan benda uji dengan umur beton ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Nilai Hubungan antara Kuat Beton dengan Umur Beton

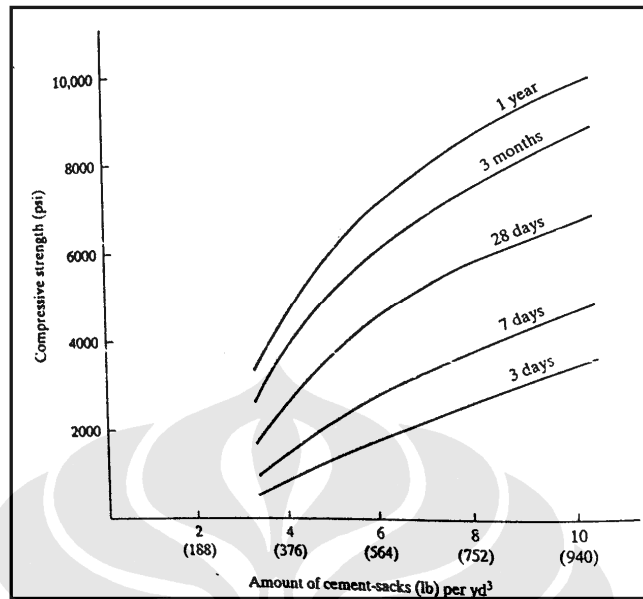
Umur beton (hari)	3	7	14	21	28
Nilai konversi	0,46	0,70	0,88	0,96	1,00

Sifat kekuatan beton bergantung pada beberapa hal diantaranya :

- o Jumlah semen

Pada Grafik 2.1 dapat dilihat bahwa dengan penggunaan semen yang semakin banyak (pada sumbu x) akan diikuti dengan peningkatan kuat tekan beton (pada

sumbu y). Hal ini juga dipengaruhi oleh faktor waktu. Semakin besar umur beton, maka akan meningkatkan nilai kuat tekan beton.

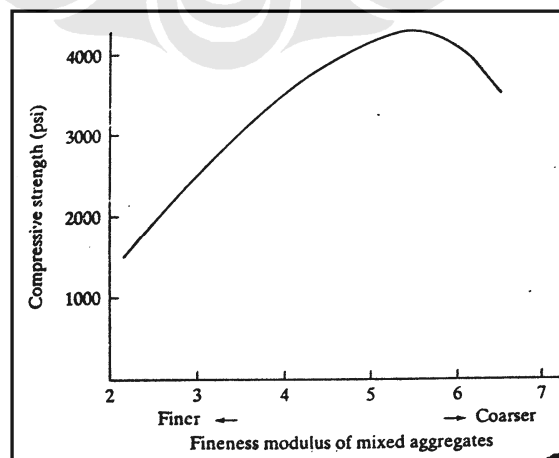


**Grafik 2.1** Grafik hubungan jumlah semen dengan kuat tekan beton

(Sumber : Shan Somayaji, *Civil Engineering Materials*, 2001)

o Pengaruh agregat

Dapat dilihat pada Grafik 2.2, ukuran dari agregat akan berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Agregat dengan ukuran butiran kecil memberikan kekuatan yang jauh lebih kecil daripada agregat dengan ukuran butiran yang lebih besar. Meskipun demikian, agregat dengan ukuran yang terlalu besar juga menyebabkan kekuatan beton menurun.

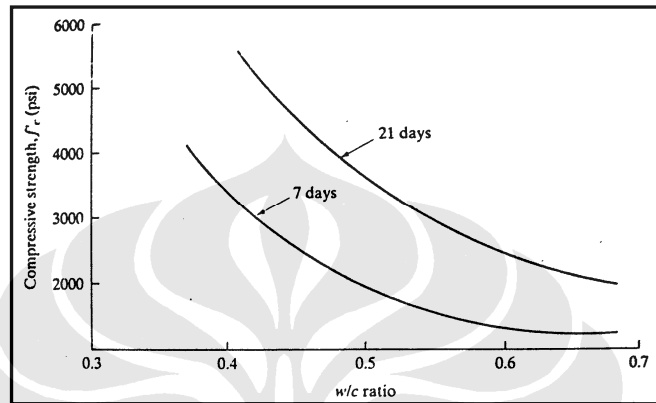


**Grafik 2.2** Grafik hubungan ukuran butiran dengan kuat tekan beton

(Sumber : Shan Somayaji, *Civil Engineering Materials*, 2001)

o Rasio air-semen

Rasio air-semen adalah perbandingan berat antara air dengan semen dalam sebuah campuran. Pada Grafik 2.3, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai rasio air-semen, akan semakin mengurangi nilai kuat tekan beton. Atau dengan kata lain, semakin sedikit air akan semakin meningkatkan nilai kuat tekan beton.

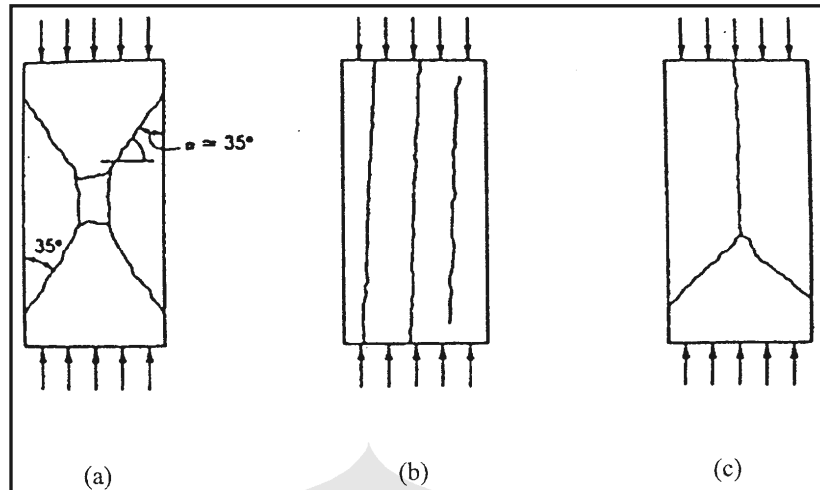


**Grafik 2.3** Grafik hubungan rasio air-semen dengan kuat tekan beton

(Sumber : Shan Somayaji, *Civil Engineering Materials*, 2001)

Pada pengujian tekan beton, dapat dijumpai 3 pola keruntuhan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.

- Pola keruntuhan benda uji karena adanya tahanan kohesi dan geser ditunjukkan pada Gambar 2.13.(a). Jika kohesi tidak ada, maka  $\alpha = 45^\circ$ , dan bila kohesi ada, maka  $\alpha = (45 - \phi/2)^\circ$ . Selanjutnya bila diasumsikan  $\phi_{\text{beton}} = 20^\circ$ , maka diperoleh  $\alpha = 35^\circ$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.(a).
- Gambar 2.13.(b) menunjukkan pola keruntuhan yang disebut *splitting fracture*.
- Gambar 2.13 (c) menunjukkan pola keruntuhan yang disebabkan oleh kombinasi antara keruntuhan geser dan *splitting*.

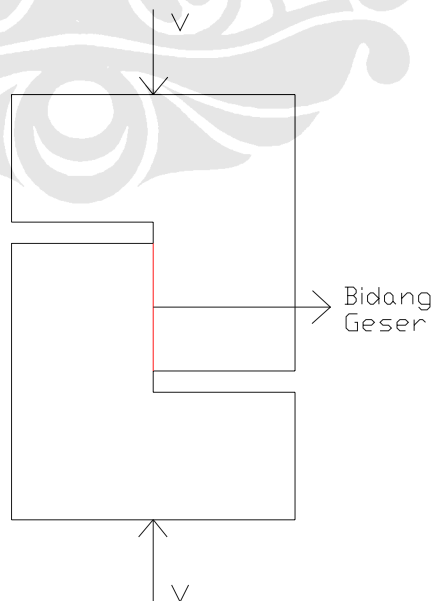


**Gambar 2.13** Berbagai pola keruntuhan dari benda uji standar bentuk silinder

#### 2.2.2.2 Kuat Geser

Salah satu sifat penting daripada beton yang mengeras adalah kekuatan geser beton. Apabila gaya yang bekerja melebihi kekuatan geser maksimum yang dapat ditahan oleh beton, maka akan timbul keretakan beton. Tegangan geser dihasilkan oleh gaya friksi antara satu partikel dengan partikel yang lain.

Load geser yang dimaksud adalah load geser akibat gaya geser langsung (*direct shear*). Gaya yang bekerja pada benda uji menyebabkan terjadinya retak di sepanjang permukaan bidang geser tersebut.



**Gambar 2.14** Idealisasi dari konsep gesekan geser

Pada kasus di lapangan, mekanisme untuk transfer geser dapat ditemui dalam keadaan seperti :

- Bidang permukaan antara beton yang dicor dalam waktu yang berlainan.
- Sambungan antara korbel dengan kolom.

#### 2.2.2.3 Modulus Elastisitas (*modulus of elasticity*)

Modulus elastisitas adalah nilai perbandingan antara tegangan dengan regangan, atau yang dikenal dengan *Modulus Young*. Pengukuran nilai modulus elastisitas diperoleh dari nilai tangensial daripada grafik tegangan-regangan yang terbentuk. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, semakin tinggi nilai kuat tekan beton.

Dengan demikian, modulus elastisitas  $E_c$  secara umum ditentukan dengan Rumus 2.1.

$$E_c = \frac{\text{Unit Stress (load)}}{\text{Unit Strain (regangan)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

#### 2.2.2.4 Angka Poisson

Rasio poisson adalah rasio regangan lateral terhadap regangan aksial beton yang dibebani aksial dan berada dalam keadaan elastis. Nilai rasio poisson untuk beton adalah 0,15 – 0,20.

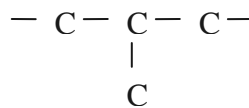
### 2.3 POLYPROPYLENE

*Polypropylene* adalah salah satu senyawa polimer dengan karakteristiknya yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam beton normal.

#### 2.3.1 *Polypropylene* sebagai Senyawa Hidrokarbon

*Polypropylene* termasuk ke dalam senyawa hidrokarbon. Senyawa ini mengandung unsur-unsur karbon dan hidrogen. Sifat khusus yang dimiliki unsur karbon adalah karbon mudah membentuk rantai karbon. Rantai karbon ini mungkin terbuka dan lurus, terbuka dan bercabang atau tertutup. *Polypropylene* termasuk ke dalam rantai karbon terbuka dan bercabang.





**Gambar 2.15** Rantai karbon terbuka dan bercabang

### 2.3.2 *Polypropylene* Tergolong Kelompok Bahan Polimer

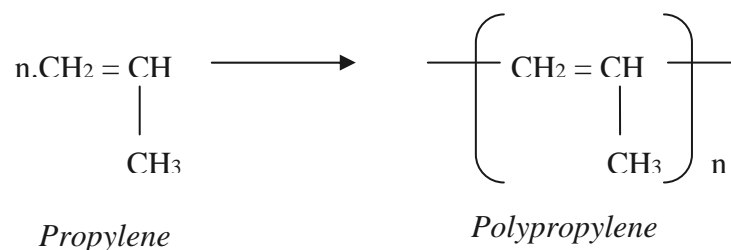
Polimer merupakan bahan yang sangat bermanfaat dalam dunia teknik. Polimer mudah dibuat dan penerapannya mencakup berbagai bidang industri, seperti industri serat, karet, plastik, cat, perekat, dan penambal. Pada dasawarsa terakhir penggunaannya meluas karena faktor-faktor :

- Bahan mentah berlimpah (batu bara, minyak bumi).
- Memiliki sifat yang menguntungkan (ringan, elastis).
- Mudah diproses.

*Polypropylene* termasuk ke dalam kelompok alkena. Alkena adalah senyawa hidrokarbon dengan rantai karbon terbuka dan mempunyai satu ikatan rangkap dua. Rumus umum untuk alkena ditunjukkan pada formula 2.2.



*Polypropylene* termasuk dalam golongan bahan polimer. Polimer adalah molekul raksasa (makromolekul) yang tersusun dari satuan-satuan kimia sederhana yang disebut monomer, misalnya *propylene*. *Polypropylene* terbentuk melalui polimerisasi adisi. Polimerisasi adisi ialah bergabungnya molekul-molekul kecil menjadi molekul besar. Adisi adalah diikatnya atom-atom oleh molekul senyawa. yang dapat mengadakan polimerisasi adisi adalah senyawa-senyawa yang mempunyai ikatan rangkap dua, seperti *propylene* ( $C_3H_6$ ).



**Gambar 2.16** Polimerisasi adisi

### 2.3.3 *Polypropylene* Tergolong Polimer Sintetik

Polimer dapat dibagi ke dalam dua bagian :

- Polimer alam

Polimer alam adalah polimer yang terdapat di alam. Contoh-contoh polimer alam adalah protein, karet, dan polisakarida.

- Polimer sintetik

Polimer sintetik adalah polimer buatan. Contoh-contoh polimer sintetik adalah PVC, polietilen, *polypropylene*, dan teflon. Dapat disimpulkan *polypropylene* tergolong ke dalam polimer sintetik.

Sifat-sifat khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut :

- Mampu cetak adalah baik.
- Produk yang ringan dan kuat dapat dibuat.
- Umumnya bahan polimer lebih murah.
- Kurang tahan terhadap panas.
- Kekerasan permukaan yang sangat kurang.

### 2.3.4 *Properti Polypropylene*

Salah satu properti terkait dengan *polypropylene* adalah berat jenis. *Polypropylene* mempunyai berat jenis lebih kecil dari air, yang memungkinkan membuat suatu barang terapung di atas air. Berat jenis *polypropylene* tergolong rendah dengan nilai antara 0,90 – 0,91 gram/cm<sup>3</sup>. *Polypropylene* termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer lainnya. Besar berat jenis tersebut menunjukkan sifat ringan sebagai salah satu sifat khas dari bahan polimer.

## 2.4 **BETON BERSERAT *POLYPROPYLENE***

Beton serat ialah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain berupa serat. Beton mempunyai kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknya rendah. Apabila bahan serat dibubuhkan sebagai penguat, kekurangan tersebut dapat diperbaiki. Penambahan serat *polypropylene* dalam adukan beton diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 di Amerika oleh Goldfein, karena mudah diperoleh dalam jumlah besar dan relatif murah.

Serat untuk campuran beton dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu :

- Serat metal, misalnya serat besi dan serat *stainless steel*.
- Serat *polymeric*, misalnya serat *polypropylene* dan serat nilon.

- Serat mineral, misalnya *fiberglass*.
- Serat alam, misalnya serabut kelapa dan serabut nanas.

Keuntungan penggunaan serat *polymeric* dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- Meningkatkan kekuatan beton.
- Mengurangi retak-retak karena susut dan terjadinya korosi tulangan baja.
- Memungkinkan adanya kekuatan beton setelah terjadinya keretakan.

Salah satu sifat serat *polypropylene* yang penting yaitu berat jenis yang bernilai 0,9 – 0,91 gram/cm<sup>3</sup> sehingga dapat diaduk merata tanpa kesulitan.

#### **2.4.1 Sifat-sifat Beton Segar Serat *Polypropylene***

Kemudahan adukan beton untuk dikerjakan (*workability*) biasa diukur dengan pengujian-pengujian standar seperti uji *slump* beton. Pada beton dengan campuran serat *polypropylene*, sifat adukan beton dapat diaduk, dicetak, dan dipadatkan (seperti halnya pada pembuatan beton normal).

#### **2.4.2 Sifat-sifat Beton Keras Serat *Polypropylene***

Sifat-sifat beton keras *polypropylene* terkait dengan ketahanan terhadap kebakaran. Dibandingkan dengan beton normal tanpa serat, karakteristik beton berserat *polypropylene* terhadap kebakaran tidak menunjukkan perbedaan. Hanya serat polipropilen yang meleleh meninggalkan bekas berupa saluran-saluran kapiler yang meningkatkan porositas beton sesuai dengan persentase volume dari serat yang ada pada beton.

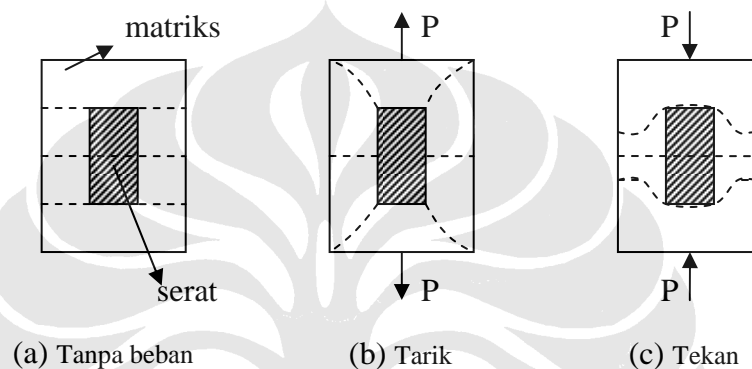
#### **2.4.3 Interaksi antara Serat dengan Pasta Semen**

Interaksi antara serat dan pasta semen merupakan sifat dasar yang mempengaruhi kinerja dari beton komposit. Pemahaman dari interaksi ini diperlukan untuk memperkirakan dan meramalkan sifat-sifat kompositnya. Berikut ini adalah parameter-parameter utama yang mempengaruhi interaksi fiber dengan pasta semen :

- Kondisi pasta semen
- Bentuk dan jenis serat
- Volume fraksi serat

#### 2.4.3.1 Interaksi serat dengan pasta beton homogen tanpa retak

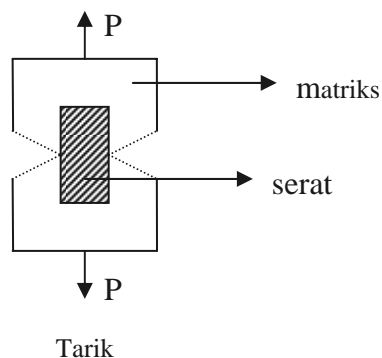
Tipe interaksi ini terjadi hampir di semua komposit selama tahap pembebanan awal. Pada Gambar 2.17 terdapat suatu sistem serat pasta beton yang terdiri dari serat tunggal. Sebelum terjadi pembebanan, load pada matriks dan serat dianggap tidak ada. Ketika matriks diberi beban, sebagian dari beban ditransfer ke serat di sepanjang permukaannya karena adanya perbedaan kekakuan antara serat dengan matriks, terjadi tegangan geser di sepanjang permukaan serat. Tegangan geser inilah yang membantu memindahkan gaya ke serat.



**Gambar 2.17** Interaksi serat dan matriks pada matriks tanpa retak

#### 2.4.3.2 Interaksi antara fiber dengan pasta semen retak

Ketika suatu komposit yang mengandung serat dibebani tarik (Gambar 2.18), pada tahap tertentu matriks akan retak. Ketika matriks mengalami retak, serat membawa gaya pembebanan melewati retakan, mentransfer beban dari satu sisi matriks ke sisi matriks yang lain. Serat akan berfungsi seperti jembatan, membawa beban menyebrangi retakan, retakan-retakan lain akan terbentuk di sepanjang sample/spesimen.



**Gambar 2.18** Interaksi serat dan matriks pada matriks retak